



MARINE OMRÅDER 2008

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Faglig rapport fra DMU nr. 760 2010



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



[Tom side]

MARINE OMRÅDER 2008

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Faglig rapport fra DMU nr. 760 2010

Morten Hjorth &
Alf B. Josefson
(red.)



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



Datablad

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 760

Titel: Marine områder 2008
Undertitel: NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Forfattere: Morten Hjorth & Alf B. Josefson (red.)
Afdeling: Afd. for Marin Økologi

Udgiver: Danmarks Miljøundersøgelser©
Aarhus Universitet
URL: <http://www.dmu.dk>

Udgivelsesår: Februar 2010
Redaktion afsluttet: December 2009
Faglig kommentering: Benni W. Hansen, Roskilde Universitet; Miljøcentrene; By- og Landskabsstyrelsen; øvrige fagdatacentre, Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariatet, DMU

Finansiel støtte: Ingen ekstern finansiering

Bedes citeret: Hjorth, M. & Josefson, A.B. (red.) 2010: Marine områder 2008. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 136 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 760. <http://www.dmu.dk/Pub/FR760.pdf>

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Miljøtilstanden i 2008 er ikke forbedret på trods af betragtelige reduktioner i udledning af næringsstoffer til hav- og kystområderne og fald i næringssaltkoncentrationer i vandet. Årsagerne til denne uventede mangel på respons er endnu ikke kendt, men de igangværende klimaændringer har en række effekter, der ikke kan kvantificeres i det nuværende NOVANA-program. Nogle af effekterne er dog kendte. Således påvirkes iltforbruget ved stigende temperaturer og vandet indeholder mindre ilt, hvilket kan forklare, at der ikke er sket forbedringer i iltforholdene. Andre effekter omfatter, at vandets sigtbarhed er faldet sammenlignet med tidligere år, og dybdegrænsen for ålegræs er blevet mindre i fjordene. Makroalgernes dækning på de dybere dele af stenrev er også blevet yderligere forringet. Årsagerne til disse negative ændringer kendes ikke, men muligvis kan øget resuspension og/eller forekomst af andre skyggende organiske stoffer i vandet have bidraget. Faldet af artsrigdom i bundfauna fortsatte i 2008 i de åbne farvande og forekom også i de kystnære områder og i fjorde og kan ikke tilskrives iltsvind. Ederfuglebestanden er på retur i Danmark af ukendte årsager, men ændringer i kvaliteten af deres fødeemner, øget prædation fra ræve og sygdomsepidemier menes at spille en rolle. Bestandene af spættet sæl har været i fremgang siden jagt blev forbudt i 1977, men der er tegn på, at de er ved at nå deres bærekapacitet. Gråsæl forekommer kun regelmæssigt på få lokaliteter i Kattegat, Østersøen og Vadehavet. Viden om tilstandene hos danske tandhvaler er stærkt begrænset, men undersøgelser af marsvin viser en alarmerende tilbagegang på næsten 40%. Metaller i sediment (As, Ni, Zn, Pb, Cu og Cr) var forhøjede i en stor del af prøverne (20-40%) og indholdet af Cd og Hg var forhøjet i 70% af sedimentprøverne. Næsten alle fiskeprøver (85-95%) og 40% af muslingeprøverne overholdt ikke EU's miljøkvalitetskriterium for Hg. Forurening med TBT og PAH'er udgør de største problemer i marine miljøer blandt øvrige miljøfarlige stoffer med generelt utilfredsstillende niveauer i de indre farvande. Dette gælder også for visse PAH'er i muslinger. Sammenfattende er de marine økosystemer under kraftig forandring. En del af de observerede ændringer er overraskende og negative for miljøkvaliteten og viser, at de marine økosystemer ikke nødvendigvis vender tilbage til en oprindelig tilstand. Trods reduktioner i udledning af næringsstoffer til havet kan forbedringer i miljøkvaliteten tage mange år og disse processer påvirkes af en række klimabetingede forandringer, som man i dag ikke kender effekterne af.

Emneord: Vandmiljøplan, marin, hav, fjord, miljøtilstand, eutrofiering, overvågning, iltsvind, miljøfremmede stoffer, tungmetaller, stenrev, marine ecology, assessment, eutrophication, monitoring, environmental quality, boulder reef

Layout: Anne van Acker
Illustrationer: Forfatterne/Anne van Acker
Forsidefoto: Isefjord. Foto: Morten Hjorth

ISBN: 978-87-7073-148-5
ISSN (elektronisk): 1600-0048
Sideantal: 136

Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside <http://www.dmu.dk/Pub/FR760.pdf>

Supplerende oplysninger: NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

Summary 10

1 Indledning 14

Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande 18

2 Klimatiske forhold 20

3 Stoftilførsler fra land 25

4 Atmosfærisk kvælstofdeposition 30

5 Stoftransport til og fra tilstødende farvande 33

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten 37

6 Næringsstofkoncentrationer 38

7 Pelagisk produktion og sigtdybde 46

8 Iltforhold 54

9 Bundvegetation: ålegræs og makroalger 59

10 Bundfauna 67

11 Vandfugle og marine pattedyr 75

12 Metaller i muslinger, fisk og sediment 84

13 Miljøfarlige stoffer i muslinger, fisk og sediment 92

14 Biologisk effektmonitoring 101

Del 3 – Sammenfattende diskussion 110

15 Tilstand og udvikling 111

16 Ordliste 117

17 Referencer 123

**Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner
for klimatiske variationer 130**

Bilag 2 Dataanalyser - bundvegetation 135

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

[Tom side]

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA), som fra 2004 har afløst NOVA-2003, det tidligere overvågningsprogram. NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, iværksat efteråret 1988.

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.

Danmarks Miljøundersøgelser, 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 Danmarks Miljøundersøgelser 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 Miljøministeriets miljøcentre. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, for punktkilder hos By- og Landskabsstyrelsen, mens fagdatacentre for ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren samt arter og naturtyper er placeret hos Danmarks Miljøundersøgelser.

Denne rapport, er baseret på data indsamlet af de statslige miljøcentre, Danmarks Miljøundersøgelser (DMU/AU), 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 2008', som udgives af Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

Sammenfatning

Morten Hjorth & Alf B. Josefson

I lighed med 2006 og 2007 må det konkluderes, at miljøtilstanden i 2008 i form af tilstanden af alger, bunddyr og andre vigtige parametre ikke er forbedret. De lavere koncentrationer af næringsstoffer i vores farvande som er nået via de betragtelige reduktioner i udledning af næringsstoffer til hav- og kystområderne igennem de foregående år, har ikke ført til en forventet bedring. Temperaturen i luft og hav var i 2008 gennemgående over normalen i alle måneder uden nogle ekstremt varme måneder, og dermed blev året samlet set blandt de 3 hidtil varmeste registreret. Temperaturen i de danske farvande er steget mere end 1° C i løbet af de sidste 40 år. Der var ingen forbedringer i iltforholdene, sandsynligvis på grund af temperaturforhøjelsen af havvandet omkring Danmark, som medfører øget iltforbrug og mindre indhold af ilt i vandet. Den landsdækkende status for havmiljøet i 2008 kan sammenfattes i nedenstående hovedpunkter.

Vejrforhold og hydrografi

- Temperaturerne var konsekvent højere end normalen i alle måneder, men ved årets slutning var havtemperaturen relativt lav i forhold til de senere år, kun 0-0,5° C over normalen.
- Havtemperaturen er som årsmiddel steget mere end 1° C i løbet af de sidste 40 år.

Næringsstofftilførsler og koncentrationer

- Ferskvandsafstrømningen har varieret betydeligt fra år til år og var i 2008 nær gennemsnittet for perioden 1990-2007.
- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen for hele Danmark faldet 47% og fosforudledningen 69% fra 1990 til 2008.
- Reduktionen i fosforudledningen, der primært skyldes forbedret spildevandsrensning (VMP I), er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og har ført til faldende og senest stagnerende fosforkoncentrationer i det marine miljø.
- Reduktionen i kvælstofudledningen forklares primært af en reduceret udledning af kvælstof fra dyrkede arealer (VMP I og II) og af forbedret rensning af spildevandet. Reduktionen har ledt til faldende tendenser i kvælstofkoncentrationen i marine områder siden 2002.
- Året 2008 var generelt et normalt år for næringsstofkoncentrationerne, men i sommerperioden blev de hidtil laveste kvælstofkoncentrationer observeret.
- Der var klare indikationer af indtrængende vandmasser med højt næringsstofindhold fra Den jyske Kyststrøm i forårmånederne i Kattegat og Storebælt.
- Uorganisk fosfor- og siliciumkoncentrationer er steget i bundvandet i de indre danske farvande.
- Den modellerede transport af ferskvand fra Østersøen ud igennem de indre danske farvande ligger 47% over den klimatologiske værdi og var den højeste i den modellerede periode 2004-2008.
- De modellerede fosfor- og kvælstoftransporter ud igennem de indre danske farvande ligger i modsætning til ferskvandstransporten tæt på middelværdierne for perioden 2004-2008.

Planktonalger og sigtdybde

- Sigtdybden i de åbne farvande i 2008 var det laveste årsgennemsnit siden indførelsen af vandmiljøplanerne. Samtidigt var den gennemsnitlige klorofylkoncentration i fjordene på $3 \mu\text{g l}^{-1}$, som er det hidtil laveste målte niveau, mens den samlede primærproduktionen lå på normalt niveau både for de åbne farvande og i fjordene.
- Det er usædvanligt, at der specielt i fjordene er meget lav sigtdybde samtidigt med lave klorofylkoncentrationer. Sigtdybden må derfor i højere grad end tidligere være påvirket af andet end de autotrofe organismer med klorofyl som fx resuspenderet materiale fra bunden. Overvågningen inkluderer ikke målinger, der kan belyse dette.
- Biomassen af kiselalger var i 2008 på niveau med 2007 og i de åbne farvande svarende til langtidsgennemsnittet for 1989-2008, mens den i fjordene var en smule lavere end gennemsnittet for 1989-2008.
- Potentielt toksiske alger blev kun registreret få gange i høje koncentrationer.
- I Limfjorden forekom dinoflagellaten *Alexandrium pseudogonyaulax* for første gang og i koncentrationer helt op til 18.000 celler l^{-1} .

Iltsvind

- Iltsvindet i de indre danske farvande begyndte generelt senere på året i 2008 end i de foregående år, men var af lidt kortere varighed og mindre udbredte end i perioden 2003-2006, bl.a. pga. jævnlige hændelser med kraftig vind.
- Arealet berørt af kraftigt iltsvind var i 2008 større end i 2007.
- Særligt berørte områder i 2008 var det Sydfynske Øhav, sydlige Lillebælt, Aabenraa Fjord og Flensborg Fjord, hvor der optrådte vedvarende kritisk lave iltkoncentrationer i 3 måneder og forekomst af giftig svovlbrinte i bundvandet.
- Iltsvindsgrænsen i Bornholmsdybet var placeret højere oppe i vandsøjlen (i 55 m's dybde) end ved nogen anden måling de seneste 5 år.

Bundvegetation og bunddyr

- Gennem perioden 1989-2008 rykkede ålegræssets dybdegrænse ind på lavere vand i inderfjordene, og ålegræsset dækkede generelt en mindre del af fjordbunden på lavt vand (1-4 m) og på lavt vand i de åbne områder.
- Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var signifikant ringere end gennemsnittet for perioden 1994-2001, hvilket også er i overensstemmelse med de meget lave sigtdybder, der er registreret for de åbne indre farvande.
- Nedgræsning af tangskoven forårsaget af søpindsvin er fortsat et problem på mange rev i Bælthavet, og det er muligvis også ved at gøre sig gældende på dele af Store Middelgrund i Kattegat.
- Der er en fortsat forringelse af diversitet i bundfaunaen i de åbne havområder, som har stået på siden midten af 1990'erne. Nye regionale data fra 2005-2008 viser, at forringelsen også er et generelt fænomen i de indre danske farvande.
- Det er overvejende sandsynligt, at der er en fælles årsag til denne entydige udvikling i biodiversiteten i de danske farvande. Den er imidlertid endnu ukendt. Mulige årsager til forringelsen kan være en generelt lavere fødetilgang, men iltsvind kan ikke forklare tilbagegangen, idet iltsvindstolerante arter ikke er blevet mere dominerende.

Vandfugle og marine pattedyr

- De dominerende arter af dykænder i de indre danske farvande i 2008 var ederfugl, sortand og troldand.
- Havlit blev primært registreret på Rønne Banke.
- Rødstrubet lom er den mest almindelige lom og de fleste blev registreret i Kattegat og i særdeleshed i farvandet imellem Læsø og Anholt samt Ålborg Bugt.
- Ederfugl er talrig i danske farvande hele året rundt, men flest om vinteren i de vestlige dele af de indre danske farvande. Ederfugl fortsætter øjensynlig tilbagegangen, som har været konstateret siden 2000.
- Alke og lomvier blev primært registreret i Kattegat, nord for Sjælland og nordpå i de dybe dele af farvandet. Desuden var der en koncentration i den sydlige del af den danske Nordsø.
- Overvågningen af marine pattedyr i danske farvande er fokuseret på spættet sæl, gråsæl og marsvin.
- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark, som har udviklet sig fra ca. 2.000 dyr i 1976 til 13.300 dyr i 2008 på baggrund af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud. Der er observeret faldende vækstrater, som kan skyldes, at spættet sæl er ved at nå bærekapaciteten i Danmark.
- I februar og marts 2008 blev der talt henholdsvis 76 og 65 gråsæler i Kattegat og på Rødsand. Ved Christiansø ved Bornholm blev der i 2008 dagligt set op til otte gråsæler på samme tid i april-maj. Gråsælen yngler igen regelmæssigt i Danmark efter ca. hundrede års pause.
- Marsvin i de danske farvande er blevet optalt i juli 1994 og juli 2005. Der er observeret en alarmerende tilbagegang på næsten 40% på grund af flere faktorer blandt andet bifangst.
- Hvidnæser, øresvin og vågehval er regelmæssige gæster i danske farvande, men viden om bestandsstørrelser og udvikling er meget begrænset.

Miljøfarlige stoffer

- Kontaminering med metaller fandtes i 20-40% af sedimentprøverne i 2008, som lå over baggrundsniveau efter OSPARs vurderingskriterier med hensyn til As, Ni, Zn, Pb, Cu og Cr.
- Kontaminering med tungmetaller bestod af Cd og Hg, som var over baggrundsniveauet i 70% af sedimentprøverne og specielt i de indre danske farvande fandtes forhøjede niveauer.
- Kontaminering med Hg fandtes i næsten alle fiskeprøver (85-95%) og 40% af muslingeprøverne overholdt ikke EU's miljøkvalitetskriterium for Hg, som trådte i kraft ved årsskiftet 2008-2009, men værdierne oversteg ikke EU's fødevarekriterium.
- Kontaminering af kobber i muslinger betyder, at flere områder vurderes som markant forurenede jf. internationale vurderingskriterier og i Karrebæk Fjord overskrides EU's fødevarekrav for bly i sandmuslinger.
- Næst efter metaller udgør kontaminering med TBT og PAH stadig de største problemer i de danske farvande.
- TBT er stadig allestedsnærværende i koncentrationer, der forårsager imposex og intersex i havsnegle i stort set alle områder af de danske farvande. Baseret på OSPARs miljøkriterier, kan en generel god miljøtilstand kun opnås i Nordsøen og Skagerrak. I de indre danske farvande er niveauerne generelt ikke tilfredsstillende og decideret dårlige omkring visse forurenede havne og marinaer. Der ses faldende ten-

- Visse PAH'er overskred ERL- og EAC-værdier i 22-30% af sedimentprøverne i 2008 og i 10% af alle muslingeprøver.
- Den bromerede flammehæmmer BDE-47 blev påvist i alle muslinger, og i op til 50% af sedimentprøverne, men var i alle tilfælde tæt på eller under 10 gange detektionsgrænsen.
- Der fandtes dioxiner i næsten alle prøver i meget lave mængder, som ikke forventes at påvirke miljøet.
- Muslinger var påvirket af biologiske effekter fra miljøfarlige stoffer i ca. halvdelen af de undersøgte kystnære områder, hvor også ålekvabber og deres yngel var hårdest ramt. Der er tegn på, at hormonforstyrrelser er udbredt i ålekvabber i de danske farvande, men det er uvist hvilke stoffer, der kan være årsag til dem.

Summary

Morten Hjorth

The overall status of the marine environment in Denmark in 2008 in terms of the status of algae, benthic animals and other important parameters has not improved. The decreased nutrient concentrations in water achieved by the considerable reductions in the loadings of nutrients to open waters and coastal areas have not lead to improvements. Similar trends were observed in 2006 and 2007. Air and sea temperatures were generally above average during 2008, without any extremely hot months and consequently, the year was one of the 3 hottest years registered at all. Average sea water temperature in the inner Danish waters has increased more than 1° C during the last 40 years. There was no improvement in the oxygen conditions probably as a result of the increased water temperatures, which lead to increased respiration and less oxygen content in the water. The nationwide status of the Danish marine environment can be summarised in the following points:

Climate and hydrography

- Temperatures were higher than average in all months, but at the end of the year, sea water temperatures were relatively lower compared to recent years, only 0-0.5° C above average.
- Sea temperatures have increased more than 1° C during the last 40 years.

Nutrient loads and concentrations

- Freshwater run-off varies considerably between years and in 2008, it was close to the average of 1997-2007.
- When corrected for variation in freshwater run-off, the total nitrogen and phosphorus loads in Denmark have dropped 47% and 69%, respectively from 1990 to 2008.
- The reduction in phosphorus loads happened especially during the first part of the 1990s mainly due to improved wastewater treatment (VMP I). It has lead to decreasing and stagnating phosphor concentrations in the marine environment.
- The reduction in nitrogen loads is primarily caused by reduced loadings of nitrogen from agricultural areas (VMP I and II) and improved wastewater treatment. The reduction has lead to a decreasing trend in nitrogen concentrations in the marine areas since 2002.
- The year 2008 was generally a normal year in terms of nutrient concentrations, although the all-time lowest nitrogen concentrations were observed during summer.
- There were clear indications of incoming water masses with high nutrient concentrations to Kattegat and the Great Belt from the Jutland coastal current during spring.
- Inorganic phosphorus and silicate concentrations have increased in bottom water in the inner Danish waters.
- The modelled transport of fresh water from the Baltic Sea out through the inner Danish waters is 47% above the climatological value and was the highest in the modelled period 2004-2008.
- In contrast to the fresh water transport, the modelled concentrations of phosphorous and nitrogen out through the inner Danish waters were close to mean averages for the period 2004-2008.

Phytoplankton and water clarity

- Water clarity (Secchi depth) in open waters reached the lowest average in 2008 since the implementation of the national water quality directives. At the same time, the average chlorophyll concentration in the fjords was $3 \mu\text{g l}^{-1}$, which is the lowest recorded level so far and the total yearly production was average in both open water and in the fjords.
- The coinciding low water clarity and very low chlorophyll concentrations in the fjords are unusual. Water clarity must now be to a greater extent connected to factors other than chlorophyll containing autotrophic organisms. Resuspended material can play a role, but this parameter is not included in the monitoring program.
- The biomass of diatoms in 2008 was on average with 2007 and equal to the long-term average of 1989-2008 in open waters, while it was slightly lower than the long-term average in the fjords.
- Potentially toxic algae were only registered a few times in high concentrations.
- The dinoflagellate *Alexandrium pseudogonyaulax* was observed for the first time in Limfjorden in concentrations up to $18,000 \text{ cells l}^{-1}$.

Oxygen deficiency

- Oxygen deficiency in the inner Danish waters generally began later in the year compared to previous years. It had a shorter duration and was less widespread than in the period 2003-2006, partly because of regular events with heavy winds.
- The area impacted by severe oxygen deficiency in 2008 was larger than in 2007.
- Intense impacted areas in 2008 included the Southern Belt Sea, Aabenraa Fjord and Flensborg Fjord, where there were consistent critically low oxygen concentrations for 3 months and toxic hydrogen sulphide in the bottom water.
- The upper border of oxygen deficiency in the Bornholm deep was the highest (55 m) in the latest 5 years.

Bottom vegetation and benthic fauna

- During the period 1989-2008 the depth limit of eelgrass retreated to lower depths in the inner fjords. Generally, eelgrass covered a smaller part of the shallow areas (1-4 m) in the fjords.
- The total algal cover in deeper parts of selected stone reefs in Kattegat was significantly lower than the average for the period 1994-2001, which is in line with the low water clarity observed in open waters.
- The grazing of macroalgae by sea urchins is still a problem on many reefs in the Great Belt and it is possibly spreading to parts of Store Middelgrund in Kattegat.
- There is a continued deterioration of bottom fauna diversity in open sea areas and inner Danish waters since the mid 1990s and it is not caused by oxygen deficiency since species tolerant to oxygen deficiency are not dominating. Other reasons may include general less access to suitable food

Waterfowls and marine mammals

- The dominating species of diving ducks in the inner Danish waters in 2008 were eider, common scoter and tufted duck.
- Long-tailed duck was primarily observed on Rønne Banke.

- Red-throated diver is the most common diver and it was registered mostly in Kattegat, especially between Læsø and Anholt and Ålborg Bugt.
- Eider is abundant in Danish waters all year, but most are found in winter in the western parts of the inner Danish waters. A decline in numbers which started in 2000 is apparently still continuing.
- Razorbill and common murre were primarily observed in Kattegat, north of Zealand, and in the deep northern parts and in the southern end of the Danish North Sea.
- Monitoring of marine mammals in the Danish waters focuses on harbour seal, grey seal and harbour porpoise.
- Harbour seal is the most common seal in Denmark and it has increased from 2,000 individuals in 1976 to 13,300 individuals in 2008 due to a hunting ban in 1977 and a formation of a series of no access reserves. A declining growth rate has been observed which may indicate the species is reaching its carrying capacity in Denmark.
- In February and March 2008, 76 and 65 grey seals were observed in Kattegat and Rødsand. Close to Christiansø near Bornholm up to 8 grey seals were observed daily in April-May. The grey seal is breeding in Denmark again after a hundred year break.
- Harbour porpoises in Danish waters have been counted in July 1994 and in July 2005. An alarming decline of 40% has been observed, probably due to several reasons among them by-catches.
- White-beaked dolphin, bottle-nosed dolphin and minke whale are regular visitors in Danish water, but very little is known on population sizes and development.

Environmentally hazardous substances

- Contamination of metals was found in 20-40% of sediment samples in 2008, where concentrations were found to be above background levels according to the OSPAR assessment criteria in regard to As, Ni, Zn, Pb, Cu and Cr.
- Contamination of heavy metals was comprised of Cd and Hg where 70% of the sediment samples had contents above background levels, particularly in the samples from the inner Danish waters.
- Contamination of Hg was present in almost all fish samples (85-95%) and 40% of mussel samples did not comply with the EU Hg environmental quality criteria, but values were within the food quality criteria.
- The amount of Cu in mussels led to several areas being assessed as markedly polluted according to international assessment criteria and in Karrebæk Fjord the food quality criterion for Pb was exceeded in sand mussels.
- Apart from metals, TBT and PAHs still present the biggest contamination problems.
- Despite the ban of TBT it is still ubiquitous in concentrations causing imposex and intersex in whelks in all Danish waters. Based on environmental criteria set by OSPAR, a general good status was only achieved in the North Sea and Skagerrak. In the inner Danish waters, levels were either 'not satisfactory' or 'bad' around certain polluted harbours and piers. However, a decreasing trend in concentrations has been observed, which indicates that conditions are improving.
- Certain PAHs were above ERL- and EAC-values in 22-30% of sediment samples and 10% of mussel samples.

- The brominated flame deterrent BDE-47 was measured in all mussels, and in close to 50% of sediment samples, but in all cases, values were close to the detection limit.
- Dioxins were present in almost all samples in very low amounts, which are not expected to be harmful.
- Mussels were affected by biological effects from hazardous substances in approximately half of the investigated coastal areas, where eelpout and its fry also were worst impacted. There are indications of widespread endocrine disruptions in eelpout in Danish waters, but the causing substances are unknown.

1 Indledning

Morten Hjorth & 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 industrier 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. Først med Vandmiljøplan III fra 2004 skal overskuddet af fosfor tilført markerne halveres, og kvælstofudvaskningen skal reduceres med yderligere 13% inden 2015.

Folketinget vedtog samtidigt, 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 nu en del af det nationale overvågningsprogram. Målehyppigheden blev også intensiveret på bl.a. en række kystnære stationer i de åbne farvande i det marine område, 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 (*Svendsen m.fl. 2004*) iværksat med biodiversitet og naturtyper som nye elementer i det nationale overvågningsprogram.

Formålet med overvågningen

På det marine område har NOVANA-programmet det overordnede formål at følge udviklingen, tilstanden og påvirkninger af vandmiljøet.

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

- Opfyldelse af Danmarks forpligtigelser i henhold til EU-lovgivning.
- Effektdokumentation af vandmiljøplanerne og øvrig landbrugsregulering.
- Opfyldelse af Danmarks forpligtigelser i henhold til internationale konventioner og aftaler.
- Bidrag til styrkelse af det faglige grundlag for forvaltning og for fremtidige nationale og internationale initiativer, ikke mindst i EU.

I forlængelse af de overordnede formål skal overvågningen kunne:

- Beskrive den kvantitative udvikling i en række væsentlige fysiske, kemiske og biologiske variable, som bl.a. omfatter plankton, makroalger, bundfauna, vandkemi og sedimenters indhold af miljøfarlige stoffer samt forekomst og effekt af miljøfarlige stoffer.
- Belyse kvantitative sammenhænge mellem næringsstofftilførsel 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 næringsstoffer 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 på sigt.

Områder og prøvetagningsprogram

For kystvande er eutrofieringsundersøgelser opdelt i to niveauer i NOVANA: E2 (repræsentative områder) og E2+ (typeområder), hvor der i E2+-områder suppleres med målinger af flere variable. I åbne farvande har E2+ stationer en høj målefrekvens (intensivstationer), mens E2 er stationer (ekstensivstationer), som anvendes til kortlægning af vinternæringsalte, iltsvind, bundfauna og pigmenter i sedimentet. Undersøgelser af biodiversitet/naturtyper og miljøfarlige stoffer foregår også i to niveauer, hvor niveau 1 (B1 og MFS1) lokaliteter undersøges 1 til 3 gange over en 6-årig periode, mens niveau 2 lokaliteter (B2 og MFS2) undersøges hvert år. Overvågning har i perioden 2004-2008 fundet sted i eller på:

Eutrofiering:

- 34 repræsentative kystområder (E2-områder)
- heraf 11 typeområder (E2+-områder)
- 100 ekstensive havstationer (E2, kortlægning)
- 14 intensive havstationer (E2+) inkl. 3 'bøjestationer'

Biodiversitet og naturtyper:

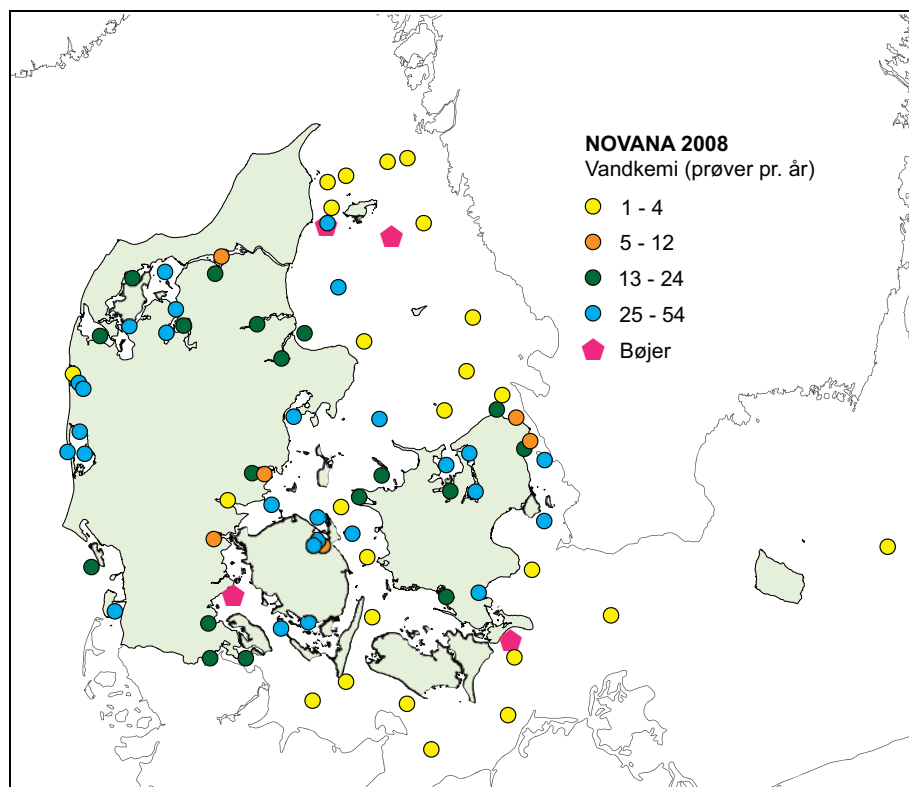
- 39 sten- og boblerev (B1)
- 7 fiskelokaliteter (B1)
- 845 bundfaunastationer (B1)
- 12 stenrev (B2)

Miljøfarlige stoffer:

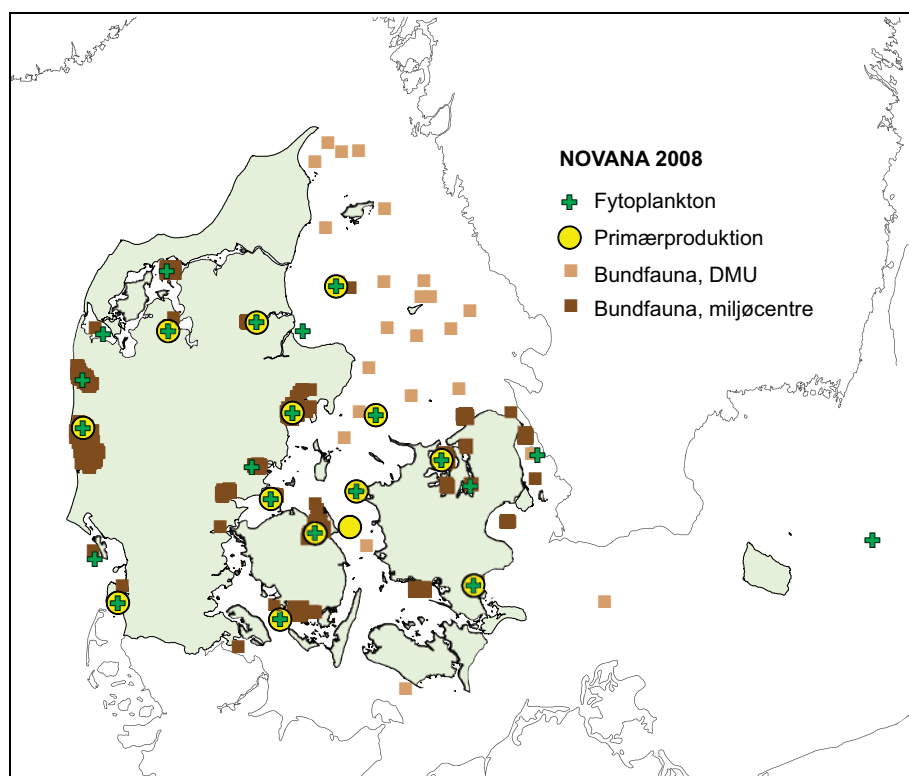
- 78 sediment-, 50 muslinge- og 27 bioeffektlokaliteter (MFS1)
- 31 muslinge-, 6 fiske- og 6-7 bioeffektlokaliteter (MFS2)

I de forskellige områder og på de forskellige stationstyper koncentrerer man sig om følgende 4 overordnede elementer: i) fysiske og kemiske forhold i vandsøjlen, ii) biologiske forhold i vandsøjlen, iii) strømforhold og massebalance og iv) biologiske forhold på bunden. Overvågningen af miljøfarlige stoffer finder sted i både biota og sedimenter og i 2008 har der været særligt fokus på sedimenter med besøg på 78 stationer, 6 fiskestationer og 50 muslingestationer. *Figur 1.1A-D* viser placeringen af stationerne, hvor de forskellige typer målinger er foretaget, der er grundlaget for årets rapport.

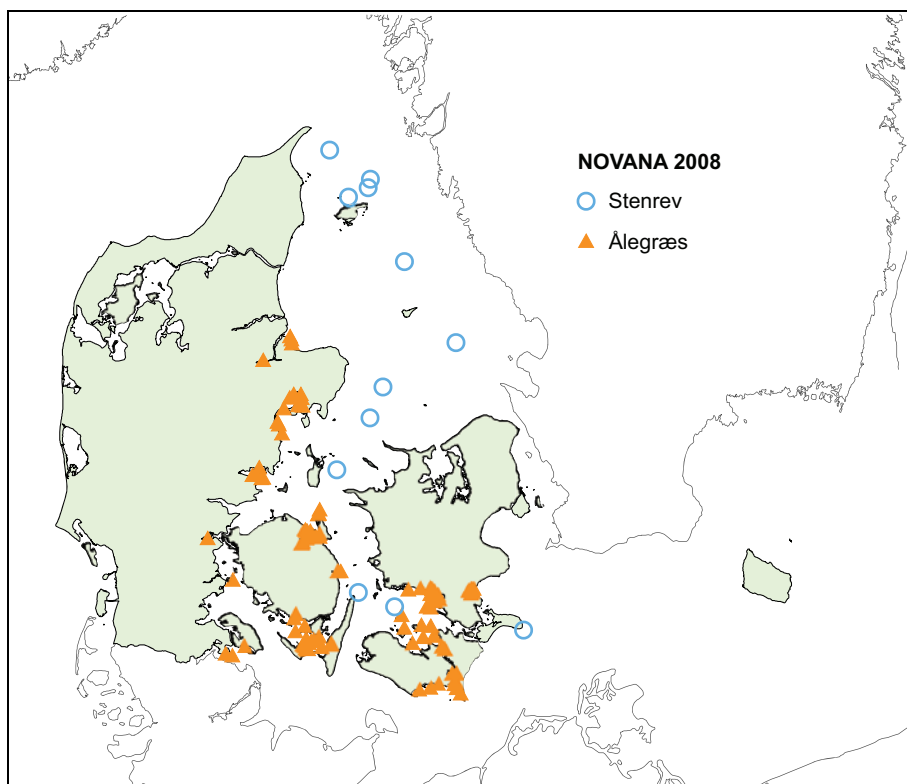
Figur 1.1A. Prøvetagningsstationer for vandkemi samt salinitets-, temperatur- og dybdemålinger i 2008, der er anvendt i denne rapportering. Bøjestationer, hvis data også er anvendt, er ligeledes vist på figuren.



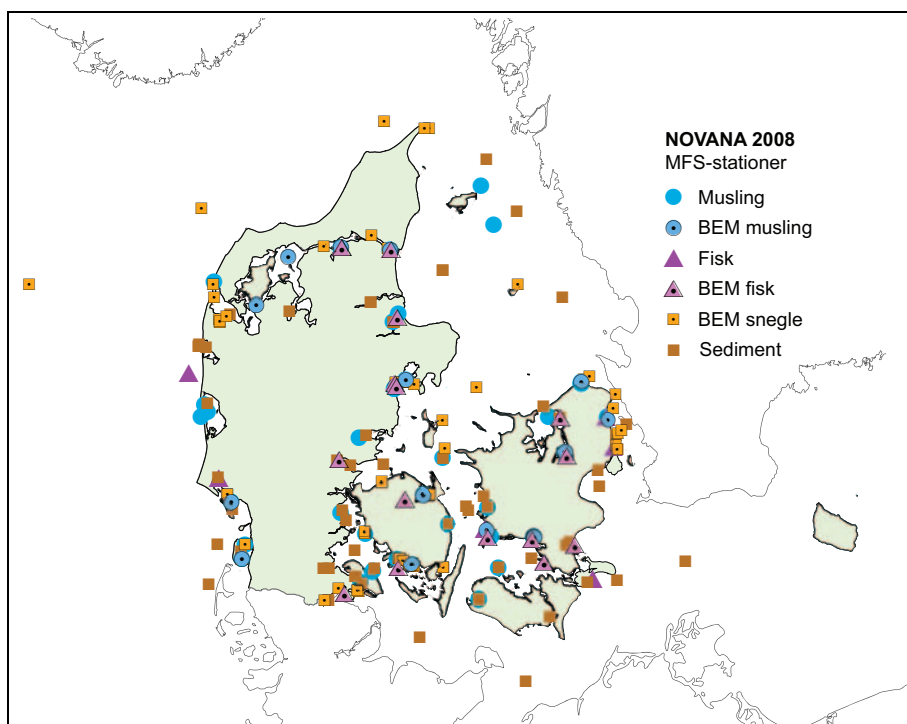
Figur 1.1B. Prøvetagningsstationer for fytoplankton, primærproduktion og bundfauna indsamlet i 2008, som er anvendt i denne rapportering.



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



Figur 1.1D. Prøvetagningsstationer og områder, hvorfra data for tungmetaller, miljøfremmede stoffer og biologiske effekter (BEM) er anvendt i denne rapport. Data indsamlet for at beskrive biologiske effekter af miljøfarlige stoffer er fordelt på 3 typer: lysosomal stabilitet i blåmuslinger (blå cirkel med prik), ålekvabbe-yngel (pink trekant med prik) og imposex i havsnegle (brun firkant med prik).



Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande

Morten Hjorth

Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er betinget af de naturlige fysiske forudsætninger og af de menneskelige påvirkninger. Fysiske forhold som vanddybde og bundforhold er generelt uændrede fra år til år, mens der kan forekomme betydelige år til år variationer i andre fysiske forhold som ferskvandstilførsel, vandudveksling, strømforhold, salinitet, temperatur og lagdeling.

Naturkvaliteten i farvandene påvirkes desuden af en lang række menneskelige aktiviteter, hvoraf udledning af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer anses for de vigtigste, men også fiskeri, klapning af opgravet materiale, skibsfart, offshore industri, anlæg på søterritoriet m.m. har en påvirkning ligesom indførsel af fremmede arter.

Der er også variationer mellem år i samspillet mellem fysiske og menneskeskabte påvirkninger. I våde år tilføres fjorde og kystvande flere næringsstoffer fra land end i tørre år. Variationer i vejr- og strømforhold påvirker udvekslingen af næringsstoffer mellem fjorde og åbne farvande, og mellem de åbne farvande indbyrdes, fx mellem de indre farvande og hhv. Østersøen og Skagerrak.

Når tilstand og udvikling i miljø- og naturforholdene skal vurderes i de enkelte farvande er det derfor nødvendigt at inddrage variationerne i de naturlige og menneskeskabte påvirkninger for at kunne bestemme om den generelle udvikling går i den ønskede retning eller om fastsatte målsætninger er opfyldt.

Mængden af næringsstoffer i et farvand styrer i høj grad miljø- og naturkvaliteten. Udledning af store mængder næringsstoffer medfører en høj 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 falder ned på bunden, hvor bakterier bruger ilt til at nedbryde algerne. Hvis vandsøjlen er lagdelt, og der ikke tilføres tilstrækkeligt med ny ilt til bunden, kan der opstå iltvind, så bunddyr og planter dør, og fisk må flygte.

Øget eutrofiering kan også øge risikoen for opblomstring af giftige planktonalger, der kan misfarve vandet, danne skum, dræbe bunddyr og fisk eller medføre skaldyrsforgiftning af mennesker.

Flere næringsstoffer medfører også en øget vækst af hurtigtvoksende store alger som søsalat og fedtemøg. De skygger ålegræsset væk og kan forårsage store mængder opskyl, der bevirker, at strandene taber rekreativ værdi.

Mindre arealer med ålegræsenge, reduceret udbredelse af tangskove på stenrev og færre bunddyr giver dårligere betingelser for opvækst af fisk og kan derfor give økonomiske tab for fiskeriet. Eutrofiering ændrer samtidigt struktur og funktion af økosystemets komponenter (plankton, bundvegetation, bunddyr, fisk) og resulterer generelt i en lavere biodiversitet.

Tilførsler af miljøfarlige stoffer udgør også en presfaktor, der kan have indflydelse på økosystemets struktur og funktion, idet de påvirker følsomme organismers reproduktion, vækst og adfærd eller på anden måde berører deres overlevelsessevne. I en række kystvande og for visse stoffer også i åbne danske farvande forekommer forhøjede niveauer af en række metaller og organiske forbindelser, som dermed kan udgøre en potentiel risiko for økosystemet. I visse tilfælde kan stofferne kobles til specifikke biologiske effekter, fx TBT der inducerer ændringer af køns karakterer (imposex/intersex) hos havsnegle.

2 Klimatiske forhold

Jacob Carstensen

Miljøtilstanden i de marine områder er, udover tilførslerne af nærings-salte, kraftigt påvirket af de klimatiske forhold. Temperaturen påvirker de biologiske processer foruden lagdeling og opløselighed af ilt i vandet. Vinden påvirker opblandingen af vand i overfladen og den advektive transport. Nedbør og afstrømning har betydning for den mængde næringssalte, som udvaskes fra jorden. Der er store år til år variationer i de klimatiske forhold, som påvirker den tidsmæssige udvikling i den marine miljøtilstand.

De klimatiske forhold i Danmark i år 2008 beskrives med arealvægtede gennemsnit af temperatur, nedbør og vind for Jylland og øerne fra Danmarks Meteorologiske Instituts klimarapport for 2009 (*Cappelen 2009*), afstrømningsdata sammensat af opgørelser fra Hedeselskabet (1942-1989) og DMU (1990-2008) 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 (1995-2008) (Afdelingen for Vind-energi, Risø), H.C. Ørsted Institut i København (1993-2008) 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 på overflade (≤ 10 m) og bundvand (≥ 20 m) for de åbne farvande.

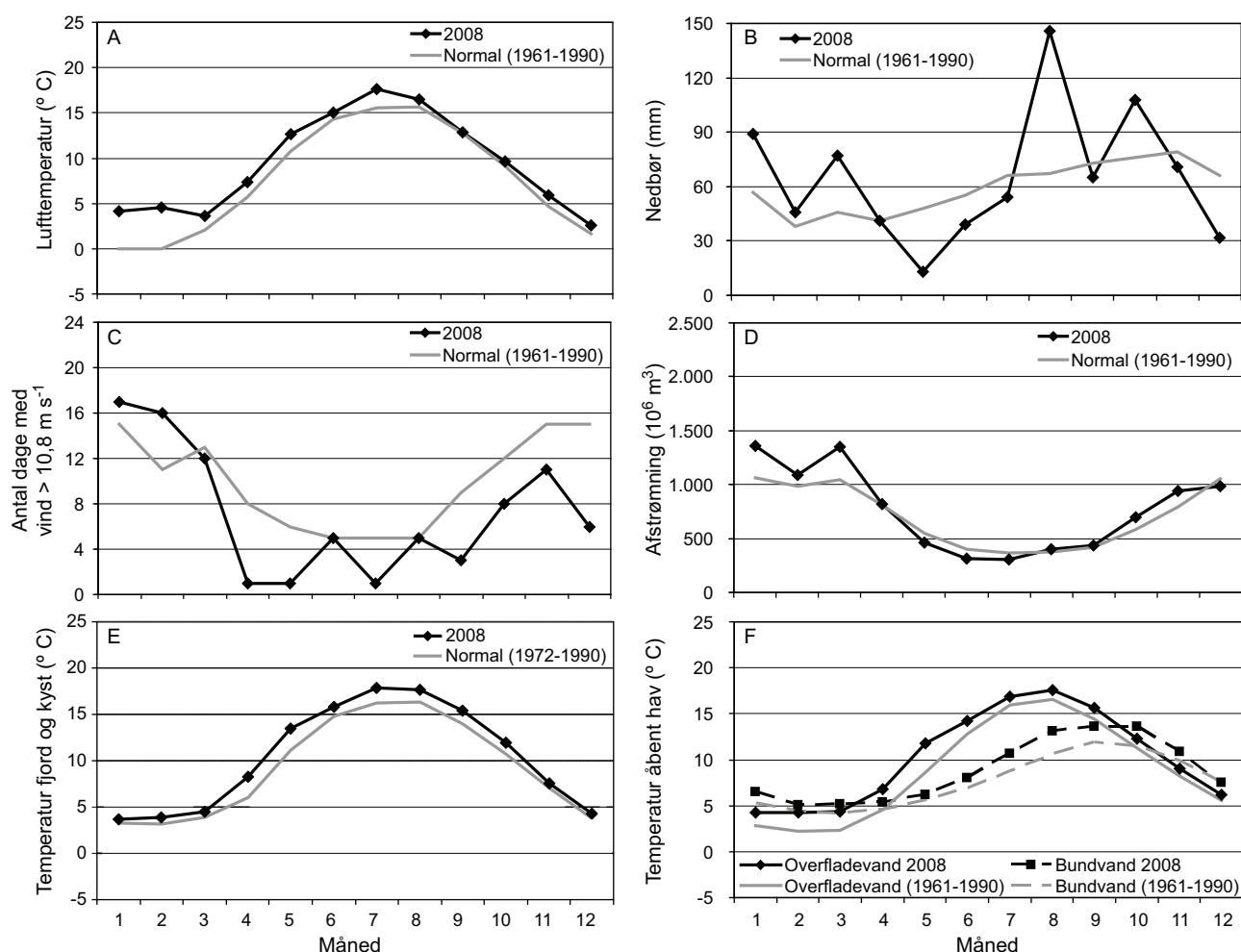
Vinter (januar - februar)

Vinteren 2008 havde usædvanlig høje temperaturer (4° C over normalen og den fjerde varmeste registreret hidtil) med 47% mere nedbør end normalt (*figur 2.1*). Det var meget blæsende med 3 kraftige lavtrykspasager fra vest og flere dage med kraftig vind end normalt, hvilket resulterede i en samlet vindtransport svarende til den, som normalt først ses efter 6 måneder (*figur 2.2*). Vinterafstrømningen var 19% over normalen. Havtemperaturerne var kun svagt højere i de lavvandede fjorde og kystnære områder (ca. $0,5^{\circ}$ C over normalen), hvorimod overfladetemperaturen i de åbne farvande var $1,5-2^{\circ}$ C over normalen. Bundvandet i de åbne farvande var ca. 1° C varmere end normalt.

Forår (marts - maj)

Foråret var meget solrigt og varmt med temperaturer $1,7^{\circ}$ C over normalen, og både maj måned og foråret som helhed satte rekord for antal solskinstimer. Nedbørsmæssigt var marts våd, april normal og maj meget tør (en af de tørreste måneder registreret af DMI siden 1874). Afstrømningen var 29% over normalen i marts, hvorimod april og maj var normale. Der var usædvanlig få dage med blæsevejr i april og maj, mens marts havde normale vindforhold. Som helhed var vinden dog svag i foråret 2008 (26% under normalen for vindhastighed). Havtemperaturen i marts fortsatte vinterens tendens med stigende niveauer, og det gode vejr i april og maj forårsagede en kraftigere opvarmning af overfladevandet end normalt, således at temperaturerne var $2-3^{\circ}$ C over normalen.

Det gode vejr havde dog ikke betydning for bundvandet, som var ca. 1° C varmere end normalt.



Figur 2.1. Årsvariation i 2008 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 indre åbne farvande. Datakilder: A - C) DMI og D - F) DMU og de tidligere amter.

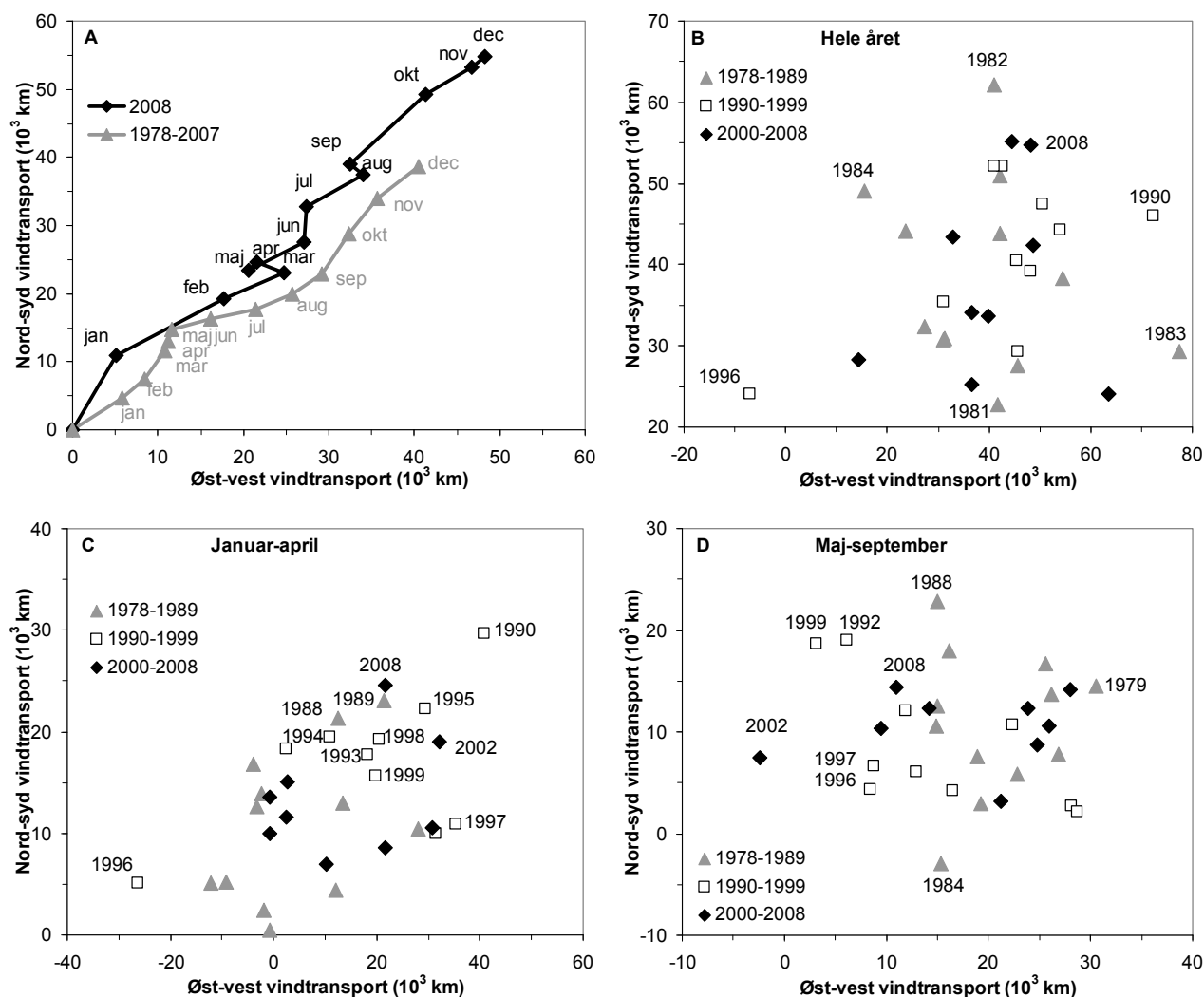
Sommer (juni - august)

Sommeren var karakteriseret ved meget blandet vejr med perioder med sol og regn og relativt lunt. Specielt var august meget våd med 146 mm mod normalt 67 mm og blev dermed den tredje vådeste registreret hidtil. Den ekstra regn i august gav dog ikke anledning til en forøget afstrømning fra land. Det blæste lidt mindre end normalt. Havtemperaturerne i overfladen var 1-1,5° C varmere end normalt. I bundvandet steg temperaturerne kraftigere end normalt fra 8° C i juni til 13° C i august, hvor normalen er 10,5° C. Dette formodes at være en forsinket effekt af opvarmningen af overfladelaget i april og maj.

Efterår (september - december)

Efteråret 2008 var svagt varmere end normalen (ca. 0,5° C varmere) med undtagelse af december, som var 1° C over normalen. Der faldt en del nedbør i oktober, hvorimod december var mere tør. Afstrømningsmæssigt var efteråret dog normalt og vinden afveg heller ikke voldsomt fra normalen. Der var dog relativt få hændelser med stærk vind. Efter de re-

lativt varme forårs- og sommermåneder blev havtemperaturen kølet ned til næsten normalt niveau i løbet af efteråret, således at temperaturen kun var 0-0,5° C over normalen ved udgangen af året.



Figur 2.2. Den retningsbestemte vindtransport beregnet som vektorsummen af den øst-vest og nord-syd hastighedskomponent. A) Årsvariationen 2007 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. Datakilder: Sund og Bælt Holding, Forskningscenter Risø, H.C. Ørsted Institutet.

Året som helhed

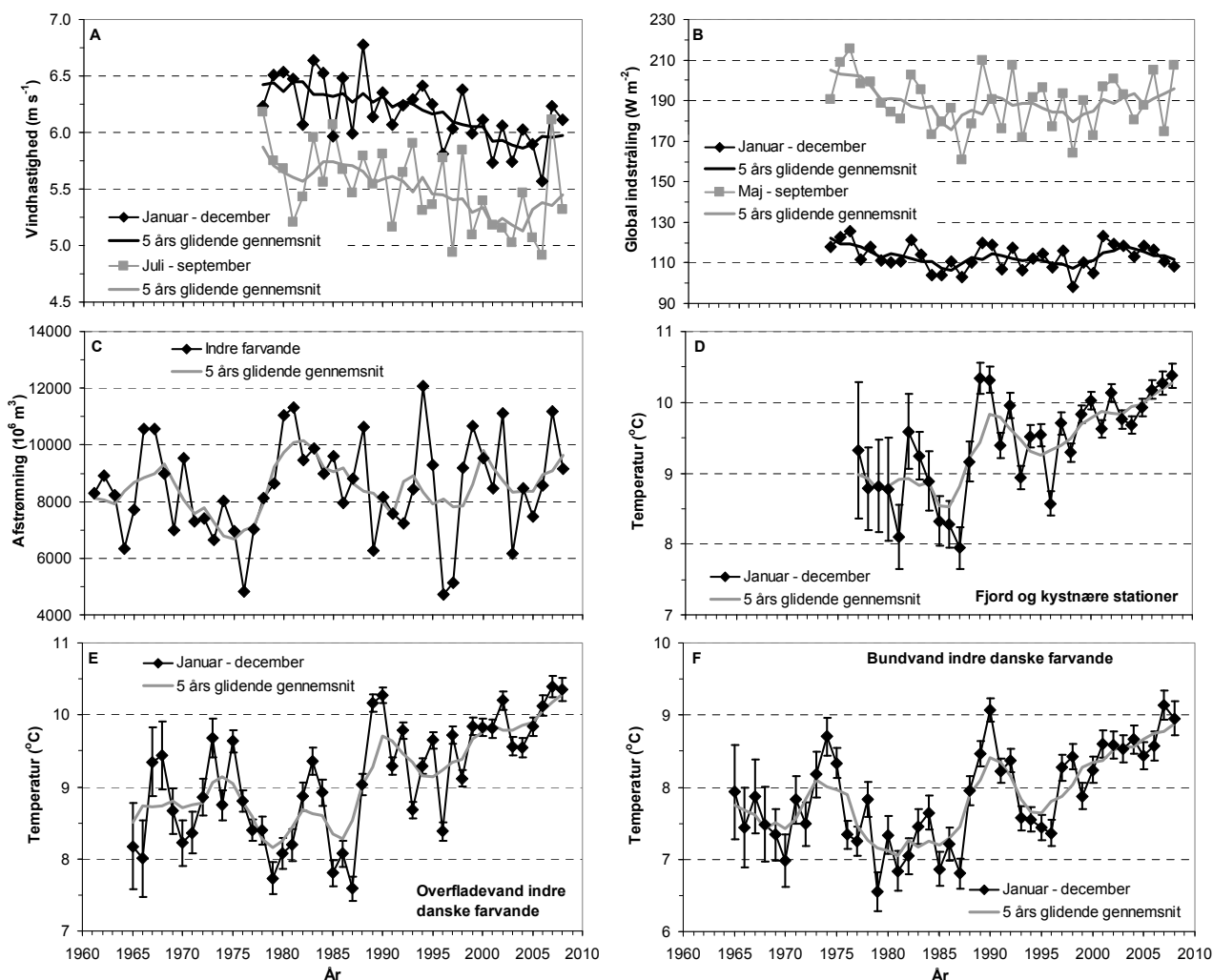
Det mest karakteristiske ved 2008 var, at temperaturen i luft og hav var gennemgående over normalen i alle måneder uden nogle ekstremt varme måneder (figur 2.1), og dermed blev året samlet set blandt de 3 hidtil varmeste registreret. Nedbøren vekslede mellem våde og tørre måneder, men dette gav sig kun svagt udslag i afstrømningen fra land. De første 3 måneder af året var meget blæsende, hvorefter vinden var under normalen (figur 2.2). Det gode vejr i april og maj gav anledning til en kraftigere opvarmning af overfladevandet end normalt, og denne effekt kunne også spores 2 måneder senere i bundvandet. Ved udgangen af året var havtemperaturerne kun svagt højere end normalen og dermed lidt usædvanlige i forhold til de generelt høje vintertemperaturer observeret gennem det seneste årti.

Tidslig udvikling

Den årlige middel vindhastighed er aftaget fra $6,4 \text{ m s}^{-1}$ i 1980'erne til under $6,0 \text{ m s}^{-1}$ siden 2000, men 2008 var, ligesom 2007, mere blæsende end perioden 1999-2006 (*figur 2.3A*), hvilket hovedsageligt skyldes den megen vind i de første 3 måneder. Middelvinden i sommerperioden lå lavt i forhold til 1980'erne og 1990'erne, men på niveau med somrene siden 2000. Selvom vinden er blevet svagere, er der ingen indikationer af, at vindretningen generelt har ændret sig siden 1978 (*figur 2.2B-D*). Den dominerede vindretning er stadig fra sydvest, og på trods af en relativ svag middelvind så var vindtransporten relativ stor (*figur 2.2B*). Dette indikerer, at de sydvestlige vinde har været forholdsvis vedvarende gennem det meste af året. Vindtransporten i januar - april, som har betydning for transporterne af uorganiske næringssalte gennem de indre danske farvande, var ligeledes domineret af stærke vinde fra sydvest. Vindtransporten i maj - september, som kan være afgørende for transporten og opblandingen af bundvand i de indre farvande, var også sydvestlig men ikke usædvanlig i forhold til de andre år. Indstrålingen i 2008 var høj for maj - september og middel for året som helhed (*figur 2.3B*). Specielt har maj bidraget til den høje indstråling i sommerperioden. Somrene i midten af 1970'erne var solrige i modsætning til de solfattige 1980'ere. Der er ingen generel udviklingstendens i indstrålingen.

Afstrømningen udviste også forskellige mønstre i løbet af de sidste 5 årtier (*figur 2.2C*). I 1960'erne var middelaflstrømningen 8.500 mio. m^3 om året, faldt til 7.500 mio. m^3 i de relativt tørre 1970'ere, hvorefter niveauet steg til 9.400 mio. m^3 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. 2008 var kun svagt højere end middelaflstrømningen for hele perioden siden 1960.

Temperaturen i de danske farvande er steget mere end 1° C i løbet af de sidste 40 år, og 2008 er sammen med 2007 de hidtil varmeste år for både overfladevandet i fjorde, kystnære områder og de indre danske farvande (*figur 2.3D-E*). Temperaturen i bundvandet i de indre danske farvande i 2008 var den tredje højeste (*figur 2.3F*). Tendenserne er de samme for fjorde og kystnære områder samt 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 omkring $1,5^\circ \text{ C}$.



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

Sammenfatning

- Året 2008 var forholdsvis blæsende i de første 3 måneder, men ellers normalt med vekslende perioder med sol, regn og relativt høje temperaturer.
- Vinden var gennemgående fra sydvestlige retninger med stor vindtransport i de første 3 måneder.
- Temperaturerne var konsekvent højere end normalen i alle måneder, men ved årets slutning var havtemperaturen relativt lav i forhold til de senere år, kun $0,5^{\circ}\text{C}$ over normalen.
- En meget solrig maj opvarmede overfladevandet mere end normalt, og dette påvirkede også temperaturerne i bundvandet senere på sommeren.
- Havtemperaturen er steget over 1°C i løbet af de sidste 40 år.
- Indstrålingen i sommermånederne var relativt høj, men på middelniveau for året som helhed.

3 Stoffilførsler fra land

Jørgen Windolf & Niels Bering Ovesen

Tilførslen af næringsstofferne kvælstof og fosfor styrer i høj grad miljø- og naturkvaliteten i farvandene. Øget tilførsel af næringsstoffer 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. Derved kan der opstå ilt-svind, så bunddyr og planter dør. Eutrofiering ændrer således struktur og funktion af hele det marine økosystem.

Datagrundlag

Gennem det landsdækkende overvågningsprogram er der etableret tids-serier for månedlige udledninger af ferskvand, kvælstof og fosfor fra Danmark til de 9 hovedfarvande for perioden 1990-2008.

For omkring halvdelen af landets areal er opgørelsen baseret på målin-ger 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. Model-len 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.

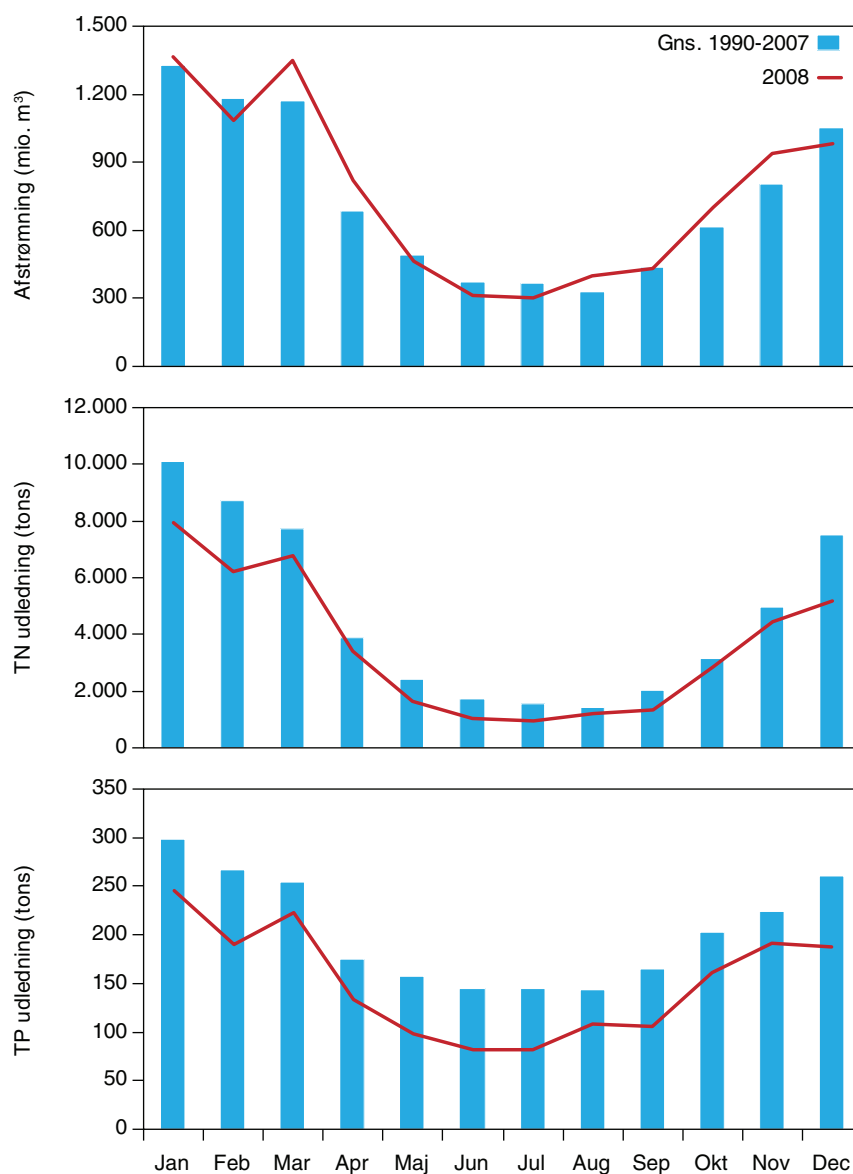
Stoffilførsler i 2008

Ferskvandsafstrømningen til de indre danske farvande (farvandsområde 3-9) var 9.200 mio. m³ i 2008 og dermed knapt 4% større end gennemsnit-tet for perioden 1990-2007. Afstrømningen var tilsvarende ca. 15-20% større i marts-april, august og igen i oktober-november 2008 sammenlig-net med gennemsnittet for de tilsvarende måneder i den forudgående pe-riode (*figur 3.1*). Omvendt var afstrømningen noget mindre end gennem-snittet i juni-juli.

Tilførslen af kvælstof til de indre farvande var i 2008 på 43.000 tons, hvilket var 22% mindre end gennemsnittet for de forudgående 18 år. Også månedsafstrømningerne af kvælstof var i alle måneder i 2008 klart min-dre end gennemsnittet for de forudgående år (*figur 3.1*).

Fosfortilførslen til de indre danske farvande var 1.800 tons i 2008. Yder-ligere var fosfortilførslen i samtlige måneder dette år klart mindre end gennemsnittet for den forudgående periode (1990-2007). Specielt meget mindre (-43%) var tilførslen i juni og juli, hvor vandafstrømningen var mindst (*figur 3.1*). Faldet i disse tilførsler er relateret til en bedre spildevandsrensning ved primært offentlige renseanlæg gennem perioden. Ef-fekten af denne rensning slår mest igennem om sommeren, hvor de dif-fuse fosfortilførsler (fra landbrugsarealer og spredt bebyggelse) er små på grund af den relativt lave vandafstrømning.

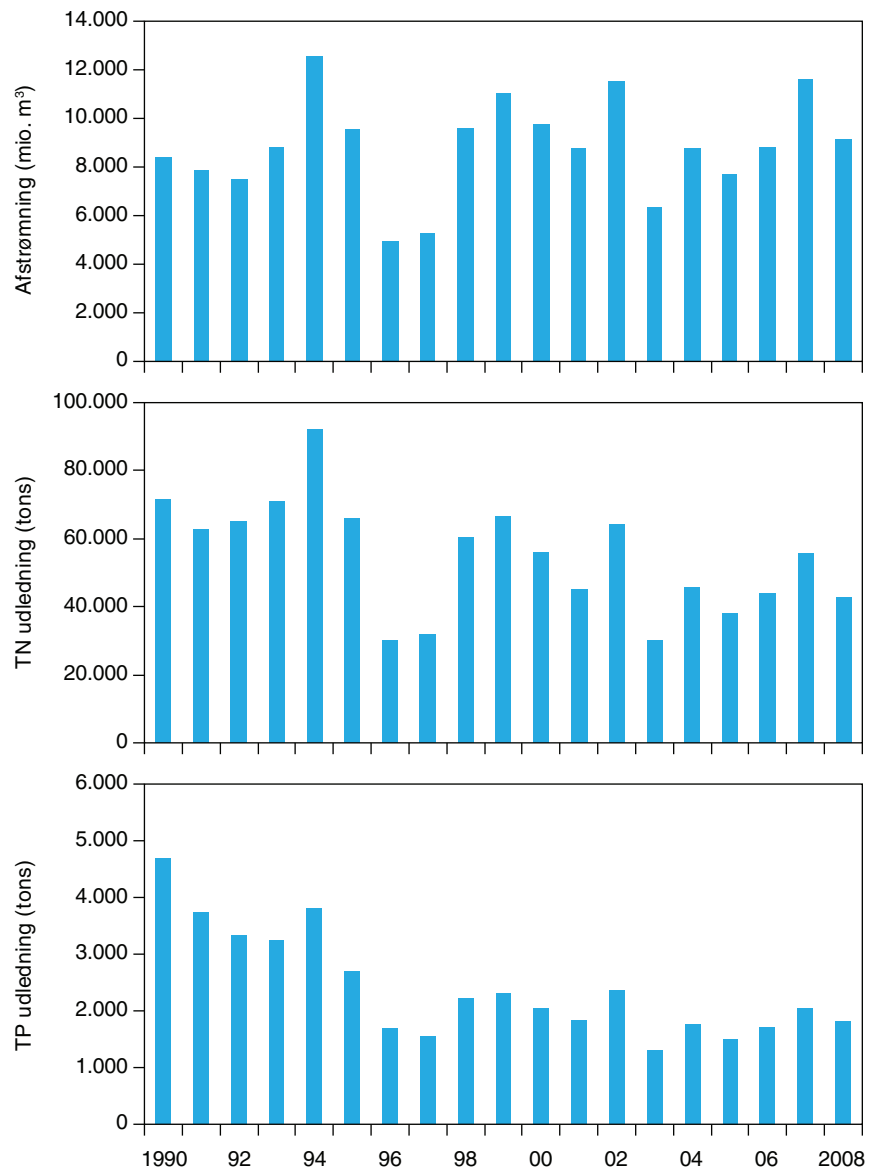
Figur 3.1. Månedstilførselen af ferskvand, total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de indre farvande med tilstødende fjorde i 2008 sammenlignet med middelværdierne for perioden 1990-2007.



Udvikling i stoftilførsler

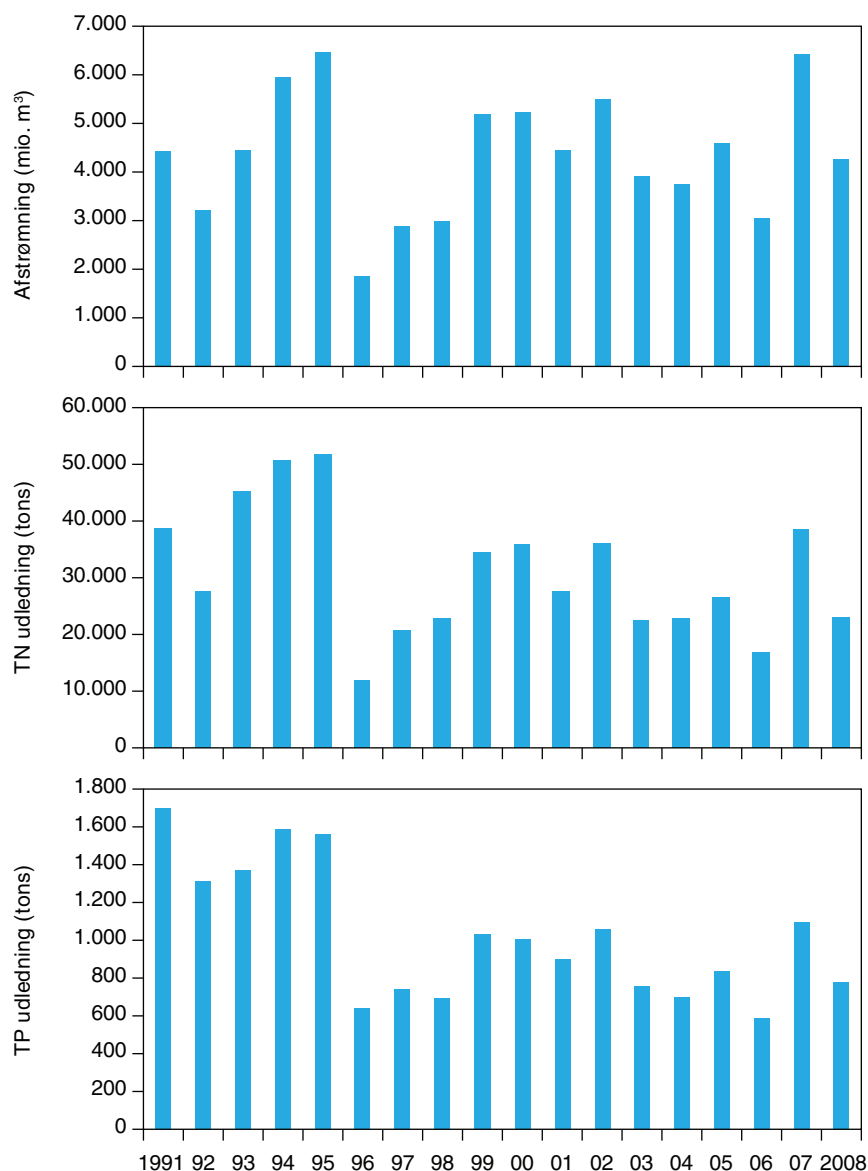
Ferskvandsafstrømningen til indre danske farvande udviste i perioden 1990-2008 store variationer fra år til år uden nogen overordnet tendens (figur 3.2). Udviklingen i kvælstoftilførslen viste tilsvarende stor år til år variation, men samtidig var der en faldende tendens. Fosforudledningen viste til gengæld et klart signifikant fald fra 1990 frem til midten af 1990'erne (figur 3.2).

Figur 3.2. Den årlige ferskvands-afstrømning og samlede tilførsel af hhv. total kvælstof og total fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de indre farvande med tilstødende fjorde i perioden 1990 til 2008.



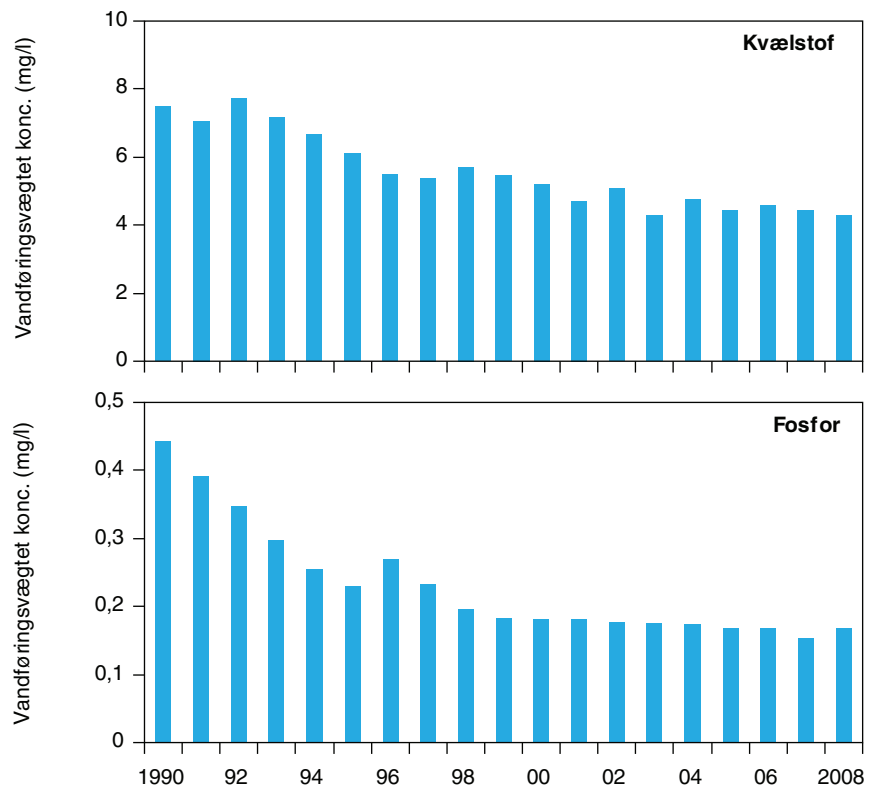
Tilsvarende udvikling for indre danske farvande af vinterværdier (november-februar) af afstrømning og stoftilførsler er vist på *figur 3.3*. Heller ikke her var der nogen tendens til udvikling gennem perioden for vandafstrømningen, som i 2007/2008 var lig gennemsnittet for de forudgående år. Til gengæld var kvælstoftilførslen mindre i perioden fra og med 1996/1997 end før dette tidspunkt, ligesom tilførslen i 2007/2008 var markant mindre (-25%) end i den forudgående periode. Fosfortilførslen viste tydeligt faldende udvikling gennem perioden, ligesom tilførslen i 2007/2008 var markant mindre (-25%) end i den forudgående periode.

Figur 3.3. Vinterværdier (november-februar) af ferskvandsafstrømning og den samlede tilførsel af hhv. total kvælstof og total fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de indre farvande med tilstødende fjorde i perioden 1991 til 2008.



År til år variationerne i de tilførte mængder af kvælstof og fosfor skyldes således variationer i afstrømning samt ikke mindst udvikling i mængden af udledte næringsstoffer med spildevand og en generelt reduceret udledning af kvælstof fra de dyrkede arealer gennem perioden. Tager man højde for variationer i vandafstrømningen ved at regne med vandføringsvægtede koncentrationer, er kvælstofudledningerne fra land til havet omkring Danmark reduceret med 47% i årene siden 1990 (figur 3.4). Reduktionen i fosfortilførslen kan tilsvarende beregnes til 69%. Denne reduktion er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og skyldes primært forbedret spildevandsrensning. Reduktionen i kvælstoftilførslerne skyldes primært en reduktion i udledningerne fra landbrugsarealerne, men den gennemførte forbedrede spildevandsrensning har også bidraget signifikant til den samlede reduktion.

Figur 3.4. Vandføringsvægtede koncentrationer af total kvælstof og total fosfor 1990-2008 for hele Danmark.



Sammenfatning

- Ferskvandsafstrømningen har varieret betydeligt fra år til år og var i 2008 nær gennemsnittet for perioden 1990-2007.
- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen for hele Danmark faldet 47% og fosforudledningen 69% fra 1990 til 2008.
- Reduktionen i fosforudledningen er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og skyldes primært forbedret spildevandsrensning.
- Reduktionen i kvælstofudledningen forklares primært af en reduceret udledning af kvælstof fra dyrkede arealer. Forbedret rensning af spildevandet gennem perioden har dog også bidraget signifikant til det samlede fald i kvælstoftilførslerne fra land til havet omkring Danmark.

4 Atmosfærisk kvælstofdeposition

Thomas Ellermann

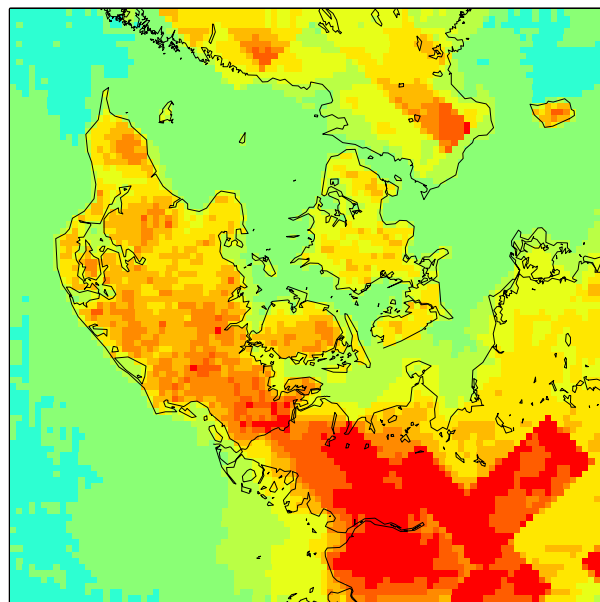
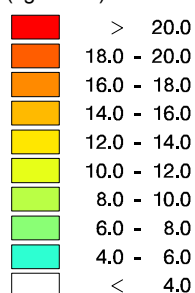
Farvandene modtager ikke kun næringsstoffer fra land, men også ved deposition fra atmosfæren. Depositionen af fosfor er lille med marginal betydning, men depositionen af kvælstof på fx de indre danske farvande er af samme størrelsesorden som udledningen af kvælstof fra landjorden. Udledningen af næringsstoffer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

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. 2010). 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 2007 for Danmark og 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 2008. 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 på 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.

Deposition af kvælstof
(kg N ha^{-1})



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/Luftforurenings-modeller/Deposition/>.

Tabel 4.1. Kvælstofdeposition til de danske hovedfarvande (+ svensk del af Øresund og Kattegat) i 2008.

ID	Navn	Tør-deposition (kton N)	Våd-deposition (kton N)	Total deposition (kton N)	Total deposition/ areal (kg N ha ⁻¹)	Areal (km ²)	Andel fra danske kilder (%)
1	Nordsøen – Alle danske områder	6,8	23,8	30,6	6,3	48.754	9
2	Skagerrak – Alle danske områder	1,1	5,7	6,9	6,6	10.329	19
3	Kattegat – Svenske områder	0,7	4,3	5,0	7,4	6.743	15
3	Kattegat – Alle danske områder	2,6	9,6	12,2	7,3	16.830	25
4	Nordlige Bælthav	0,7	2,2	2,9	7,5	3.909	27
5	Lillebælt	0,7	1,5	2,2	10,2	2.170	28
6	Storebælt	0,9	2,6	3,5	7,8	4.519	20
7	Øresund – Alle danske områder	0,2	0,8	0,9	7,1	1.336	17
79	Øresund – Svenske områder	0,1	0,6	0,7	7,4	950	14
8	Sydlig Bælthav	0,5	1,6	2,1	8,2	2.547	8
9	Østersøen – Alle danske områder	2,3	7,4	9,7	6,5	14.926	8
	Alle danske farvandsområder	16	56	71	6,7	105.320	14

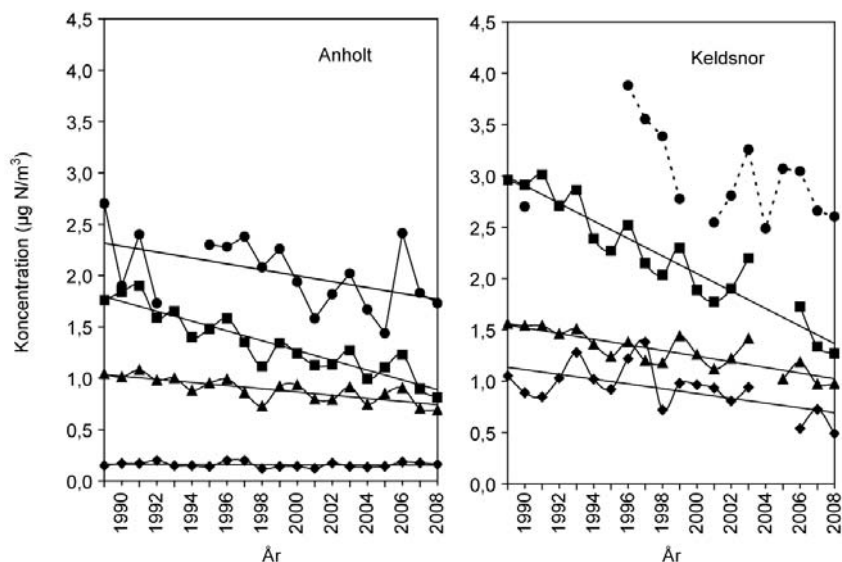
Den beregnede totale kvælstofdeposition var i 2008 på 71.000 tons, hvilket er 8% lavere end rapporteret for 2007. Dette skyldes blandt andet et fald i våddepositionen grundet fald i nedbørmængderne fra 2007 til 2008. Der er imidlertid stor forskel mellem de enkelte farvande. Således ses en stigning i depositionen på 15% for Skagerrak, mens der ses et fald på 11-14% for Nordsøen, Storebælt og Østersøen.

Den samlede deposition af kvælstof til vandoverflader ved målestationen på Anholt og ved Keldsnor kan bestemmes ud fra målinger af våddepositionen og en tørdeposition beregnet ud fra målinger af luftens indhold af kvælstofforbindelser. Disse beregninger viser, at den samlede kvælstofdeposition i gennemsnit for målestationerne var omkring 13% lavere i 2008 set i forhold til 2007, hvilket er på samme niveau, som beregnet med modellen for de samlede danske hovedfarvande.

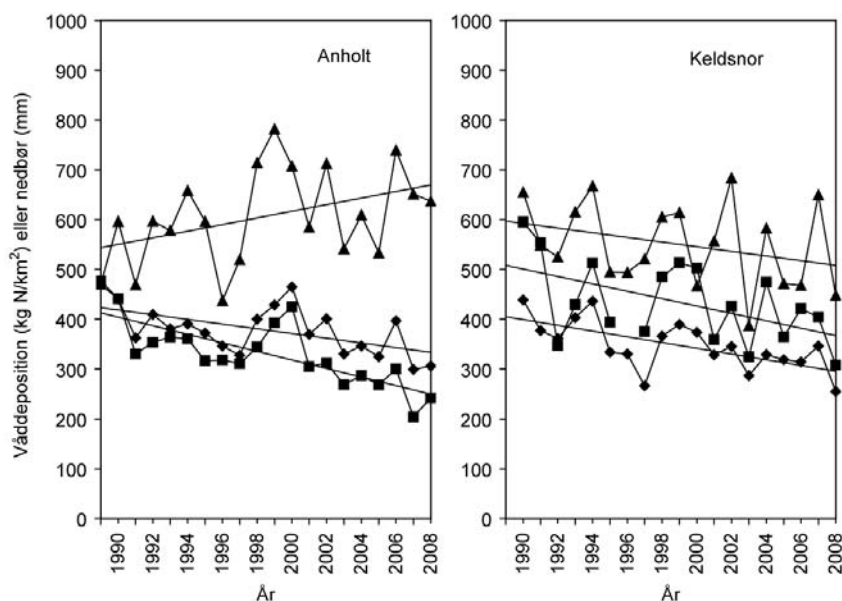
Den danske andel af depositionen er i modelberegningerne vurderet til ca. 14%, men varierer fra 27-28% i Lillebælt og det nordlige Bælthav til 8-9% i Østersøen, Nordsøen og sydlige Bælthav (tabel 4.1).

Udviklingen i kvælstoftilførslen vurderes alene ud fra målinger, idet usikkerheden i modelberegningernes totale kvælstofdepositioner er forholdsvis stor, bl.a. på baggrund af de store usikkerheder i emissionsopgørelserne. Figur 4.2 viser udviklingen i målte koncentrationer i luften af ammoniak, partikulært bundet ammonium, sum nitrat (summen af salpetersyre og partikulært bundet nitrat) og kvælstofdioxid, og figur 4.3 viser tilsvarende de målte våddepositioner af ammonium og nitrat. Målingerne viser en tendens til faldende våddeposition på hovedparten af målestationerne, og ved at tage gennemsnittet af alle målestationerne ses 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. 28% for perioden 1989-2008. Der er store variationer mellem årene på grund af variationerne i de meteorologiske forhold. Navnlig 1998 og 1999 udmærkede sig ved høj våddeposition, hvilket skyldtes store nedbørmængder i disse år.

Figur 4.2. Årsmiddelniveauerne af koncentrationerne af ammoniak (♦), partikelbundet ammonium (■), sumnitrat (▲) og kvælstofdioxid (●) på målestationerne på Anholt og ved Keldsnor. Tendenslinjer er beregnet ved simpel lineær regression. Målingerne af kvælstofdioxid på Keldsnor i perioden fra 1996-2008 er foretaget i forbindelse med LMP (se Kemp m.fl. 2008). Bemærk at stigning i kvælstofdioxid på Anholt delvis skyldes ændring i måleteknik.



Figur 4.3. Den årlige våddeposition af ammonium (■) og nitrat (♦) og den årlige nedbørmængde (▲) på målestationerne på Anholt og ved Keldsnor i perioden 1989-2008. Målingerne ved Keldsnor er middel af målingerne ved Bagenkop og Føllesbjerg. 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.

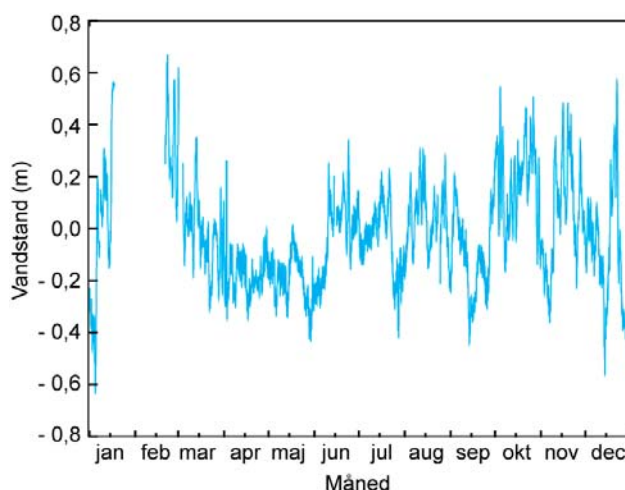
5 Stoftransport til og fra tilstødende farvande

Jesper Larsen & Jørgen Bendtsen

Introduktion

Stoftransporterne af vand, salt (S), total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) igennem de indre danske farvande er præget af den lagdelte strømning, variabiliteten i ind- og udstrømninger fra Skagerrak og Østersøen samt af tilførsler og den biologiske omsætning af N og P i området. Da disse transporter kan være betydelige i forhold til de øvrige tilførsler af stoffer fra land, atmosfæren og fra den interne belastning, er der blevet udført modelberegninger af disse igennem hele NOVANA-perioden. Til bestemmelsen af stoftransporterne indgår både målinger af S, TN og TP fra en række intensive stationer, der dækkes af miljøcentre og DMU samt modelberegninger foretaget med NOVANA-havmodellen, der drives af DHI - Institut for Vand og Miljø. Nedenfor er samlet et lille udsnit af de indsamlede data, der giver en overordnet beskrivelse af den årlige transport gennem udvalgte områder samt en oversigt over variabiliteten af transporterne i årets løb. Øvrige data og rapporter er tilgængelige fra NOVANA-havmodellens hjemmeside på www.havmodellen.dk. Her kan udvalgte modelresultater downloades, og derudover er årsrapporter tilgængelige med modelresultater af temperatur, salinitet, strøm og stoftransporter for 2008 (af DHI - Institut for Vand og Miljø) samt en tilhørende evalueringsrapport af modelleringen for 2008 (af Danmarks Meteorologiske Institut). På hjemmesiden findes også en rapport, der beskriver den naturlige hydrografiske variabilitet i de danske farvande baseret på en analyse af eksisterende data, som giver en detaljeret oversigt over de generelle hydrografiske forhold i området (af Danmarks Meteorologiske Institut).

Figur 5.1. Vandstandsmålinger ved Skagen filteret med et 4 dages løbende middel.



De hydrografiske forhold

Vandmassers transport gennem de indre danske farvande er i høj grad påvirket af vandstandsforholdene i Skagerrak og Østersøen. Vandstandsmålinger ved Skagen viser en stor variation. I 2008 blev der indsamlet meget få bøjemålinger fra NOVANAs bøjer. Det har derfor i år ikke været muligt at præsentere bøjemålinger af temperatur og salinitet. Fra tidligere år ved vi dog, at variationer i vandstanden ved Skagen i mange til-

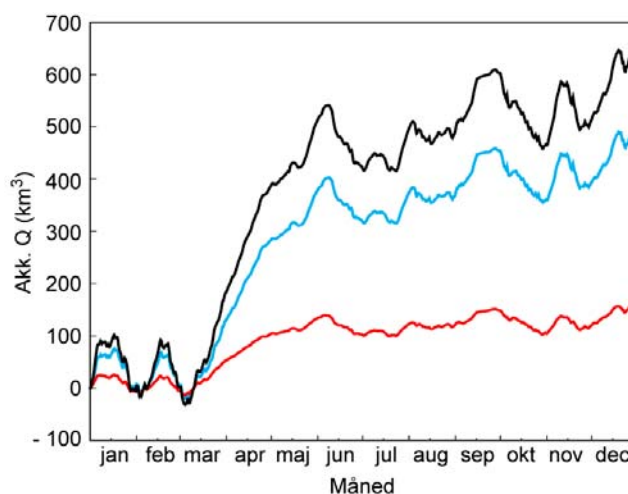
fælde også reflekteres i bøjemålinger af salinitet ned gennem de indre danske farvande. Perioder med stigende vandstand i Skagerrak, pga. vindstuvning, medfører generelt en indstrømning af vand fra Skagerrak med en høj salinitet, og tilsvarende vil en lav vandstand i Skagerrak i forhold til vandstanden i den vestlige Østersø generelt medføre en kraftigere udstrømning af overfladevand fra Østersøen.

Der er en lang række perioder i løbet af 2008, hvor vandstanden ved Skagen var lav (se figur 5.1). Den vigtigste af disse perioder var den lange periode fra begyndelsen af marts frem til midten af juni. Vi vil senere se, at der i netop denne periode var en ubrudt udstrømning af vand og stof fra de indre danske farvande.

Beregninger af akkumulerede stoftransporter

Modelberegninger fra NOVANA-havmodellen for 2008 er analyseret for de akkumulerede transport over to udvalgte snit igennem henholdsvis det nordlige Øresund fra Gilleleje til Kullen og i det sydlige Kattegat fra Griben til Hasenøse (figur 5.2). Transporten af ferskvand er beregnet igennem begge snit. I løbet af året ses der en gradvis stigning i den akkumulerede transport igennem begge snit, som er forårsaget af tilførslen af flodvand til Østersøen. Den årlige langtidsmiddelfaststrømning fra Østersøen er på ca. 470 km³, og det ses at årstransporten på omkring 690 km³ i 2008 er betydeligt større, mens gennemsnitstransporten i 2004-2008 ligger på 554 km³ (tabel 5.1). Dette skyldes, at transporterne varierer meget igennem året, og derfor er beregningerne, selv på årsbasis, afhængige af hvilken periode, der analyseres. Eksempelvis kan der ved årets begyndelse være akkumuleret vand i Østersøen og dette vil efterfølgende resultere i en stor udstrømning i starten af det efterfølgende år. Transporterne afspejler generelt den variation, der ses fra vandstandsmålingerne i figur 5.1. Fra begyndelsen af marts og frem til begyndelsen af juni var der en generel udstrømning fra Østersøen på omkring 550 km³. Fra begyndelsen af juni og frem til udgangen af året er der en yderligere akkumuleret transport på omkring 150 km³. Middeltransporten i modellen i perioden 2004-2008 er 554 km³, hvilket er knap 20% højere end den klimatologiske værdi omkring 470 km³. Middeltransporten er derfor inden for den mellemårige variation, der er observeret for tilførslerne til Østersøen.

Figur 5.2. Modelberegninger af den akkumulerede transport igennem 2008 henover et snit i det sydlige Kattegat fra Griben til Hasenøse (blå), det nordlige Øresund (rød) og den samlede transport igennem de to snit (sort).



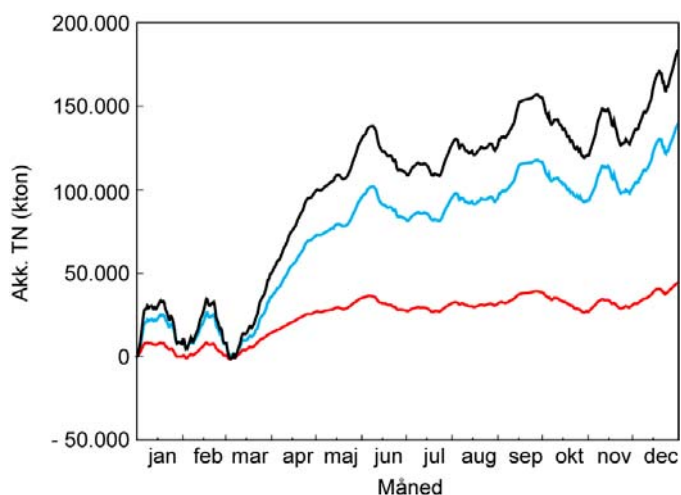
Tabel 5.1. Den årlige akkumulerede transport af TN, TP og vandtransport (Q) henover Gribensnippet og Øresundssnittet. Transporterne er beregnet på basis af observerede TN-S og TP-S relationer, som sammenholdes med modelberegninger af volumenfluks og salinitet. Værdierne er bestemt ud fra observerede data og beregninger med havmodellen. Massetransporterne er angivet i kton (1 kton = 1.000 ton).

	2004	2005	2006	2007	2008	Middel 2004-2008
	TN (kton)	TN (kton)	TN (kton)	TN (kton)	TN (kton)	TN (kton)
Øresund	36	42	33	60	44	43
Griben	99	180	75	166	139	132
Total TN	135	222	108	226	183	175
	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)
Øresund	1,7	4,0	2,3	4,8	3,2	3,2
Griben	3,6	15,1	4,9	12,6	10,0	9,2
Total TP	5,3	19,1	7,2	17,4	13,2	12,4
	Q (km ³)	Q (km ³)	Q (km ³)	Q (km ³)	Q (km ³)	Q (km ³)
Øresund	118	146	102	198	170	147
Griben	387	448	209	473	520	407
Total Q	505	594	311	671	690	554

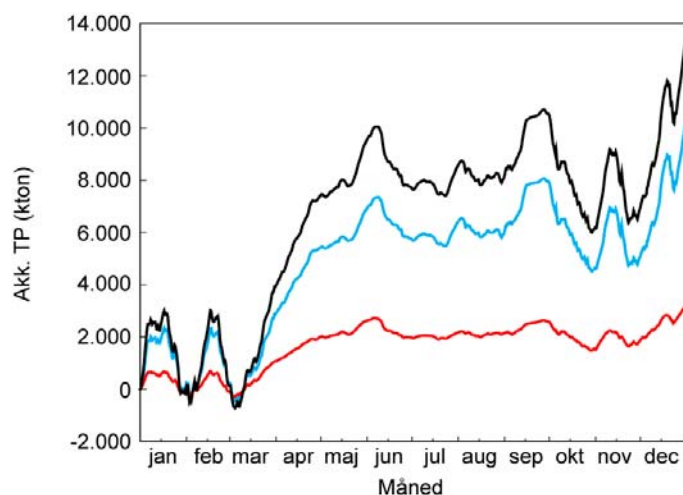
Beregninger af stoftransporter af TN og TP

Transporterne af TN og TP gennem de to snit er vist for 2008 (henholdsvis figur 5.3 og 5.4). Udviklingen af transporterne af TN og TP igennem året kan primært forklares ud fra variationer i vandtransporterne, idet der ses en stor overensstemmelse mellem disse (jf. figur 5.2). Den samlede transport af TN og TP igennem de to snit var på henholdsvis 183 og 13,2 kton i 2008, hvilket er tæt på middelværdien for perioden, der ligger på henholdsvis 175 og 12,4 kton for TN og TP. Vi har altså en stoftransport, som ligger tæt på middelværdien for perioden, mens den akkumulerede vandtransport er den højest registrerede i perioden. Årsagen til dette kunne være den tidlige fordeling af vandtransporten, altså at den nordgående vandtransport er sket på et tidspunkt, hvor stofkoncentrationerne har været relativt lave. Transporterne igennem Gribensnittet var omkring 3 gange større end transporterne igennem Øresund. En sammenstilling af de årlige akkumulerede værdier er vist i tabel 5.1, og for størsteparten af årene ses i modsætning til 2008 en sammenhæng mellem den årlige udstrømning og den samlede transport af TN og TP, således at store årlige vandtransporter også giver store transporter af TN og TP.

Figur 5.3. Den årlige akkumulerede transport af TN i 2008 igennem de to snit for henholdsvis Gribensnittet (blå) og Øresundssnittet (rød) og den samlede transport igennem de to snit (sort).



Figur 5.4. Den årlige akkumulerede transport af TP i 2008 igennem de to snit for henholdsvis Gribensnippet (blå) og Øresundsnippet (rød) og den samlede transport igennem de to snit (sort).



Usikkerhed på stoftransportberegninger

Bestemmelsen af stoftransporterne af TN og TP igennem de danske farvande er foretaget på basis af en sammenstilling af målinger af S, TN og TP på repræsentative stationer med modelberegninger af volumenflukse igennem de enkelte snit. Beregningerne foretages ved at identificere den observerede vandmasse i modellen ud fra den målte salinitet og derefter bruge de tilhørende modelberegninger af volumenfluks og målinger af TN og TP til beregning af transporterne. Usikkerheden på transporterne kan derfor tilskrives både modelberegningerne og målingerne samt usikkerheden ved selve vandmasseidentifikationen. En kvantitativ bestemmelse af usikkerhederne ville derfor kræve en nærmere analyse af modellens usikkerhed samt dennes korrelation med målinger af især TN og TP.

Datagrundlaget til dette er ikke til stede og er ikke en specifik del af NOVANA-modelleringen. Usikkerhedsbestemmelserne er derfor her baseret på en kvalitativ vurdering af de størrelser, der indgår i transportberegningerne, dvs. usikkerheden på afstrømningen til Østersøen, usikkerheden på ind- og udstrømninger i de indre danske farvande samt sammenstillingen af observerede værdier af TN, TP og salinitet i forhold til modellerede værdier af salinitet. Usikkerhedsbestemmelserne er et udtryk for den nuværende usikkerhed, der er på modelberegningerne. Den vertikalt integrerede volumenfluks (*figur 5.2*) igennem snittene vurderes at have en usikkerhed på 20%. Tilsvarende vurderes usikkerheden på stoftransportberegningerne af TN og TP til at være på 50%, idet der her indgår både modelberegninger af transporten på alle dybder samt målinger.

For at opnå et bedre estimat af usikkerhederne på beregninger af stoftransporterne vil det være nødvendigt at estimere usikkerhederne i modellens transport i alle dybder og dennes korrelation med fejlen i den estimerede TN og TP i hver dybde. Hvis man vil anvende observationer til at udføre en sådan analyse, vil det altså kræve et omfattende observationsprogram ved de analyserede snit og en efterfølgende analyse af data. Disse data er ikke tilgængelige i NOVANA og analysen er som nævnt ikke en del af NOVANA-modelleringen.

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Morten Hjorth

NOVANA-programmet skal kunne dokumentere udviklingen i miljø- og naturkvaliteten i de danske farvande som et redskab i forvaltningen af havmiljøet. Denne forvaltning er midt i en omstillingsproces. Hvor der tidligere især var fokus på at dokumentere effekterne af vandmiljøplanerne og øvrige nationale og regionale handlings- og indsatsplaner, vil der i fremtiden i højere grad blive lagt vægt på at dokumentere havmiljøets status i relation til internationale natur- og miljømål sat af EU-direktiver. Uagtet, at denne omstillingsproces er i gang, er det stadig af afgørende betydning, at den menneskelige påvirkning af havmiljøet kan identificeres og tolkes så præcist som muligt.

Mange af de indikatorer, som indgår i overvågningsprogrammet, påvirkes i større eller mindre grad af de klimatiske forhold. Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er bl.a. påvirket af temperaturen, lysindstrålingen, vandudvekslingen og vindforholdene. Nogle af disse faktorer interagerer. For eksempel er afstrømningen fra land mindre i tørre år, og dermed er udvaskningen af næringsstoffer til de danske havområder lavere end i nedbørsrige år.

Som udgangspunkt kan man opdele år til år variationen af de indikatorer, der ligger til grund for vurderingen af miljø- og naturtilstanden, i en naturlig komponent og en komponent som afhænger af menneskets adfærd og forvaltning af vandmiljøet. Miljø- og naturkvaliteten er derfor underlagt en naturlig variation, som delvist kan skjule den påvirkning, der kommer af menneskelig aktivitet. For at få et mere retvisende billede af effekterne af vandmiljøplanerne mv. er det derfor ønskeligt at 'filtrere' den naturlige og klimatisk betingede variation fra.

Der er lang vej til dette mål er opfyldt, og i årets rapport er det i lighed med tidligere år kun lykkedes at klimakorrigere en række pelagiske variable og indikatorer. Først og fremmest er variationer i ferskvandsafstrømningen anvendt ved klimakorrektionen, men for planktonalgebiomasse indgår også vind og solindstråling.

Analyserne anvender et generelt indeks dannet af 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 områder, fx fjorde og åbne havområder, som reagerer forskelligt på næringsstofftilførsler.

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

Denne rapport indeholder eksempler på nyudviklede tilstandsvurderingsværktøjer, som vil kunne anvendes i forbindelse med den fremtidige vurdering af vandområdernes tilstand i relation til vandrammedirektivet og revområdets bevaringstilstand i relation til habitatdirektivet.

6 Næringsstofkoncentrationer

Jacob Carstensen

Eutrofiering skyldes hovedsageligt en øget tilførsel af næringssalte, som medfører en forøget produktion af bl.a. planktonalger i de danske farvande med deraf afledte effekter. Næringssaltkoncentrationer er derfor vigtige tilstandsvariable for at vurdere vandkvaliteten i de marine områder, idet høje niveauer øger primærproduktionen og gør vandet mere uklart. Koncentrationerne 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 planteplanktonet, 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.

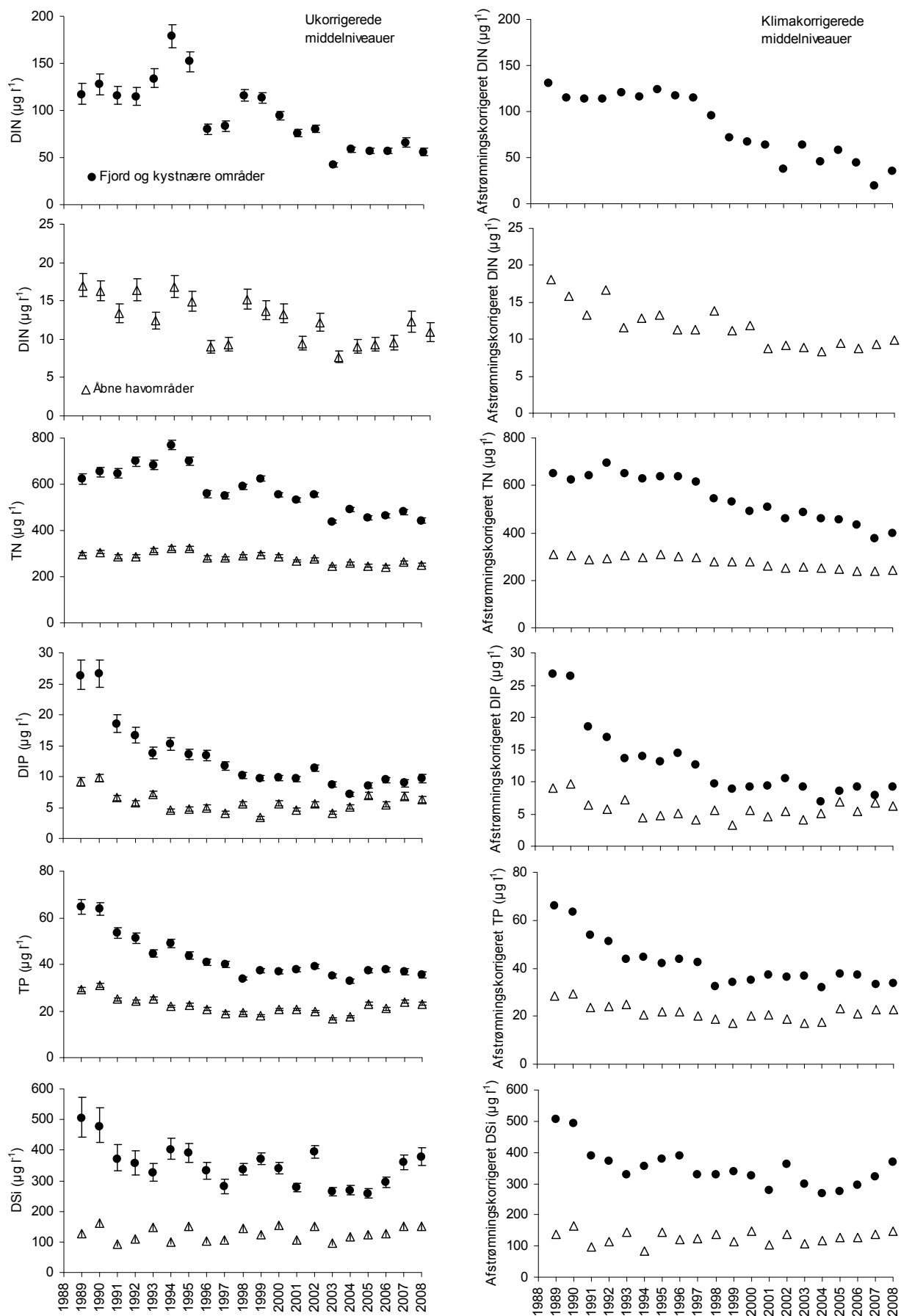
Årsmidler af næringssaltkoncentrationer i fjorde og kystnære områder samt i de åbne havområder er beregnet med en tresidet variansanalyse (*Bilag 1*). Stationer er opdelt på de to kategorier i henhold til prøvetagningsbeskrivelsen fra NOVANA-programmet. Relationen imellem koncentrationerne og ferskvandsafstrømningen er undersøgt og anvendt til korrektioner for klimatiske variationer i analyser af den tidsmæssige udvikling i næringsstofkoncentrationerne (*Bilag 1*). Tidslig udvikling er analyseret ved Kendalls τ -test for perioden 1989-2007.

Året der gik – 2008

Da både kvælstof- og fosforkoncentrationerne har været faldende siden midten af 1990'erne, ville niveauerne for 2008 forventelig være lavere end langtidsmidlerne (1989-2007).

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var også generelt lave, lidt under langtidsmidlerne for de fleste måneder og de hidtil laveste i juli-september for DIN og juni-september for TN, hvilket skyldes den relativt lave afstrømning i forårs- og sommerperioden kombineret med faldende kvælstofkoncentrationer i ferskvand. Kvælstofkoncentrationerne i de åbne farvande var ligeledes lave, det hidtil laveste niveau for TN i oktober måned blev observeret i 2008. Den øgede afstrømning fra land i løbet af efteråret fik dog kvælstofniveauerne til at nærme sig langtidsmidlerne i slutningen af året.

Det samme mønster gjorde sig gældende for fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder, som var relativt lave igennem det meste af 2008, og i oktober måned blev det hidtil laveste niveau for TP registreret. Derimod var fosforkoncentrationerne i de åbne farvande i 2008 ca. 5-10% over niveauet for de tidligere år, mest udpræget for DIP i oktober-december, hvor specielt november måned havde det hidtil højeste niveau.



Figur 6.1. Årsmiddelkoncentrationer 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). Middeldkoncentrationerne er afbildet med angivelse af 95% konfidensgrænser. Fjorde og kystnære områder er i alle grafer afbildet med cirkler, mens åbne havområder er markeret med trekanter. For DIN er fjorde og kystnære områder afbildet adskilt fra åbne havområder og med forskellige akser.

DIP-niveauet i fjorde og kystnære områder var kun 50% højere end niveauet i overfladelaget for de åbne farvande, hvilket er betydeligt mindre end starten af 1990'erne, hvor det var 2-3 gange højere i fjorde og kystnære områder end i de åbne farvande. Iltforholdene ved bunden var i 2008 på niveau med de seneste år, så det er mindre sandsynligt, at de relative høje fosforkoncentrationer skyldes øget frigivelse fra sedimenterne (ref. kapitel 8).

DSi-koncentrationerne i overfladevandet var generelt høje i 2008, specielt i vintermånederne i de åbne farvande, idet det hidtil højeste niveau blev registreret i januar.

I bundvandet for de åbne farvande var DIN-koncentrationerne normale i forhold til tidligere år, hvorimod DIP var højere i sensommer og efterår, og DSi var generelt højere. Dette betyder, at den interne P-belastning har fået relativt større betydning, i forhold til belastningen fra land og atmosfære, for koncentrationerne i bundvandet siden 1989.

På DMU's februar-togt blev der målt DIN-koncentrationer mellem 170 og 200 $\mu\text{g l}^{-1}$ i bundvandet i Læsø Rende og koncentrationer omkring 150 $\mu\text{g l}^{-1}$ i et mellemlag (25-50 m) øst for Læsø ved en salinitet på 32-33. Dette vand stammer formentlig fra Den jyske Kyststrøm, der optræder som et mellemlag i de indre danske farvande ovenover det tungere Skagerrakvand og det lettere udstrømmende Østersøvand, og ses tydeligst som en 'forhøjning' på et blandingsdiagram mellem salinitet og DIN. DIN-niveauet i dette vand adskilte sig fra det dybere bundlag (> 50 m) karakteriseret ved en salinitet omkring 34 og DIN-koncentrationen på 120-130 $\mu\text{g l}^{-1}$. Vandmassen, med ophav i Den jyske Kyststrøm, kunne i marts og april måned (målinger af SMHI og DMU) spores som et mellemlag i Kattegat og Storebælt, dog med nogen fortynding af DIN. I 2008 har der derfor med stor sandsynlighed været indtrængende bundvand i de indre danske farvande med ophav i Den jyske Kyststrøm.

Som helhed var året 2008 ikke usædvanligt sammenlignet med tidligere år. Næringssaltniveauerne var generelt lave, men det er værd at bemærke, at fosfor i efterårsmånederne var relativt høje i de åbne farvande for både overflade- og bundvand.

Udvikling i fjorde og andre kystnære områder

DIN- og TN-niveauet i 2008 var på niveau med de seneste år, og siden det tørre år i 2003 har DIN og TN stabiliseret sig på niveauer omkring henholdsvis 55 og 460 $\mu\text{g l}^{-1}$ (figur 6.1), hvilket er 50% og 74% af middelniveauet for 1989-2002.

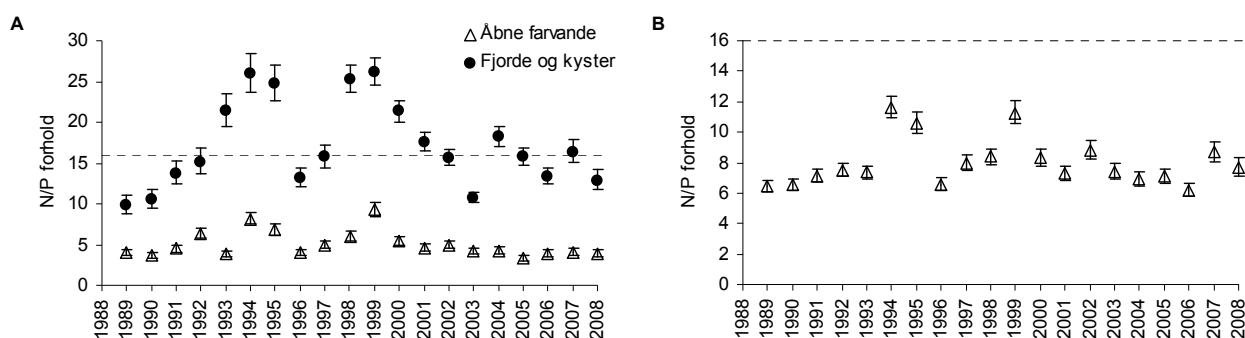
Korrigeres der for år til år variationerne i afstrømningen, var kvælstofniveauet i 2008 det næstlaveste, men det skyldes formentlig kun at niveauerne i 2007 var overkorrigerede i forhold til den store mængde sommerregn og derfor underestimeret. Sammenlignes de afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer i 2008 med 2003-2007 er der sket et fald på 24% og 10% for henholdsvis DIN og TN, hvilket indikerer, at kvælstofniveauerne fortsat falder, om end ikke med samme hastighed som i slutningen af 90'erne.

Middelniveauet for DIP og TP har ligget stabilt omkring henholdsvis 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ og 35 $\mu\text{g l}^{-1}$ efter reduktionerne i punktkildebelastningen i starten af

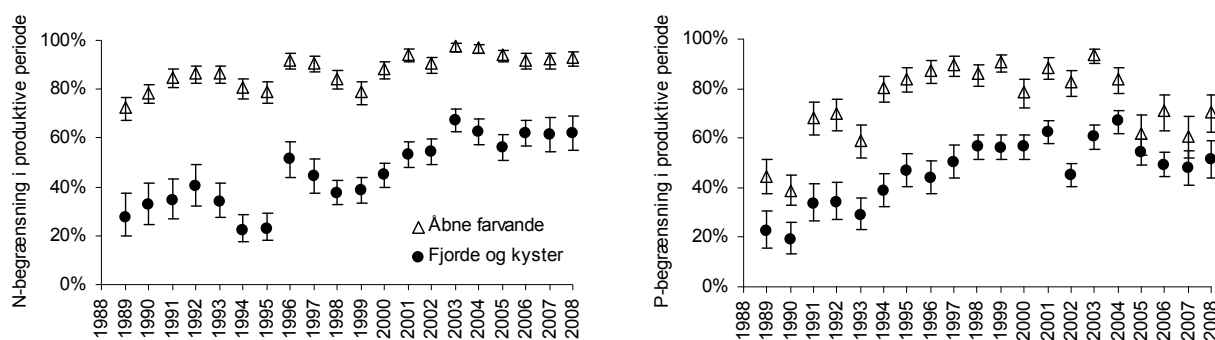
1990'erne, og niveauerne i 2008 svarede til middelniveauet for de sidste 10 år. I forhold til 1989 var fosforkoncentrationerne i 2008 dog reduceret betragteligt med 63% for DIP og 45% for TP.

DSi-niveauerne har varieret omkring $250-400 \mu\text{g l}^{-1}$ siden starten af 1990'erne og 2008 havde det næsthøjeste niveau i de seneste 10 år. Korrigeres der for afstrømningen, var DSi-niveauet 27% højere end 2003-2007. DSi-koncentrationerne er således steget uafbrudt de seneste 5 år, idet faldende niveauer af DIN og DIP kunne medføre et overskud af DSi, såfremt algesammensætningen ikke ændrer sig. Set over hele perioden udviser de afstrømningskorrigerede DSi-koncentrationer således et fald fra omkring 400 til $300 \mu\text{g l}^{-1}$. Dette kunne skyldes en svagt stigende mængde kiselalger i fjorde og kystnære områder (ref. kapitel 7).

Tendensen med faldende DIP-koncentrationer i starten af 1990'erne efterfulgt af stabilisering og faldende DIN-koncentrationer fra midten af 1990'erne til omkring 2003 efterfulgt af stabilisering viser sig tydeligt i forholdet mellem de to koncentrationer, som toppede i 1999, men i de senere år har stabiliseret sig omkring Redfield-forholdet 16:1 (figur 6.2A). 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 6.3). Fosfor blev potentielt mere begrænsende fra 1989-1998, hvorefter fosfor har været potentielt begrænsende i ca. 50% af den produktive periode. Den potentielle fosforbegrænsning har dog været faldende de seneste 4 år, hvilket kan skyldes øget kvælstofbegrænsning og stigende DIP-koncentrationer i de åbne farvande (se nedenfor).



Figur 6.2. Forholdet mellem opløst uorganisk kvælstof og opløst uorganisk fosfor i A) overfladevandet (0-10 m) og B) bundvandet (> 15 m) beregnet ved tresidet variansanalyse (se Bilag 1) efter logtransformation. Middelværdi og dets 95% konfidensgrænser for dette forhold er angivet med trekanter for åbne havområder og cirkler for fjorde og kystnære områder. Den stiplede linje angiver Redfield-forholdet.



Figur 6.3. Potentiel begrænsning af kvælstof og fosfor udregnet som sandsynligheden for, at målinger i den produktive periode fra marts til og med 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) i overfladevandet (0-10 m). Fjorde og kystnære områder er afbildet med cirkler, mens åbne havområder er markeret med trekanter.

De ukorrigerede næringsstofkoncentrationer udviste alle signifikante fald – mest signifikant for fosfor. De afstrømningskorrigerede niveauer udviste endvidere alle stærkt signifikante fald ($P < 0,0001$), og den potentielle N- og P-begrænsning var signifikant stigende over perioden 1989-2008.

Udvikling i åbne havområder

DIN-niveauet har ligget stabilt omkring $10 \mu\text{g l}^{-1}$ siden 2000 og TN har ligeledes stabiliseret sig omkring $250 \mu\text{g l}^{-1}$, og 2008 var meget repræsentativ for disse middelværdier. Sammenholdt med perioden 1989-2007 var kvælstofkoncentrationerne i 2008 ca. 12% lavere (figur 6.1).

De afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer i 2008 var dog højere end i 2007, hvor den store afstrømning fra land i sommerperioden medførte en for stor afstrømningskorrektur. De afstrømningskorrigerede DIN- og TN-koncentrationer var henholdsvis den højeste og den tredje højeste siden 2000. De afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer har været faldende stort set siden 1989, dog med en tendens til stagnation for DIN i de senere år, hvilket for DIN og TN har resulteret i et forventet niveau på omkring henholdsvis $9 \mu\text{g l}^{-1}$ og $240 \mu\text{g l}^{-1}$ 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 stigende tendens i de senere år, hvilket skyldes stigende fosforniveauer i Østersøen og stigende N-begrænsning i kystzonen, hvorved eksporten af fosfor fra kystzonen formentlig er steget.

DSi-niveauet har i hele perioden ligget stabilt mellem $100\text{-}150 \mu\text{g l}^{-1}$, og 2008 var med $150 \mu\text{g l}^{-1}$ et år med høje koncentrationer. For de afstrømningskorrigerede DSi-koncentrationer har der i de seneste 6 år været en støt stigende tendens, hvilket kan skyldes faldende DIN-niveauer og dermed større overskud af DSi.

Udviklingen i forholdet mellem DIN og DIP var langt mindre systematisk sammenlignet med fjorde og kystnære områder, dog kendetegnet ved høje værdier i afstrømningsrige år og tendens til stabilisering omkring et forhold på 4:1 (figur 6.2A).

De faldende koncentrationer af næringsstoffer i vandet har resulteret i stigende potentiel næringssaltbegrænsning. Væksten af planteplankton er i de seneste 8 år potentielt begrænset af kvælstof i > 90% af den produktive periode, hvorimod den potentielle fosforbegrænsning i 2008 (72% af den produktive periode) er ca. 15% mindre end 1994-2004, hvor den potentielle fosforbegrænsning var højest. Den potentielle fosforbegrænsning har været faldende de seneste 5 år (*figur 6.3*).

Der er observeret signifikant faldende niveauer for DIN, TN og TP, både de afstrømningskorrigerede og ukorrigerede, hvorimod DIP og DSi ikke udviser nogen tendens. De stigende DIP-niveauer i de seneste år har derfor ændret den faldende tendens i tidligere rapporter. Således er den potentielle begrænsning af algevæksten kun signifikant stigende for kvælstof, hvorimod faldende potentiel P-begrænsning har ændret den signifikante tendens fra tidligere år.

Udvikling i bundvand i de indre farvande

DIN- og TN-koncentrationerne i 2008 var ikke så høje som i de våde år 1999, 2002 og 2007, men for afstrømningskorrigeret DIN stadig et af de højeste inden for de seneste 10 år (*figur 6.4*). TN-niveauet, korrigeret for afstrømning, var det næstlaveste hidtil.

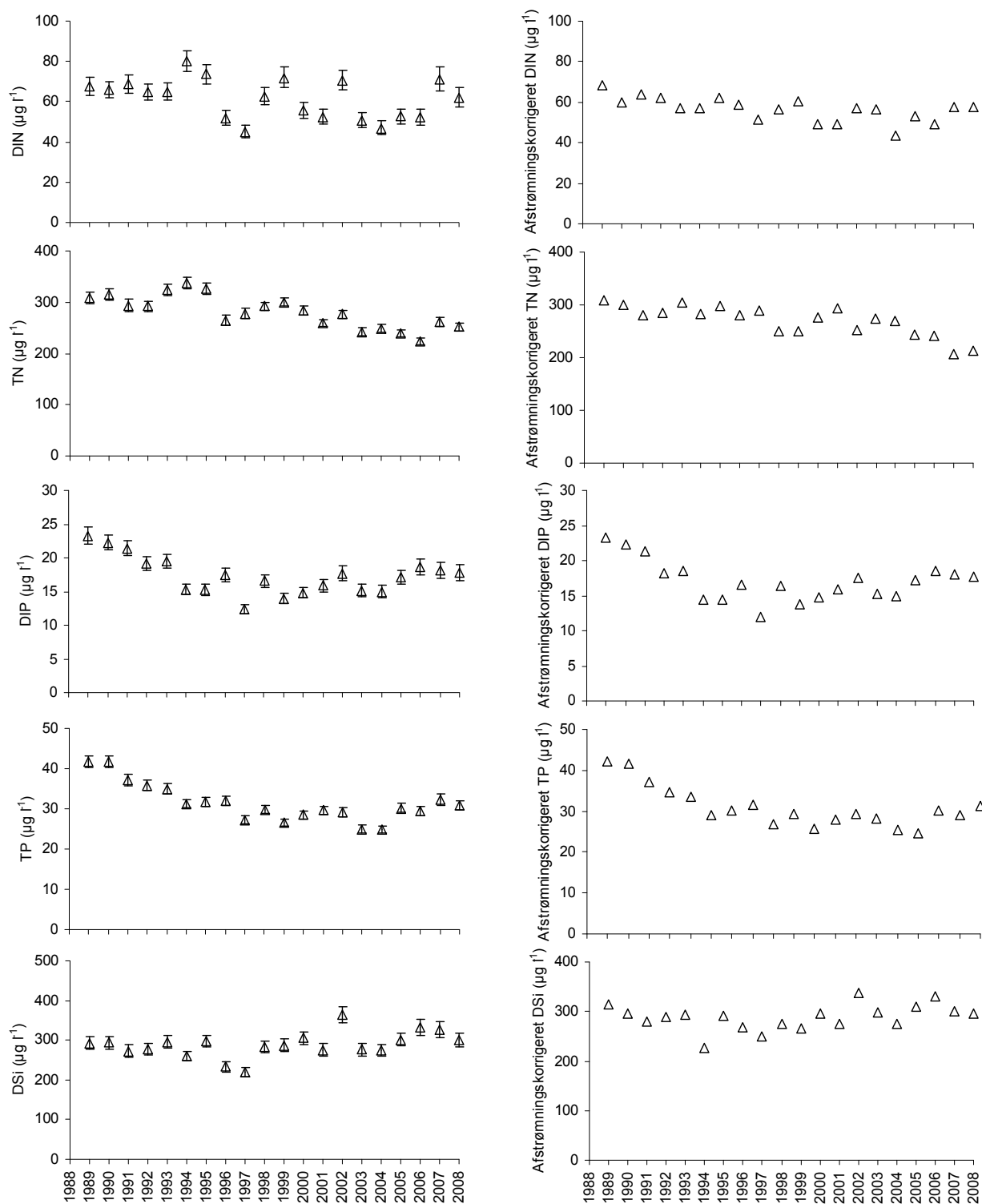
Det relativt høje DIN-niveau i 2008 skyldes formentlig en kraftig indstrømning af Den jyske Kyststrøm. Selvom DIN-koncentrationen i Den jyske Kyststrøm stadig er relativ høj sammenlignet med almindeligt Skagerrak-vand, så er den karakteristiske DIN-koncentration for denne vandmasse faldet fra ca. 250 $\mu\text{g l}^{-1}$ siden 1989 til 150-200 $\mu\text{g l}^{-1}$ i de seneste år.

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 18 $\mu\text{g l}^{-1}$, hvilket skal ses i relation til generelt stigende iltsvind i perioden og øgede DIP-koncentrationer i Østersøen. I 2008 var DIP-niveauet ikke specielt højt i forhold til de seneste år, hvilket skyldes de relativt gode iltforhold. TP-koncentrationen i 2008 var den næsthøjeste i de seneste 12 år, efter at TP-niveauet faldt ca. 30% fra 1989 til 1997. I de seneste 10 år har niveauet været stigende fra 25 til 30 $\mu\text{g P l}^{-1}$.

Der har ikke været nogen generel tendens for DSi for hele perioden som helhed, men ligesom DIP har der været en faldende tendens frem til 1997 efterfulgt af stigende koncentrationer. 2008 havde det fjerde højeste niveau kun overgået af 2002, 2006 og 2007. Faldende DIN-koncentrationer i de seneste 10 år kan bevirke, at mindre DSi bliver partikulært bundet ved produktion af kiselalger og dermed sedimenterer. De høje koncentrationer af DIP og DSi er formentlig også relateret til ændrede N/P/Si-forhold i Østersøen og Skagerrak.

Forholdet mellem DIN og DIP har været stigende frem til 1999 og derefter faldende, og i 2008 var forholdet lidt over middel for de senere år (*figur 6.2B*).

Koncentrationerne af TN og TP er faldet signifikant gennem hele perioden, både uden og med afstrømningskorrektion ($P < 0,05$). Derudover er de afstrømningskorrigerede DIN-niveauer faldet signifikant igennem hele perioden.



Figur 6.4. 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). Middelkoncentrationerne er afbildet med angivelse af 95% konfidensgrænser.

Sammenfatning

- Året 2008 var generelt et normalt år for næringsstofkoncentrationerne, men i sommerperioden blev de hidtil laveste kvælstofkoncentrationer observeret.
- Der var klare indikationer af indtrængende vandmasser fra Den jyske Kyststrøm i forårmånederne i Kattegat og Storebælt. DIN-koncentrationen i Den jyske Kyststrøm er dog faldet væsentligt siden 1989.

- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne udviser faldende tendenser siden 1989, især når der tages højde for år til år variationerne i ferskvands-afstrømningen, dog med en tendens til stagnation for fosfor efter 1997 og et mindre fald for kvælstof siden 2002.
- Disse resultater tilskrives i stor udstrækning spildevandsrensning af fosfor (Vandmiljøplan I) og en reduktion i landbrugets kvælstof-overskud (Vandmiljøplan I og 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 effekten af Den jyske Kyststrøm reduceret væsentlig gennem årene pga. lavere DIN-koncentrationer.
- Uorganisk fosfor- og siliciumkoncentrationer i bundvandet for de indre danske farvande er steget i de senere år, hvilket skyldes øget kvælstofbegrænsning og frigivelse fra sedimenterne, foruden ændrede forhold mellem næringssaltene i Østersøen og måske også i Nordsøen.
- Den potentielle fosforbegrænsning er faldet de senere år i fjorde og kystnære områder samt i de åbne farvande.

7 Pelagisk produktion og sigtddybde

Peter Henriksen, Lars Mølgaard Storm & Jacob Carstensen

Introduktion

Planktonalger er det første led i den pelagiske fødekæde. De fungerer som 'planter', idet de indeholder kloroplaster (grønkorn) og benytter solens lysenergi samt næringsstoffer i vandet til deres vækst. Nogle af planktonalgerne ernærer sig dog desuden eller udelukkende som 'dyr' ved at æde andre organismer. Planktonalger er kendetegnede ved en meget kort generationstid. Derfor reagerer disse organismer meget hurtigt på forhold, der påvirker deres vækst, fx ændrede tilførsler af næringsstoffer og lysindstråling. Primærproduktionen i de frie vandmasser er et mål for planktonalgernes vækst, og vandets koncentration af klorofyl *a*, det grønne farvestof i grønkornene, benyttes som en indikator for den samlede mængde af planktonalger. Mængden af planktonalger i vandet vil påvirke sigtddybden eller vandets klarhed, der ofte benyttes til vurderingen af miljøtilstanden i havmiljøet.

Kiselalger og dinoflagellater er de dominerende algegrupper i de fleste danske fjorde og de væsentligste algegrupper i de åbne havområder. Udsynkning af specielt kiselalger fra overfladevandet forsyner bundlevende dyr med betydelige mængder af organisk materiale.

Nogle arter af planktonalger producerer giftstoffer, der kan akkumuleres i skaldyr og derigennem potentielt kan forgifte mennesker, der spiser fx muslinger. En anden gruppe giftstoffer har en direkte effekt på andre organismer i det akvatiske miljø.

Vandets klarhed (sigtddybde), mængden af planktonalger i vandet (klorofyl) og algevæksten (primærproduktion) benyttes til at beskrive miljøtilstanden i marine områder. Disse parametre repræsenterer et fælles hjørne af det marine økosystem, idet en høj primærproduktion ofte medfører en høj klorofylkoncentration, og en stor mængde alger i vandet medfører en reduceret sigtddybde. Således kan data for klorofyl hhv. sigtddybde betragtes som afledte effekter af primærproduktion. Dette forsimplede system beskriver dog ikke tabsprocesser såsom fx græsning fra dyreplankton. Alle tre parametre påvirkes af variationer i næringsstofftilførslen, som igen er relateret direkte til ferskvandsafstrømning (ref. *kapitel 3*).

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 2008. Til beskrivelsen af primærproduktion, klorofyl og sigtddybde er benyttet samme metode til indeksering, som er brugt i forbindelse med beskrivelsen af næringsstofkoncentrationer, hvor årsmidler er blevet beregnet med en tresidet variansanalyse for hhv. fjorde, kystvande og åbne havområder (*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 inddrager således ikke andre klimatiske forklaringsvariable.

Sigtdybde, klorofyl og primærproduktion

For hele perioden 1989-2008 har sigtdybden ikke ændret sig signifikant. Det gælder både med og uden klimakorrektion, og den klimakorrigerede middelsigtdybde var 7,4 m for de åbne farvande hhv. 4,2 m i fjordene (*figur 7.1A og B*).

Den gennemsnitlige klimakorrigerede sigtdybde for 2008 var 6,6 m i de åbne farvande og knap 4,1 m for fjordene, hvilket er stort set uændret i forhold til værdierne for 2007. Det betyder også, at der stadig er observeret et fald i den klimakorrigerede sigtdybde siden 2001 ($P < 0,05$) i både fjorde/kystnært og i de åbne farvande. For de åbne farvande havde 2008 det laveste årsgennemsnit for sigtdybde siden indførelsen af vandmiljøplanerne.

Klorofyl

Klorofylkoncentrationerne har ligget tilsvarende jævnt fordelt over årene uden signifikante tendenser for klimakorrigerede værdier. For de åbne farvande var middelkoncentrationen lige under $1,9 \mu\text{g l}^{-1}$ igennem hele perioden, og for 2008 var middelkoncentrationen stort set det samme (*figur 7.1C og D*).

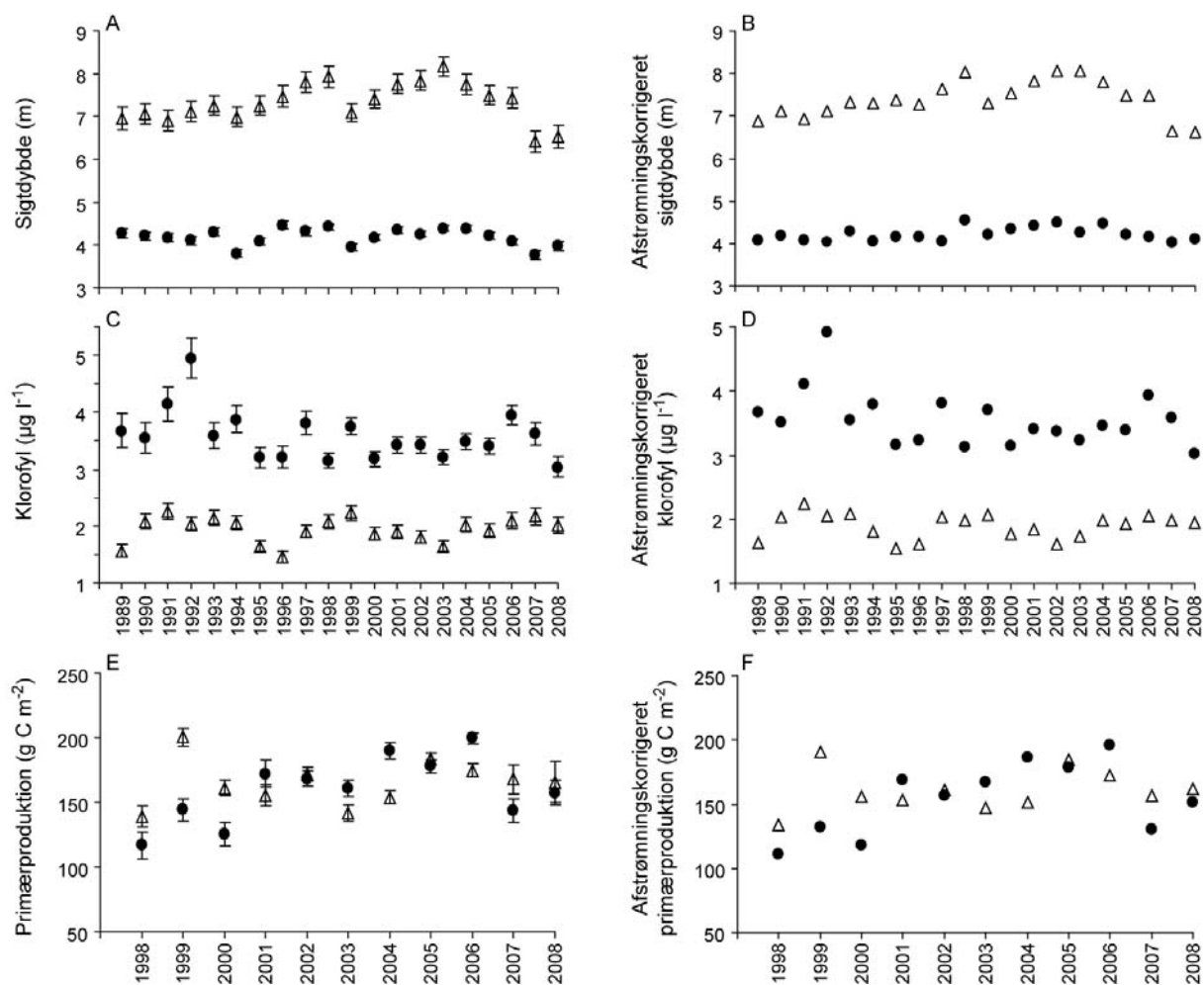
Tilsvarende gælder for fjordene, hvor middelkoncentrationen fra 1989-2008 var $3,6 \mu\text{g l}^{-1}$. I 2008 faldt koncentrationen til gengæld til $3 \mu\text{g l}^{-1}$, som er det laveste målte niveau.

Primærproduktion

Primærproduktion er et emneområde, der ikke er sikret i et fælles fagsystem, som fx vandkemidata. De analyserede data, er de data, 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 helt andet niveau end tidligere (*Ærtebjerg 2007*). Dette er først kommet til udtryk, efter at tidsserien har fået en vis længde, men det er ikke muligt at genberegne data før 1998, og derfor beskrives kun forløbet fra 1998-2008.

Primærproduktionen har siden 1998 vist en svagt stigende tendens, men med 2008-data inkluderet er dette ikke signifikant (*figur 7.1E og F*). Den gennemsnitlige primærproduktion for denne 10-årige periode var $160,6 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ og $154 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ hhv. i de åbne farvande og fjordene.

For de åbne farvande lå primærproduktionen på $161,8 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, hvilket var meget tæt på niveauet for 2007. I fjordene var den årlige gennemsnitlige primærproduktion i 2008 på $151,4 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Dette var en forøgelse på $21 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i forhold til 2007, som oplevede et meget kraftigt fald i produktionen (*Dahl & Josefson 2009*). Derved lå primærproduktionen i 2008 tæt på den årlige gennemsnitlige produktion for hele perioden.

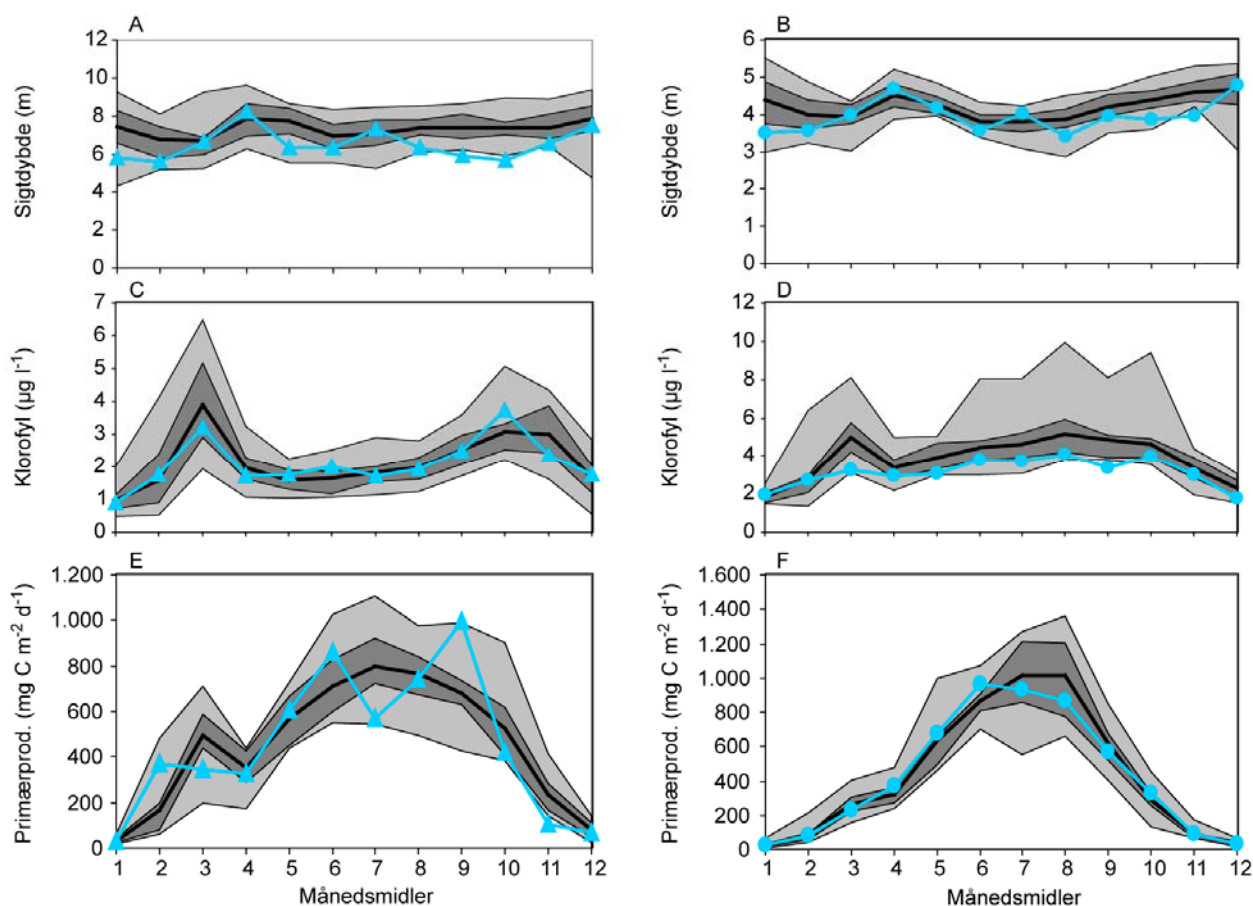


Figur 7.1. Udviklingen af årlige gennemsnitlige værdier for de åbne indre farvande (Δ) og for fjordene (●). Observerede værdier $\pm$ 95% konfidensintervaller (A+C+E) og afstrømningskorrigerede værdier (B+D+F) for sigtdybde, klorofylkoncentration og primærproduktion.

Udviklingen i 2008

Sæsonfordelingen i løbet af 2008 fulgte nogenlunde udviklingen igennem året, som normalforløbet har været siden 1989, men den var også på flere måder usædvanlig både mht. størrelsen af observerede værdier og i den tidlige udvikling (figur 7.2). Det er også overraskende, at sigtdybden er lavere end langtidsmiddelværdien i flere måneder, når der samtidig er målt meget lave klorofylkoncentrationer – specielt i fjordene. Den benyttede metode kan ikke forklare dette.

For sigtdybde startede året i de to første måneder lidt lavere end langtidsgennemsnittet både i de åbne farvande og i fjordene, hvorefter den steg både i marts og april (figur 7.2A+B). Denne stigning i marts er usædvanlig, da det typisk er her, at forårsopblomstringen topper og derved mindsker sigtdybden. For april var der derfor også helt normalt en forbedret sigtdybde, som følger afslutningen af forårets opblomstring af planktonalger.



Figur 7.2. Udviklingen af sæson-middelværdier for 2008 (blå kurve) for de åbne indre farvande (▲ A+C+E) og for fjorde (● B+D+F) samt langtidsmiddelværdier for perioden 1989-2007 (sort kurve). Lysegrå skravering: minimum- og maksimumværdier (1989-2006). Mørkegrå skravering: 25% fraktile og 75% fraktile (1989-2007). For primærproduktion er perioden 1998-2007.

Sommeren forløb almindeligt, dog igen med en lidt forbedret sigt dybde i juli måned, som kan hænge sammen med et kraftigt fald i primærproduktionen på dette tidspunkt. Herfra faldt den gennemsnitlige sigt dybde i de åbne farvande frem til september og oktober, som havde de laveste værdier for hele perioden (hhv. 5,90 m og 5,66 m mod normalt ca. 7,40 m).

I fjordene sås et lille fald frem til august måned, hvorefter sigt dybden var konstant helt hen i november efterfulgt af en stigning op mod det normale niveau i december. I november måned var der kun 3,95 m sigt dybde mod et normalt gennemsnit på 4,61 m. Sædvanligvis ses en jævn forøgelse af sigt dybden på lidt under 1 meter fra august til december. I 2008 var der i sensommeren og efteråret en lav klorofylkoncentration men en helt gennemsnitlig primærproduktion i samme tidsrum. Klimaet afveg heller ikke væsentligt fra de sædvanlige mønstre (kapitel 2), så derfor ville man normalt forvente en højere sigt dybde end det observerede.

Klorofylkoncentrationen fulgte stort set middelværdierne i de åbne farvande og afveg kun med en smule mindre klorofyl omkring forårsopblomstringen i marts og en lille top i oktober måned (figur 7.2C).

Til gengæld var der i fjordene gennemgående meget lave koncentrationer fra marts måned og resten af året, som næsten var 1 µg l⁻¹ under den gennemsnitlige koncentration (figur 7.2D). I marts og september var kon-

centrationen meget lav, i sidstnævnte måned med kun $3,35 \mu\text{g l}^{-1}$, hvilket er det hidtil laveste observeret.

Primærproduktionen udviklede sig lidt usædvanligt i forhold til tidligere år, specielt i de åbne farvande (*figur 7.2E+F*). Normalt ses en top i forbindelse med forårsopblomstringen i marts, men denne top kom allerede i februar, hvorefter der var en konstant primærproduktion frem til og med april. Herefter steg produktionen på normal vis de følgende to måneder. Frem til juli faldt produktionen markant igen efterfulgt af en forøgelse i august til normalt niveau og videre til maksimal produktion i september. Resten af efteråret frem mod december lå derimod under den gennemsnitlige primærproduktion.

I fjordene fulgte primærproduktionen i 2008 udviklingen, som den er foregået i perioden 1998-2007. Den eneste afvigelse var et lille fald fra juni til juli, der normalt først optræder lidt senere.

Biomasse af kiselalger

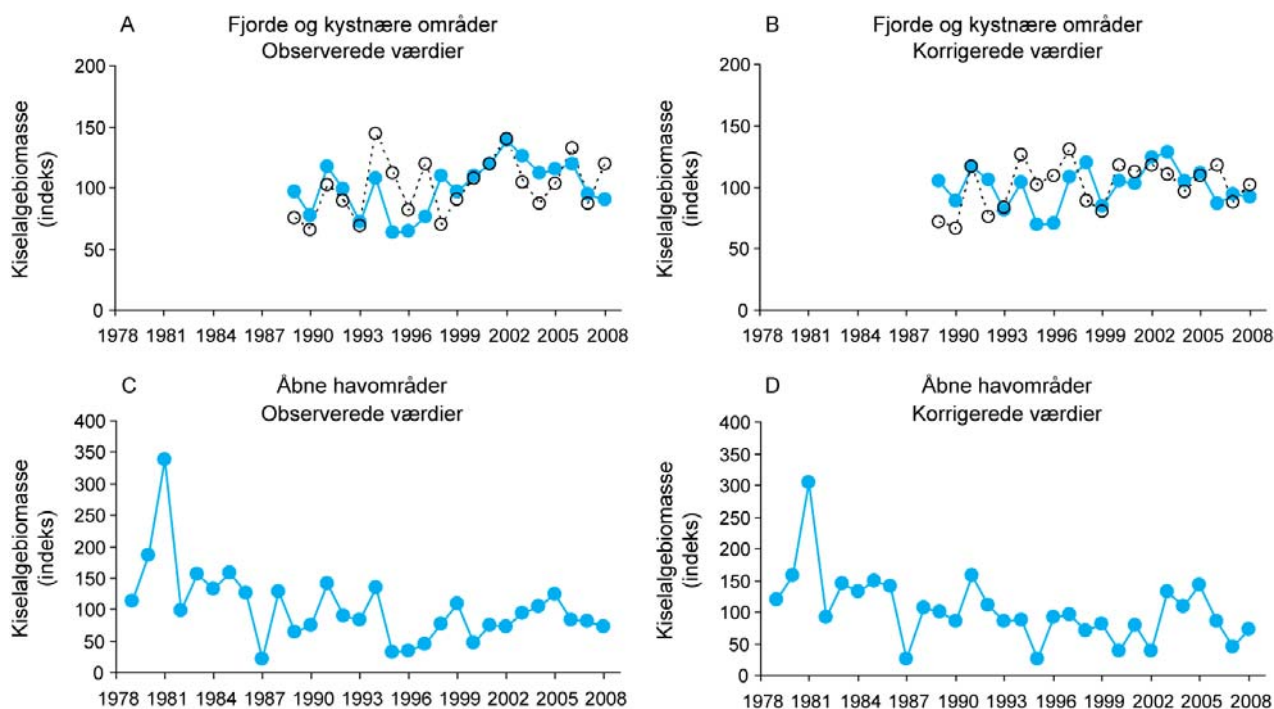
Udviklingen i klorofylkoncentrationen kan tages som et mål for udviklingen i den samlede biomasse af planktonalger, men viser ikke noget om algesammensætningen. I det følgende beskrives derfor udviklingen i den dominerende planktonalgegruppe, kiselalger.

Betragtes samtlige fjorde under ét, bortset fra Ringkøbing Fjord, hvor der midt i 1990'erne skete et markant strukturskifte som følge af ændret slusepraksis, har biomassen af kiselalger siden 1989 varieret fra år til år uden en overordnet tendens til stigning eller fald (*figur 7.3A*).

I fjorde og kystområder hang kiselalgebiomassen i perioden 1989-2008 signifikant ($P < 0,05$) sammen med afstrømningen og indstrålingen. Der var regionale forskelle i sammenhængen, idet kiselalgebiomassen i de østjyske fjorde og kystnære stationer i Kattegat bedre kunne forklares med afstrømningen (positiv sammenhæng) og vind (negativ sammenhæng). Efter korrektion af biomasseindekset for klimatiske variationer (afstrømning og hhv. indstråling eller vindhastighed i tredje potens) viste kiselalgeindekserne stadig år til år variationer uden overordnet tendens til fald eller stigning siden 1989 (*figur 7.3B*).

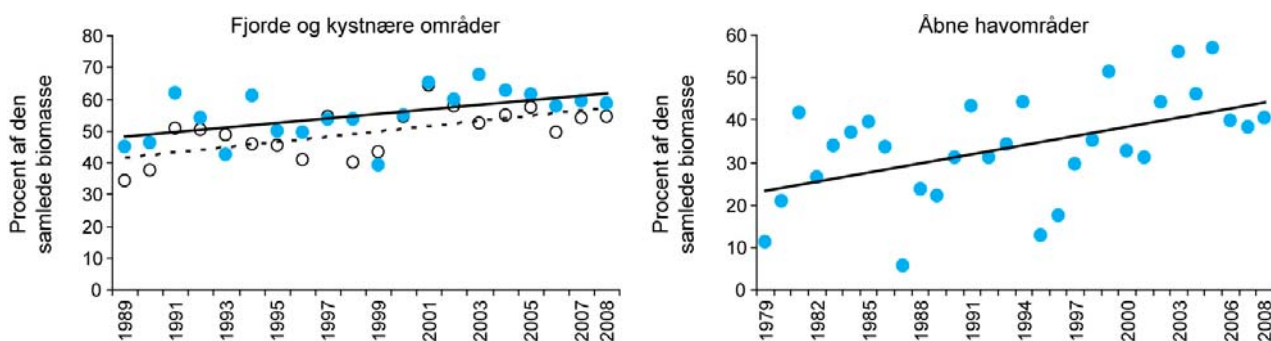
I Isefjord blev der i februar registreret en usædvanlig kraftig forårsopblomstring af kiselalgen *Skeletonema costatum*, der den 18. februar nåede en koncentration på $340 \text{ mio. celler l}^{-1}$ og en biomasse på $5.467 \mu\text{g C l}^{-1}$.

I de åbne havområder er biomassen af kiselalger faldet fra 1979 til 2008 (*figur 7.3C*). Mest markant var faldet i perioden indtil midt i 1980'erne. Biomassen af kiselalger har siden 1979 korreleret med afstrømningen. Både den observerede og den klimakorrigerede kiselalgebiomasse (*figur 7.3D*) er faldet signifikant siden 1979 ($P < 0,05$ for begge indeks). Betragter man alene perioden efter 1986, er der dog ikke tale om signifikante fald i biomassen.



Figur 7.3. Udviklingen i årlige gennemsnitsbiomasser af kiselalger i fjorde (A og B) og på åbne havstationer i de indre farvande (C og D). For fjorde og kystnære områder er der i A vist indeks for alle fjorde minus Ringkøbing (= 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 figurene B og D viser de tilsvarende indeks korrigeret for klimatiske variationer.

Der er igennem overvågningsperioden sket ændringer i sammensætningen af planktonalgerne. Kiselalgerne bidrag til den samlede planktonalgebiomasse har varieret fra år til år (specielt i de åbne farvande) og været signifikant stigende i alle områder (figur 7.4). Denne ændring i sammensætning kan have betydning for de zooplanktonorganismer, der æder planktonalgerne. Kiselalger forbindes traditionelt med den klassiske fødekæde, hvor algerne ædes af store vandløpper, der tjener som vigtig fødekilde for fisk, mens andre, ofte mindre, bevægelige planktonalger i højere grad ædes af små encellede zooplanktonorganismer.



Figur 7.4. Udviklingen i kiselalgers procentvise bidrag til den samlede planktonalgebiomasse (årsbiomasse) i fjorde og på åbne havstationer i de indre farvande. For fjorde og kystnære områder er udviklingen siden 1989 vist for alle fjorde minus Ringkøbing (= åbne symboler og stiplede linje) samt for østjyske fjorde og kystnære områder (lukkede symboler og fuldt optrukket linje).

Forekomst af potentielt toksiske arter i 2008

Der var i 2008 kun få registreringer af potentielt toksiske planktonalger i høje koncentrationer. I februar forekom kiselalgeslægten *Pseudo-nitzschia*, som kan producere domoinsyre, der kan akkumuleres i muslinger og forårsage ASP (amnesisk skaldyrsforgiftning), i koncentrationer på omkring 1 mio. celler l⁻¹ i Isefjord og Århus Bugt. Den største forekomst var i Skive Fjord i august, hvor der blev fundet 4,5 mio. celler l⁻¹ af *Pseudo-nitzschia delicatissima*-gruppen.

Den fisketoksiske slægt *Chrysochromulina* blomstrede op i maj og fandtes i store mængder i det nordlige Lillebælt (op til 42 mio. celler l⁻¹) og Århus Bugt (op til 5 mio. celler l⁻¹). Desuden blev der i Ålborg Bugt fundet > 1 mio. celler l⁻¹ i perioden fra maj til august.

I Hvalpsund, Limfjorden, blev der fra midt i april og ca. en måned frem registreret PSP-toksiner, som forårsager paralytisk skaldyrsforgiftning, i muslinger fra specielt line-opdrætsanlæg (*Holtegaard m.fl.* 2008). PSP-toksiner er tidligere kun registreret i danske muslinger i 1987 og 1990. I begge tilfælde var det i Limfjorden og i forbindelse med forekomster af dinoflagellaten *Alexandrium tamarense*. Igen i 2008 var der sammenfald mellem den kendte PSP-producent *A. tamarense* og toksinerne i muslingerne. Koncentrationerne af *A. tamarense* var dog lave og oversteg ikke 400 celler l⁻¹.

Ud over de jævnligt registrerede arter *Alexandrium tamarense* og *A. ostensfeldii* blev arten *A. pseudogonyaulax* i 2008 for første gang fundet i Limfjorden. Den optrådte fra starten af juni til oktober med en maksimal koncentration på 18.000 celler l⁻¹. Denne art er ikke kendt som en PSP-producent.

Sammenfatning

- Sigtdybden i de åbne farvande havde i 2008 det laveste årsgennemsnit siden indførelsen af vandmiljøplanerne.
- Den gennemsnitlige sigtdybde faldt i de åbne farvande fra juli og frem til september (5,90 m) og oktober (5,66 m). Disse måneder havde de laveste værdier for hele perioden, som ellers normalt har en sigtdybde på 7,40 m.
- I 2008 var den gennemsnitlige klorofylkoncentration i fjordene 3 µg l⁻¹, som er det hidtil laveste målte niveau.
- Der var i fjordene gennemgående meget lave klorofylkoncentrationer fra marts og resten af året, med næsten 1 µg l⁻¹ under den gennemsnitlige koncentration (*figur 7.2D*). Selv i marts, hvor der normalt er forårsopblomstring, var koncentrationen af klorofyl meget lav. I september var der kun 3,35 µg l⁻¹, hvilket er det laveste, der hidtil er målt.
- Primærproduktionen i de åbne farvande udviklede sig med flere usædvanlige spring end normalt. Februar havde en høj produktion, hvorimod marts havde en lavere produktion. Juni måned bød også på et meget lavt niveau, mens september til gengæld havde den højeste primærproduktion i 2008.
- Det er usædvanligt, at der specielt i fjordene er meget lav sigtdybde samtidig med lave klorofylkoncentrationer. Sigtdybden må derfor i højere grad end tidligere være påvirket af andet end de autotrofe organismer med klorofyl. Det kunne fx dreje sig om resuspenderet materiale fra bunden, men overvågningen inkluderer ikke målinger, der kan belyse dette.

- Biomassen af kiselalger var i 2008 på niveau med 2007 og i de åbne farvande svarende til langtidsgennemsnittet for 1989-2008, mens den i fjordene var en smule lavere end gennemsnittet for 1989-2008.
- Meget få potentielt toksiske alger blev registreret i høje koncentrationer i 2008. Der blev dog usædvanligt fundet PSP-toksiner i muslinger fra Hvalpsund i Limfjorden i april-maj.
- I Limfjorden forekom dinoflagellaten *Alexandrium pseudogonyaulax* for første gang og i koncentrationer helt op til 18.000 celler l⁻¹. Denne forekomst var dog ikke knyttet til registreringerne af PSP-toksiner i muslinger.

8 Iltforhold

Ditte L. Jansen Petersen, Cordula Göke & Jacob Carstensen

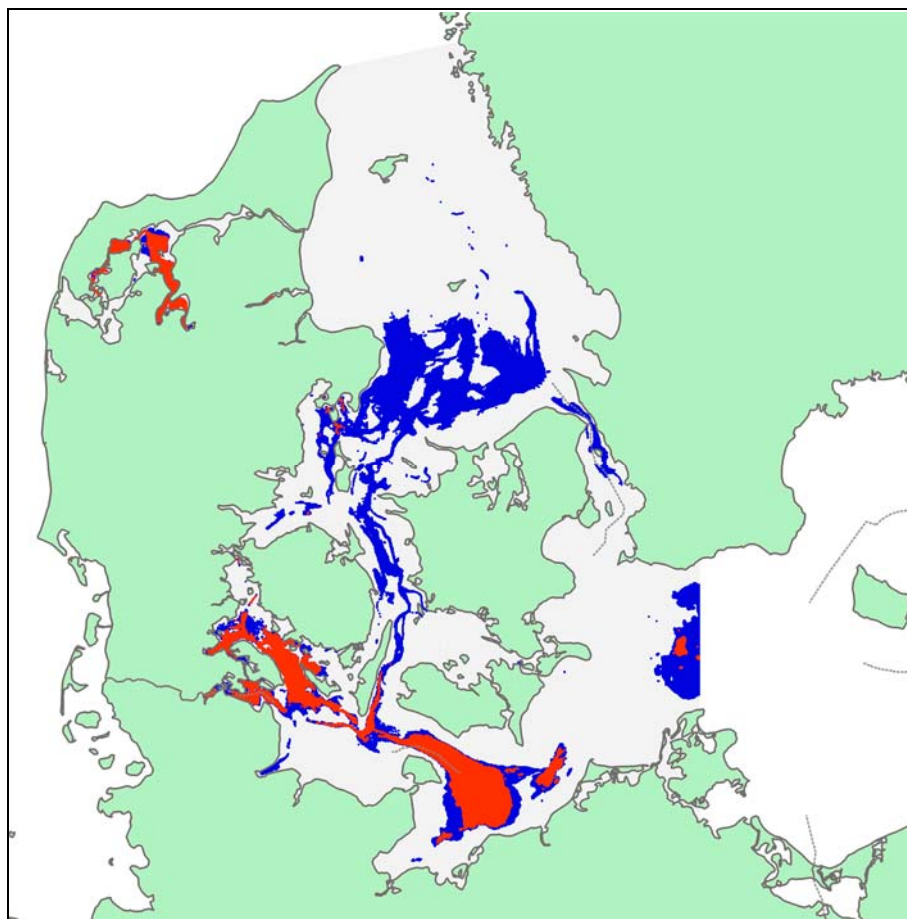
Reduktion af iltkoncentrationen ved bunden er delvist en sekundær effekt af eutrofiering. Øget næringsstofftilførsel giver øget planktonalgeproduktion, som fører til øget iltforbrug ved mikrobiel omsætning af denne produktion og eventuelt til udvikling af iltsvind ved bunden. Definitionen på iltsvind er, at koncentrationen af ilt i vandet ligger i intervallet 2-4 mg O₂ l⁻¹, mens der er tale om kraftigt iltsvind, når koncentrationen er < 2 mg O₂ l⁻¹. Omsætningen af planktonalgerne øges ved øget temperatur i bundvandet. Iltsvind forringer livsbetingelserne for bunddyr og bundlevende fisk. Det aktuelle iltindhold kan dog ikke direkte relateres til mængden af tilførte næringsstoffer, da iltkoncentrationen er resultatet af både iltforbruget og ilttilførslen. Ilttilførslen afhænger af de meteorologiske og hydrografiske forhold, især af vindens styrke og retning. Den eutrofieringsbetingede udvikling i iltforholdene kan derfor kun vurderes ud fra lange tidsserier eller ved modelberegninger, hvor der tages højde for variationerne i ilttilførslen.

Inddrages forklarende parametre, viser det sig, at middelkoncentrationen af ilt under lagdelte forhold i fjorde og kystvande ($\Delta\sigma_T > 0,5$) korrelerer signifikant negativt med TN-tilførslen fra land fra juli året før til juni samme år og med vindstyrken i juli til september samme år. Vinden og TN-tilførslen forklarer tilsammen 52% af år til år variationen i iltkoncentrationen. I de åbne farvande korrelerer middelkoncentrationen af ilt under lagdelte forhold i juli-november signifikant med TN-tilførslen fra land fra juli året før til juni samme år samt med indstrømningen af bundvand fra Storebælt til Femern Bælt i maj-september. Yderligere er der en signifikant negativ korrelation mellem middel iltkoncentrationerne og temperaturen i det indstrømmende Skagerrakvand januar-april samme år. Tilsammen forklarer de 3 variable 49% af år til år variationen i iltkoncentrationen i de åbne indre farvande (Conley *m.fl.* 2007).

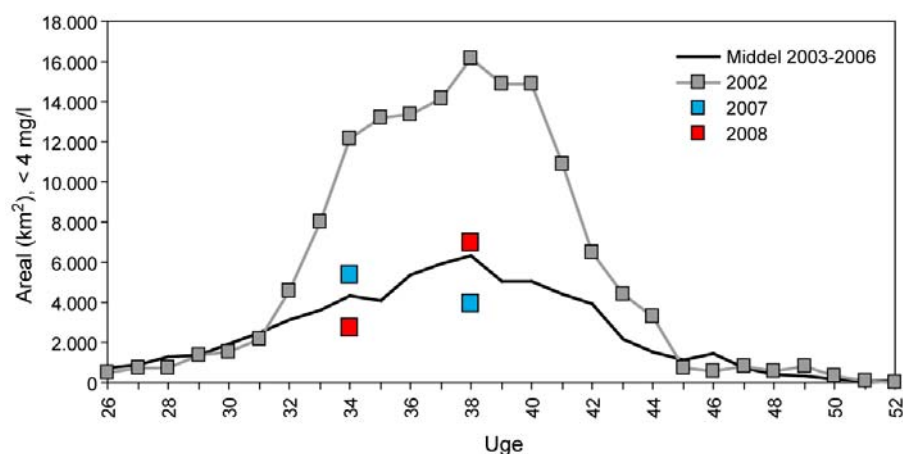
Året 2008

Iltsvindene var af lidt kortere varighed og mindre udbredte i 2008 (figur 8.1) end i perioden 2003-2006 bl.a. pga. jævnlige hændelser med kraftig vind. Skønt antallet af dage med kraftig vind lå under normalen, var timingen af disse hændelser gunstig for iltforholdene i iltsvindsperioden. Udbredelsen af iltsvind i august var på 2.700 km² mod 5.400 km² på samme tid året før, hvorimod udbredelsen af kraftigt iltsvind var 509 km² (figur 8.2), hvilket er i nogenlunde samme størrelsesorden som året før (575 km²). Til forskel fra 2007 var der ikke iltsvind i de åbne og permanent lagdelte dele af Kattegat i august (Petersen *m.fl.* 2009). I september 2008 opstod et udbredt iltsvind i det sydlige Kattegat og i de dybe dele af Bælthavet, og iltsvindet dækkede således et areal på 6.966 km². Arealet berørt af kraftigt iltsvind, som hovedsageligt optrådte i det sydlige Bælthav, blev næsten 4-doblet sammenlignet med august og dækkede 1.996 km². Iltsvindsudbredelsen i august lå lige under middel for perioden 2003-2006, mens udbredelsen i september lå lige over. Iltsvindet nåede sin maksimale udbredelse i starten af oktober, hvorefter iltforholdene gradvist blev bedre, og i midten af november var der kun iltsvind i afgrænsede områder i Øresund, Mariager Fjord og i Bornholmsdybet.

Figur 8.1. Det samlede areal berørt af iltsvind i august og september 2008. Udbredelsen er modelleret på baggrund af målinger udført 18.-21. august og 15.-18. september. I Limfjorden er udbredelsen modelleret ud fra målinger udført i perioden juni (uge 23) til august (uge 38). Blå farve indikerer iltsvind ($< 4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), og rød farve indikerer kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$).



Figur 8.2. Areal dækket af iltsvind ($< 4 \text{ mg/l}$) uge for uge i sidste halvdel af 2002 og i middel for årene 2003-2006, samt midt i september i 2007 og 2008.



Klimatisk set var 2008 specielt ved, at både luft- og havtemperaturer i alle måneder lå over normalen for perioden 1972-1990, at bundvandstemperaturen i de åbne farvande steg kraftigt fra ca. 8°C i juni til ca. 13°C i august, hvor normalen er $10,5^\circ \text{C}$, og at de første 3 måneder af året var meget blæsende. Antallet af dage med kraftig vind i de øvrige måneder lå under normalen. Året var også kendetegnet ved en vinterafstrømning, som lå 19% over normalen. Der tilførtes dog farvandene mindre kvælstof, end det ville have været tilfældet under samme nedbørs- og afstrømningsforhold før vandmiljøplanerne.

Næringssaltniveauerne i 2008 var generelt lave men ikke usædvanlige sammenlignet med tidligere år. Dog var fosforniveauerne i de åbne farvande høje i såvel overfladevand som bundvand i efteråret (*Kapitel 6*).

Det Sydfynske Øhav, sydlige Lillebælt, Aabenraa Fjord og Flensborg Fjord var berørt af vedvarende kritisk lave iltkoncentrationer i 3 måneder, og der var endvidere forekomst af giftig svovlbrinte i bundvandet.

I slutningen af august og starten af september blev der observeret iltsvind i den sydlige del af Kattegat ud for Griben og langs Sjællands nordkyst, i det centrale Kattegat samt i Laholmsbugten og i Skälderviken i svensk farvand. I oktober var der ikke længere iltsvind i det centrale Kattegat, mens der i de svenske områder stadig var kraftigt iltsvind (*Hansen & Manscher 2008*). Der blev ikke foretaget målinger i det sydlige Kattegat og langs nordkysten af Sjælland i oktober. Ved målingerne i november blev der ikke registreret iltsvind i Kattegat. Iltsvindet i Kattegat var i 2008 knapt så langvarigt som i 2007.

I Limfjorden, der er lavvandet og ikke permanent lagdelt, opstod et kraftigt iltsvind midt i juli som følge af forudgående kraftig vestenvind, der forårsagede indstrømning af mere salt bundvand fra den vestlige del af fjorden. Herved opstod en lagdeling af vandsøjlen, og iltindholdet i bundvandet faldt hurtigt. I slutningen af juli var 18% af fjordens areal berørt af iltsvind. Det var hovedsageligt området fra Livø og sydpå mod Hvalpsund, Skive Fjord og Lovns Bredning, der blev ramt. Det kraftige iltsvind i disse områder fortsatte frem til midt i august – hvor der også forekom en kraftig frigivelse af næringsstoffer fra sedimentet – og resulterede i, at hovedparten af bunddyrene i områdets dybere dele døde (*Miljøcenter Ringkøbing, pers. komm. 2008*). En kraftig østenvind i september betød imidlertid, at iltforholdene blev væsentligt forbedrede. Efterfølgende var der korterevarende iltsvindshændelser i begrænsede områder. I Lovns Bredning var der dog vedvarende iltsvind i september. I starten af oktober blev der observeret iltsvind i enkelte afgrænsede områder. Der blev ikke observeret iltsvind i Limfjorden ved årets sidste målinger i slutningen af oktober og i november.

I den dybe del af Mariager Fjord, der pga. sin morfologi er permanent lagdelt med vedvarende iltfrie forhold under springlaget, bevægede grænsen for iltsvind sig opad i vandsøjlen i starten af juli og lå i starten af august i 8 m's dybde. Der blev konstateret kraftigt iltsvind på fjordens lavtvandsstationer midt i august på trods af hændelser med kraftig vind. Årets seneste målinger viste, at iltsvindsgrænsen var rykket ned i 15 m's dybde, og iltforholdene var således knapt så dårlige som i august bl.a. som følge af mindre indstrømning af iltholdigt kattegatvand.

I det nordlige Lillebælt og i det nordlige Bælthav var der i slutningen af august et større sammenhængende område med iltsvind. I forbindelse med at vinden skiftede retning fra vest til øst i starten af september, skete der en udskiftning af vandmasserne. Det berørte område blev derved indskrænket, samtidig med at iltkoncentrationen faldt, og der opstod kraftigt iltsvind. I oktober bredte iltsvindet sig igen men aftog i styrke, mens der midt i november blev målt iltkoncentrationer tæt på mætning.

Skiftet til højtrykspræget vejr med østenvind i starten af september medførte udstrømning af lavsalint vand fra Østersøen, hvilket forstærkede

springlaget. Derved begrænsedes udskiftningen af bundvandet i Storebælt og betød, at der midt i september var iltsvind i et mere eller mindre sammenhængende område, som strakte sig ned gennem Storebælt syd om Ærø og Langeland og op til nord for Als.

Allerede sidst i juli var der udbredt iltsvind i det sydlige Lillebælt og i det Sydfynske Øhav, og der observeredes forekomst af liglagen i bl.a. Fåborg Fjord. I Flensborg Fjord opstod iltsvindet i maj måned, og i august var bundvandet helt uden ilt, og der blev desuden konstateret svovlbrintefrigivelse fra sedimentet. Disse forhold herskede helt frem til midten af november, hvorefter der igen var ilt i bundvandet.

Øresund blev i august ramt af iltsvind i området syd for Ven på dybder over 50 m. I september havde iltsvindet bredt sig til hovedparten af det centrale Øresund. I november var det iltsvindsramte område mindsket betragteligt og kun få afgrænsede områder var berørt.

I starten af oktober blev der målt iltsvind i Bornholmsdybet fra 55 m's dybde til bunden (89 m), og iltsvindsgrænsen har ikke ligget så højt oppe i vandsøjlen ved nogen anden måling de sidste 5 år. En mulig forklaring på denne placering højt oppe i vandsøjlen kan være, at der er sket en indstrømning af tungt iltfatigt bundvand fra Bælthavet. I november var iltsvindet rykket yderligere op i vandsøjlen og lå således i 50 m's dybde.

Langtidsudviklingen i iltforhold

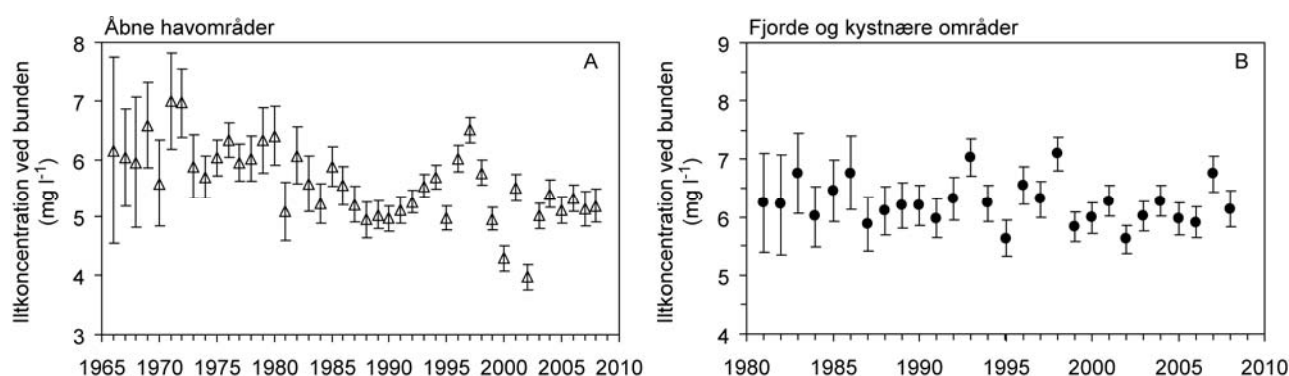
Trendanalyser af middelmiddelt koncentrationen af ilt ved bunden i juli - november under lagdelte forhold er foretaget på tidsserier fra de danske farvande delt op på områder (*tabel 8.1*).

Udviklingen i iltkoncentrationen i bundvandet i juli-november i områderne nævnt i *tabel 8.1* har været signifikant negativ i alle områder i undersøgelsesperioden med et fald i koncentrationerne varierende mellem 0,02 til 0,036 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹. Undtagelser herfra er de lavvandede vestjyske fjord- og kyststationer samt de sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet. I disse områder har der været en positiv udvikling – om end ikke signifikant – i iltkoncentrationen på hhv. 0,006 og 0,028 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹. En forklaring herpå kan være, at disse områder ikke er permanent lagdelte, og at iltindholdet derfor hyppigt ændrer sig, hvilket giver bl.a. en stor spredning i data.

Kombineres henholdsvis alle kystvande og alle åbne farvande, er der ingen tydelig udvikling i iltkoncentrationen i fjorde og kystvande i juli-november i perioden 1981-2008. Dog lå middelmiddelt koncentrationen relativt højt fra 1990-1998 og relativt lavt fra 1999-2006 (*figur 8.3*). I 2008 var iltkoncentrationen i fjorde og kystvande på niveau med 1988-1990. I de åbne farvande har der siden 1965 været store udsving i iltkoncentrationen i bundvandet i juli-november. Generelt var niveauet højt i 1960'erne og 1970'erne, mens det var lavt i slutningen af 1980'erne. Fra 1995 til 2002 var der store år til år variationer; i de tørre år 1996 og 1997 var iltkoncentrationerne høje (svarende til 1970'er-niveau), mens periodens laveste iltkoncentrationer optrådte i 2000 og 2002. I 2008 var koncentrationerne på niveau med de seneste 5 år.

Tabel 8.1. Trendanalyser af middel iltkoncentration i bundvandet delt op på områder. Beregnet på prøvetagninger over bunden fra NOVANA-stationer i juli-november med et veldefineret springlag ($\Delta\sigma_T > 0,5$ for fjord- og kyststationer, og $\Delta\sigma_T > 1$ for åbne havstationer). Middelværdierne er korrigeret for forskelle mellem stationer, måneder og prøvetagningsdybden ved empirisk model, og den undersøgte trend er lineær.

Område	Antal år	Antal stationer	Periode	P-værdi	Udvikling
Vestjylland fjord- og kyststationer	17	5	1989-2008	0,7999	0,006 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Limfjorden	29	9	1980-2008	0,0311	-0,020 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Østjyske fjorde	36	11	1972-2008	0,0228	-0,018 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Fynske fjorde og det Sydfynske Øhav	31	3	1977-2008	0,0048	-0,026 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	23	11	1985-2008	0,0950	0,028 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Kattegat	43	18	1966-2008	<0,0001	-0,024 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Nordlige Bælthav og Storebælt	37	9	1970-2008	<0,0001	-0,025 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Lillebælt og Femern Bælt	43	6	1965-2008	0,0033	-0,023 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Øresund	42	4	1967-2008	0,0006	-0,019 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Østersøen	41	9	1966-2008	<0,0001	-0,036 mg l ⁻¹ år ⁻¹



Figur 8.3. Middel iltkoncentration i bundvandet for NOVANA-stationer i A) åbne havområder og B) fjorde og kystnære områder. Beregnet på prøvetagninger over bunden i juli-november med et veldefineret springlag ($\Delta\sigma_T > 0,5$ for fjord- og kyststationer og $\Delta\sigma_T > 1$ for åben havstationer). Middelværdierne er korrigeret for forskelle mellem stationer, måneder og prøvetagningsdybden ved empirisk model.

Sammenfatning

- Iltsvindet i de indre danske farvande begyndte generelt senere på året i 2008 end i de foregående år.
- Iltsvindene i 2008 var af lidt kortere varighed og mindre udbredte end i perioden 2003-2006, bl.a. pga. jævnlige hændelser med kraftig vind, der var med til at afkorte iltsvindperioderne.
- Arealet berørt af kraftigt iltsvind i løbet af 2008 var større end i 2007, hvor udbredelsen af kraftigt iltsvind generelt var mindre end i de foregående år.
- Temperaturen i såvel overfladevand som bundvand lå over normalen i alle årets måneder i både fjorde og kystområder og i de åbne havområder.
- Særligt berørte områder i 2008 var det Sydfynske Øhav, sydlige Lillebælt, Aabenraa Fjord og Flensborg Fjord, hvor der optrådte vedvarende kritisk lave iltkoncentrationer i 3 måneder og endvidere var der forekomst af giftig svovlbrinte i bundvandet.
- Iltsvindsgrensen i Bornholmsdybet var placeret højere oppe i vand-søjlen (i 55 m's dybde) end ved nogen anden måling de seneste 5 år.

9 Bundvegetation: ålegræs og makroalger

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

Ålegræsenge og tangskove vokser langs vores kyster, når de rette betingelser er til stede. Disse økosystemer kan være meget produktive og er også levested og opvækstområde for en lang række organismer, så økosystemerne har stor biodiversitet. Ålegræsenge fungerer samtidig som et naturligt kystværn, fordi bladene dæmper bølgerne, og nettet af stængler og rødder i sedimentet stabiliserer havbunden. Faktisk hører havgræsenge og tangskove til blandt verdens mest værdifulde økosystemer (*Constanza m.fl. 1997*).

Både ålegræs og makroalger (tang) er væsentlige indikatorer for den økologiske kvalitet i kystnære vandområder i henhold til EU's vandrammedirektiv. Ålegræs og makroalger bidrager også til at vurdere 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 fører til færre planktonalger i vandsøjlen og dermed mere lys ved bunden. Det giver bedre vækstforhold for ålegræs og makroalger og mulighed for, at de kan brede sig på dybere vand. Vi forventer også, at færre næringssalte fører til færre opportunistiske makroalger og også dermed bedre lysforhold for ålegræs og flerårige makroalger. Endelig forventer vi, at færre næringssalte fører til færre og mindre alvorlige iltsvind og dermed endnu bedre vækstforhold for ålegræs.

Dette kapitel analyserer udviklingen i ålegræssets forekomst langs de åbne kyster samt i yder- og inderfjorde gennem perioden 1989-2008. 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'.

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 indgår ikke i årets analyser, da der var problemer med dataformatet.

Ålegræssets maksimale dybdegrænse (årsmiddelværdier) var størst langs de åbne kyster (4,9-6,1 m), lidt mindre i yderfjordene (3,6-4,2 m) og mindst i inderfjordene (3,4-3,9 m) i perioden 1989-2008.

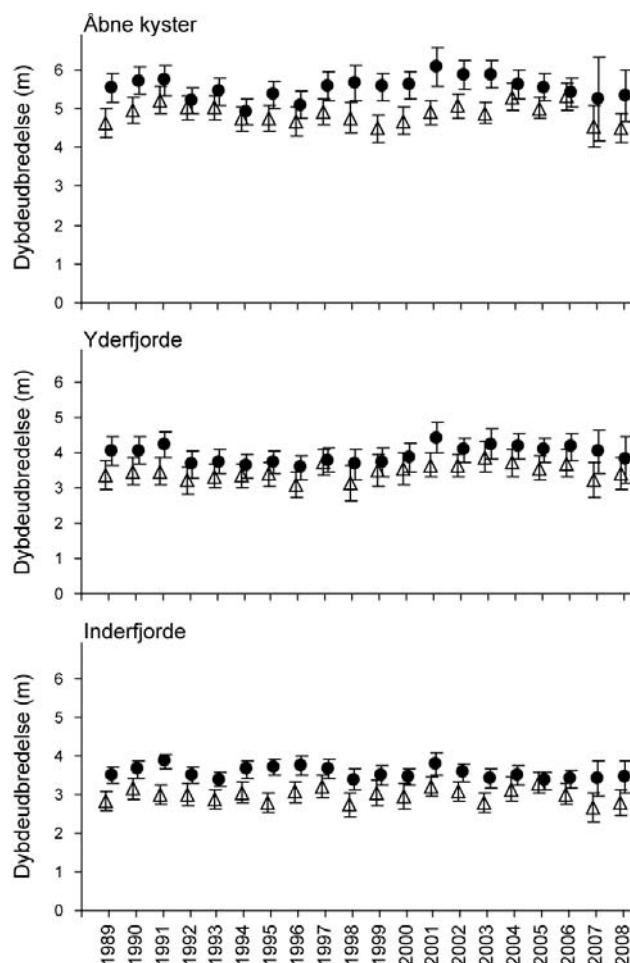
Dybdegrænsen for hovedudbredelsen (årsmiddelværdier) fulgte samme mønster med dybeste udbredelse langs de åbne kyster (4,5-5,3 m), mindre

dybdeudbredelse i yderfjordene (3,1-3,9 m) og mindste dybdeudbredelse i inderfjordene (2,7-3,3 m).

Langs de åbne kyster og i den ydre del af fjordene viste hverken den maksimale dybdegrænse eller dybdegrænsen for hovedudbredelsen en signifikant udviklingstendens gennem perioden 1989-2008 (lineær regression, $p > 0,05$).

Den indre del af fjordene viste et signifikant fald i ålegræssets maksimale dybdegrænse ($p = 0,032$), mens dybdegrænsen for hovedudbredelsen ikke viste nogen udviklingstendens (lineær regression, $p > 0,05$) (figur 9.1).

Figur 9.1. Udvikling i dybdegrænsen for ålegræssets maksimale udbredelse (●) og hovedudbredelse (Δ) ($\pm 95\%$ konfidensintervaller) gennem perioden 1989-2008. Udviklingen er vist for åbne kyster og for yder- og inderfjorde (ekskl. Limfjorden). Dybdegrænsen er modelleret vha. en generaliseret lineær model (se Bilag 1).



Alt i alt afspejler udviklingen i ålegræssets dybdegrænse ikke det faktum, at kvælstofkoncentrationen generelt er faldet siden 1989 (se kapitel 6). Det kan hænge sammen med, at vandet ikke er blevet klarere i løbet af denne periode, hverken i de åbne farvande eller i fjordene (se kapitel 7).

De generelle udviklingstendenser for ålegræssets dybdegrænse i åbne kyster, 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

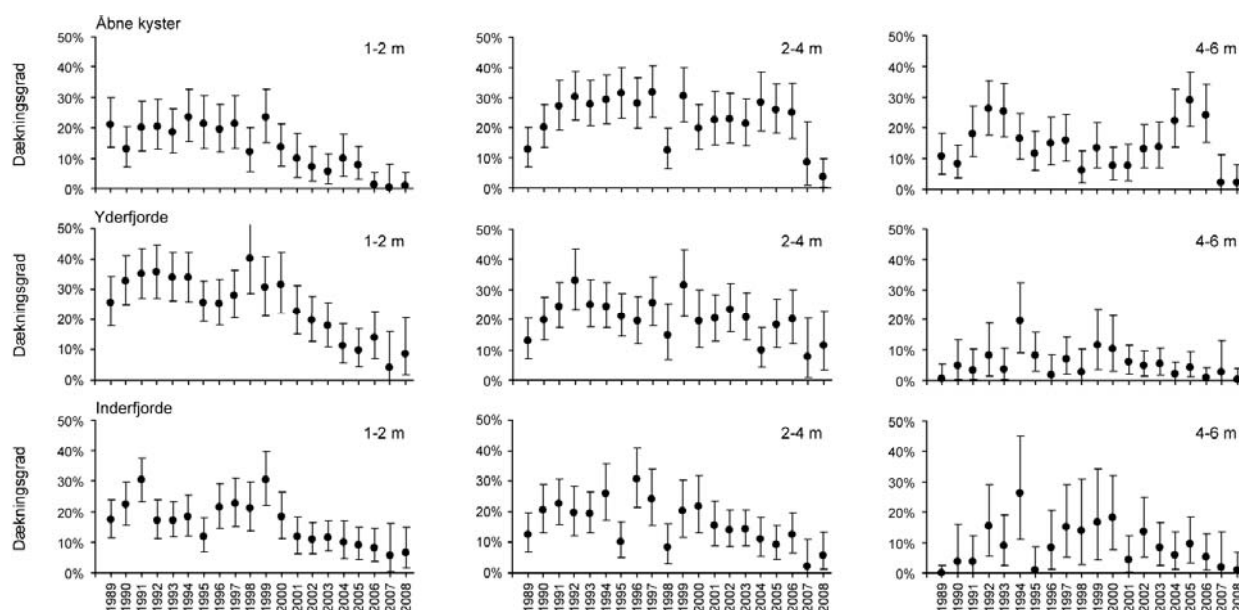
skaber de dårlige lysforhold, eller om andre faktorer, såsom iltsvind eller muslingeskrab, evt. begrænser udbredelsen.

Sammenhængen mellem belastning og økosystemrespons følger heller ikke nødvendigvis samme forløb under oligotrofiering som under eutrofiering. Der er eksempler på, at regimeskift eller ændrede referenceforhold forsinket 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 vinde terræn. Endelig kan rekolonisering af ålegræs være en langsommelig 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*).

I øjeblikket er ålegræssets dybdegrænse den primære indikator for kystområdernes miljøtilstand, fordi ålegræsset spiller en afgørende økologisk rolle i de kystnære økosystemer. 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 og sigtdybde. Klorofylkoncentration er ved at blive færdigudviklet til brug under vandrammedirektivet.

Ålegræssets dækning i dybdeintervaller

Udviklingen i ålegræssets dækningsgrad er analyseret for 1-2, 2-4 og 4-6 m's dybde (*figur 9.2*). Analyser for helt lavt vand (0-1 m) er udeladt, fordi dækningen her primært er reguleret af bølger og vind samt evt. isskrubning og derfor kun delvist afspejler ændringer i næringssaltbelastningen.



Figur 9.2. Udvikling i ålegræssets dækning ($\pm$ 95% konfidensintervaller) gennem perioden 1989-2008. Udviklingen er vist for åbne kyster, for yder- og inderfjorde (ekskl. 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 (se *Bilag 1*).

Ålegræssets dækningsgrad er typisk størst på mellemdybder (2-4 m), hvor eksponeringen er begrænset, og hvor lysforholdene er gode for planten (Krause-Jensen *m.fl.* 2003). På denne vanddybde dækkede ålegræsset i gennemsnit 4-32% af bunden langs de åbne kysters ålegræstransekter, 8-33% i yderfjordene og 2-31% i inderfjordene gennem perioden 1989-2008. Der var tendens til, at ålegræssets dækning faldt gennem perioden 1989-2008. Dækningen faldt på 1-2 m's dybde i både inderfjorde, yderfjorde og åbne områder samt på 2-4 m's dybde i inder- og yderfjorde (lineær regression, $p < 0,05$), mens dækningen på 4-6 m's dybde ikke viste nogen signifikant udviklingstendens (lineær regression, $p > 0,05$) (figur 9.2).

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 beliggende i Natura-2000 områder, hvor de udgør en del af udpegningsgrundlaget

I 2008 blev der kun indsamlet data på revlokaliteter med intensive stationer. Vegetationen beskrives med en samlet dækningsprocent for de oprette alger og i form af specifikke dækningsprocenter for de enkelte arter, inkl. skorpeformede alger.

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

Grønne søpindsvins græsning har udgjort en væsentlig begrænsende faktor for algevegetationen under springlaget på revet Schultz's 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 Vejrø, Sjællands Rev og Munkegrunde er også kraftigt påvirket af masseforekomst af det grønne søpindsvin. Et væsentligt øget græsningstryk af søpindsvinet tangborre blev observeret på Store Midelgrund 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 vegetationen havde en væsentlig større dækning end året før.

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, *in press*). 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 mulig 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 på naturkvaliteten. En undersøgelse på Store Middelgrund har påvist væsentlige fysiske forstyrrelser på dele af stenrevet, som er omfattet af overvågningsprogrammet på 15 og 18 m's dybde (Dahl 2005). Jævnlig forstyrrelse, sandsynligvis forårsaget af trawlfiskeri, er den mest sandsynlige årsag til, at vegetationens samlede dækning har været væsentlig ringere gennem alle undersøgelsesårene på dele af revet end forventet ud fra modelforudsigelserne.

Udviklingstendenser

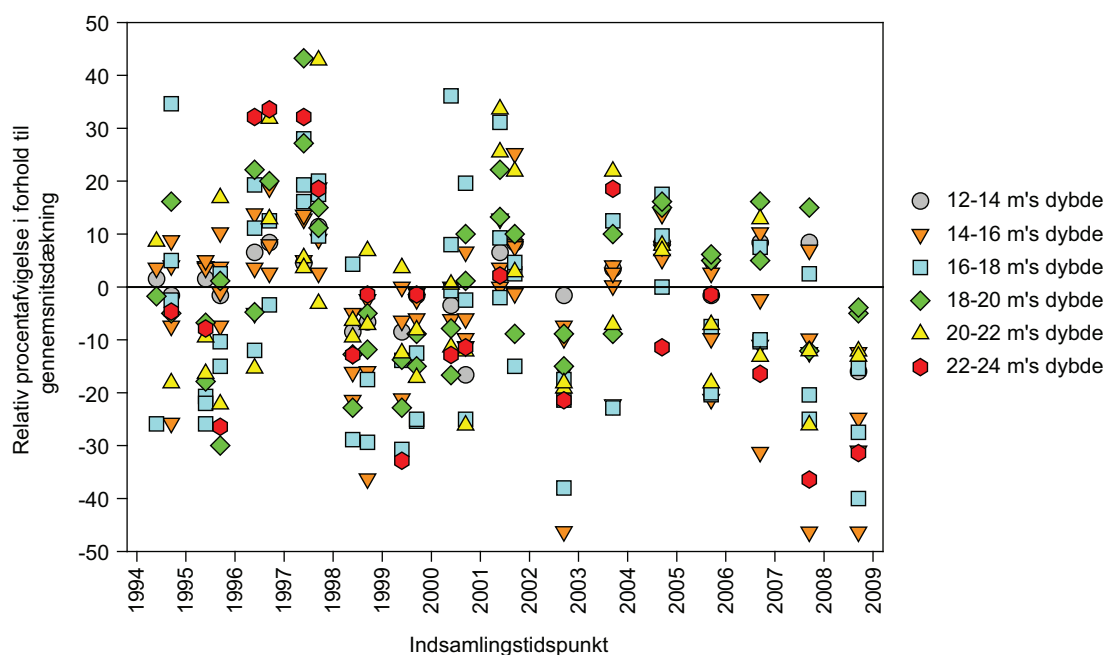
Den generelle udvikling i den oprette algevegetations dækning på 5 stenrev på større vanddybder i indre danske farvande er fulgt gennem en lang tidsperiode. I 2008 var samtlige observationer af algernes dækning signifikant dårligere end gennemsnittet for den enkelte station beregnet for perioden 1994-2001 (tabel 9.1). Det ses ved at alle punkter ligger i det negative felt i figur 9.3

De to nye arter, *Heterosiphonia japonica* og *Neosiphonia (Polysiphonia) elongella*, som er observeret på stenrevene i åbne farvande (Dahl m.fl. 2009) havde ikke spredt sig yderligere til nogle af de øvrige rev, der indgik i overvågningsprogrammet i 2008.

Tabel 9.1. 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 højst afviger med en observation. P-værdierne er beregnet med en såkaldt fortegnstest for, om forholdene 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 gennemsnit for 1994-2001		P-værdi
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		↓	***



Figur 9.3. Den relative afvigelse i algedækningen i forhold til gennemsnitsværdien for de enkelte stationer og undersøgelsestidspunkter, hvorfra der foreligger data i 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.

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

Som følge af at de overvågede stenrev indgår som udpegningsgrundlag for de danske Natura-2000 områder, skal de i henhold til habitatdirektivet opnå en 'gunstig bevaringstilstand'. Gunstig bevaringsstatus omfatter, både at arealerne med hård bund bevares, men også at de biologiske forhold, som er afgørende for revenes 'struktur og funktion', er velfungerende. En veludviklet dybdeudbredelse og dækning 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 eutrofieringen 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 makroalgernes dækning. Modellerne har overordnet stor forklaringskraft, idet deres korrelationskoefficienter og signifikansniveauer generelt er høje ($r^2 > 0,80$, $P < 0,0001$). Der er mest tydelig respons af næringssalttilførslen til Kattegat på revlokaliteter i det centrale Kattegat.

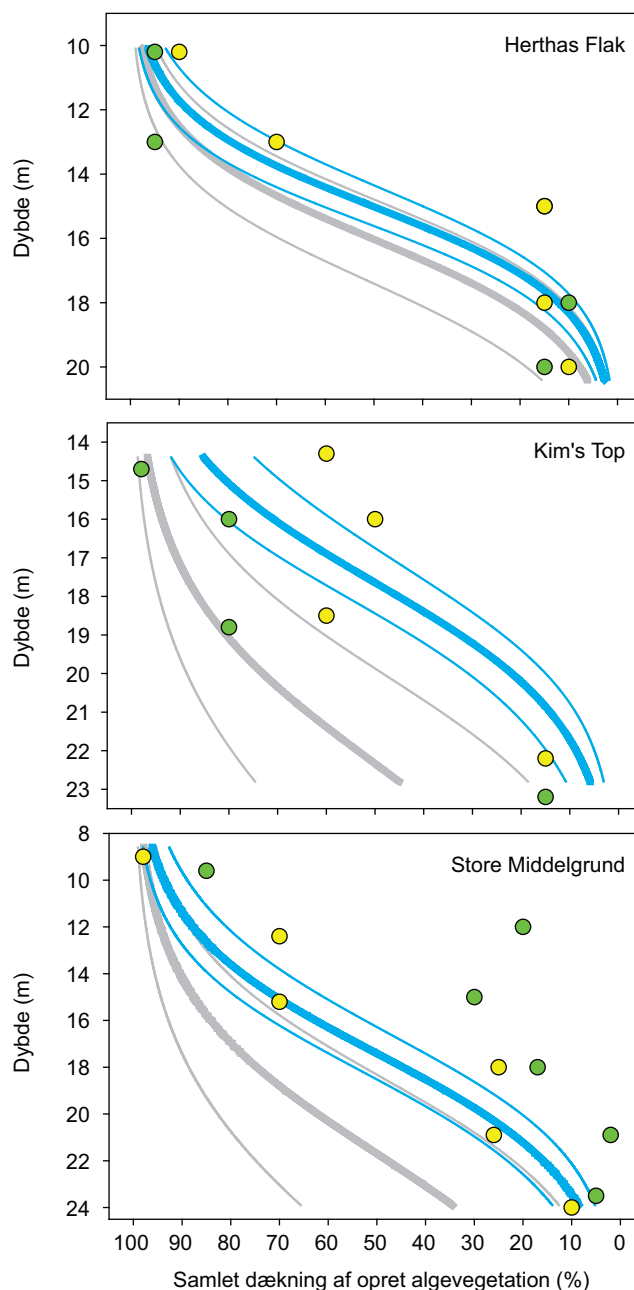
Andre modeller viser, at også sigtddybde korrelerer fint med det samlede vegetationsdække på de dybvandede stenrev i Kattegat ($r^2 = 0,67$, $P < 0,0001$, Dahl & Carstensen 2005).

I mangel på data, som kan beskrive en gunstig bevaringsstatus for et stenrev, kan modelværktøjet bruges til at estimere den algedækning, der re-

præsenterer grænsen mellem gunstig og ikke gunstig bevaringsstatus. En sådan estimation 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.

Figur 9.4. Aktuelle dækninger af den samlede oprette algevegetation på undersøgelsesstationer på tre rev i Kattegat (gule cirkler 2008-data, grønne cirkler 2007-data) og modellerede dækninger for to forskellige scenarier med kvælstoftilførsel. De blå linjer angiver henholdsvis den gennemsnitlige modellerede algedækning med tilhørende 95% konfidensintervaller svarende til den gennemsnitlige TN-tilførsel for perioden 1994-2006 på 48.000 tons. Det andet scenarium (grå farve) svarer til en referencelignende situation med en tilførsel på 10.000 tons. Begge scenarier er baseret på en antaget græsning af søpindsvin svarende til 0,1% dækning og en solindstråling fra maj til juli svarende til gennemsnittet for perioden 1994-2006.



Algevegetationens dækning langs dybdegradienter på tre rev i Kattegat er modelleret for to scenarier for kvælstoftilførsel (figur 9.4). Det ene scenarium repræsenterer den gennemsnitlige tilledning af næringssalte til Kattegat i perioden 1994-2005, mens det andet repræsenterer en referencelignende tilstand med stærkt reduceret næringssalttilledning. I begge scenarier er der tilladt et mindre græsningstryk af søpindsvin. De observer-

rede dækningsprocenter på de undersøgte stationer i 2007 og 2008 er også vist, dog uden at data er korrigeret for variation i indstråling i forårshalvåret i 2008.

Det ses tydeligt, at en reducere i kvælstoftilførsler vil have en gunstig effekt på den samlede dækning af opret algevegetation på stenrev og tilige øge algerne dybdeudbredelse.

Det ses også, at vegetationens dækning på de fleste stationer i 2008 ligger omkring eller under den modellerede middelværdi for de enkelte dybder på de tre rev, samt at dækningerne generelt var noget ringere end i 2007. En ringere algedækning i 2008 sammenlignet med 2007 er også observeret langs den norske Skagerrakkyst (*Moy m.fl. in prep*). De to stationer på 15 og 18 m's vanddybde på Store Middelgrund har gennem alle årene siden undersøgelsesens start været karakteriseret af manglende algevegetation og manglende større bunddyr (*Dahl 2005*). I 2008 var der for første gang tegn på, at vegetationen var ved at komme sig på begge stationer, hvilket kunne tyde på, at forstyrrelserne er ophørt.

Sammenfatning

Sammenfattende viste vegetationen følgende udvikling gennem perioden 1989-2008:

- Gennem perioden 1989-2008 rykkede ålegræssets maksimale dybdegrænse ind på lavere vand i inderfjordene, og ålegræsset dækkede generelt en mindre del af bunden på lavt vand (1-2 m) og på mellemdybder (2-4 m) i fjordene og på lavt vand i de åbne områder. Faldet i tilførsel af næringsstoffer har altså, mod forventning, endnu ikke forbedret ålegræssets udbredelse i vore farvande. Det kan hænge sammen med, at vandet ikke er blevet klarere gennem overvågningsperioden.
- Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var signifikant ringere end gennemsnittet for perioden 1994-2001, hvilket også er i overensstemmelse med de meget lave sigtdybder, der er registreret for de åbne indre farvande, jævnfør kapitel 7. Nedgræsning af tangskoven forårsaget af søpindsvin er fortsat et problem på mange rev i Bælthavet, og det er muligvis også ved at gøre sig gældende på dele af Store Middelgrund i Kattegat.

10 Bundfauna

Alf B. Josefson & Jørgen L.S. Hansen

Havbunden i de danske farvande huser et rigt og mangfoldigt samfund af hvirvelløse bunddyr. Med mere end 400 almindeligt forekommende arter fra vidt forskellige dele af dyreriget bidrager bunden i de danske farvande med en stor del af havets samlede biodiversitet. De mange arter udviser vidt forskellige tilpasninger og funktioner i det marine økosystem. Samlet set omsætter bundfaunaen størstedelen af det organiske materiale, der synker ned til havbunden fra de øverste produktive lag af vandsøjlen. Dermed udgør bundfaunaen en vigtig kobling mellem planteplanktonets primærproduktion af organisk stof og de højere led i fødekæden såsom fugle, fisk og pattedyr, der lever af bundfaunaen. På lavere vand, hvor vandsøjlen ikke er lagdelt, er faunaen ofte domineret af arter som blåmuslinger, sandmuslinger eller andre muslinger, der lever af at filtrere vandet og tætheden af dem er oftest så høj, at de er i stand til at kontrollere planteplanktonets produktion.

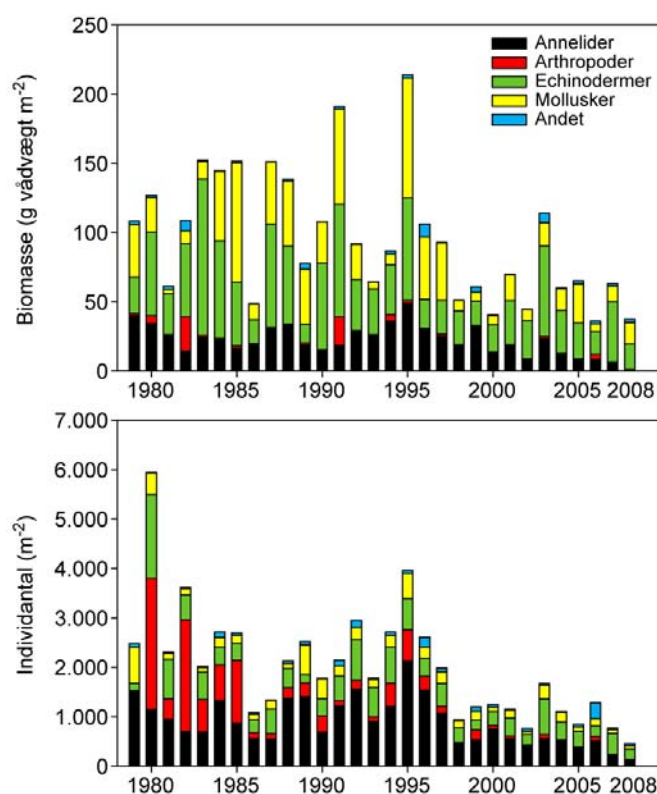
Herudover har bundfaunaen en positiv indvirkning på miljøforholdene, fordi en stor del af arterne udfører bioturbation. Det betyder, at de bearbejder og blander sedimentet på bunden og skaber forskelligartede strukturer og levesteder i sedimentet. Samtidig betyder bioturbationen, at det organiske materiale, der lander på sedimentoverfladen, bliver begravet og nedbrydes langsommere. Det stabiliserer iltforbruget og dermed iltforholdene ved bunden.

Det omgivende miljø påvirker bundfaunasamfundet. De fleste arter er stedfaste i deres voksne stadier og lever i flere år. Derfor vil ændringer i bundfaunaens sammensætning, artsrigdom, biomasse og tæthed afspejle miljøforholdene i sedimentet og vandsøjlen over en længere periode. Den samlede biomasse, og i nogen udstrækning også tætheden af bunddyr, er styret af den mængde organisk stof, som synker ned på bunden og derfor indirekte af mængden af næringsstoffer. Høje koncentrationer af næringsstoffer og medfølgende stor produktion af organisk stof øger også iltforbruget ved bunden og øger risikoen for, at der opstår iltvind. Iltvind påvirker bundfaunaen negativt og kan i ekstreme tilfælde medføre fuldstændig udslettelse af hele samfundet. Virkningen af eutrofiering er derfor forskellig fra sted til sted og afhænger i høj grad af områdernes typologi, dvs. vandkemien, hydrografien og bundforholdene. Hertil kommer at de forskellige områders typologi naturligt giver anledning til forskellige bundfaunasamfund. Den største artsrigdom forekommer i de områder, hvor saltholdigheden er høj. Rekrutteringen til bundfaunasamfundene formodes at være en begrænsende faktor for diversiteten i specielt de lukkede områder, hvor vandudvekslingen med de åbne farvande er begrænset.

Bundfaunasamfundets sammensætning undergår hele tiden forandringer, som er styret af de enkelte arters populationsdynamik og interaktioner mellem arterne. Påvirkninger af bundfaunasamfundet fra det ydre miljø vil dog oftest kunne ses som en signifikant ændring i samfundets sammensætning. Når der opstår en forringelse af miljøforholdene – hvad enten det er fysisk forstyrrelse, forurening med organisk materiale, tungmetaller eller iltvind – vil dette næsten altid være ledsaget af en ned-

gang i bundfaunaens artsrigdom (Hansen & Josefson 2005). I nogle tilfælde vil faunasamfundet blive domineret af arter, der er tolerante overfor forstyrrelser (Josefson m.fl. 2009). Sammensætningen af følsomme og tolerante arter er i flere sammenhænge blevet anvendt til at indekser miljøtilstanden. Således kan miljøkvaliteten beskrives og vurderes ud fra et indeks, AMBI (Borja m.fl. 2000, Muxika m.fl. 2005), hvor arterne deles ind i 5 grupper med forskellig følsomhed over for påvirkninger. Indekset kan antage værdier fra 0 til 7, hvor 0 betegner et samfund, hvor kun de mest følsomme arter er til stede, og 7 betegner en tilstand, hvor alle dyr er udslettet. Ud fra hele samfundets sammensætning kan områdets samlede miljøkvalitet vurderes med AMBI. I Danmark er der udviklet et indeks, DKI, der vurderer miljøkvaliteten ud fra både artsrigdommen og fra sammensætningen af følsomme og tolerante arter (Borja m.fl. 2007). I Sverige og Norge er der på tilsvarende vis udviklet indeks, som både anvender artsrigdommen og sammensætningen. Disse forskellige indeks viser en stor grad af overensstemmelse og kan påvise ændringer i faunasamfundet forårsaget af en række forskellige typer af påvirkninger (Josefson m.fl. 2009).

Figur 10.1. Tidsmæssig udvikling i bundfaunaens gennemsnitlige biomasse (øverst) og tæthed (nederst) fordelt på taksonomiske hovedgrupper i perioden 1979-2008 på 3 HELCOM-stationer i de indre danske farvande. Annelider = børsteorme m.m.; Arthropoder = krebsdyr m.m.; Echinodermer = pighude, herunder søstjerner og sømus; Mollusker = muslinger og snegle.

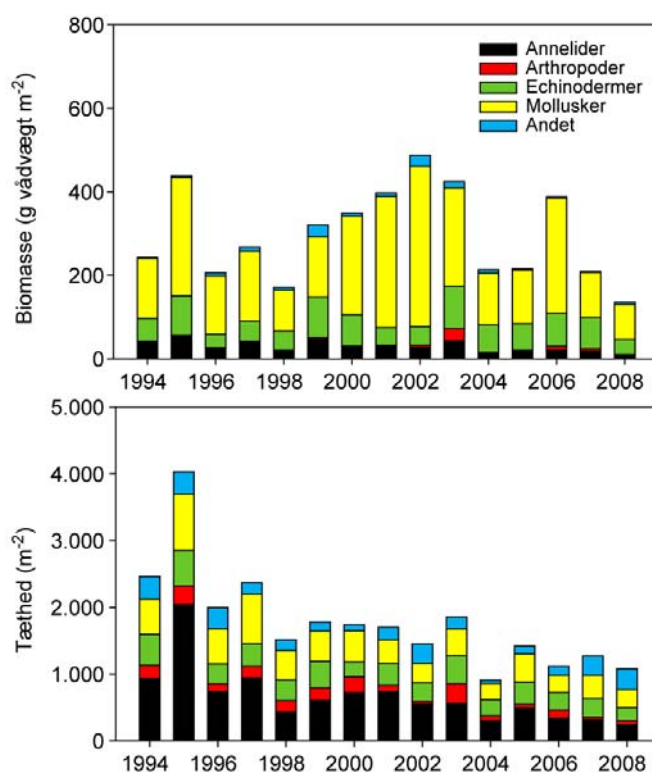


Bundfaunaen i de åbne områder

Som en del af det nationale overvågningsprogram for bundfauna tages der 5 hapsprøver på i alt 24 stationer i de indre danske farvande. Størstedelen af disse stationer er videreført fra de tidligere overvågningsprogrammer. Det betyder, at der fra 22 af disse stationer eksisterer dataserier, der går tilbage til 1994 og heraf er der 3 stationer (413, 939 og 315) beliggende i henholdsvis Kattegat, Bælthavet og Øresund, hvor der er sammenhængende dataserier helt tilbage fra skiftet mellem 1970'erne og 1980'erne (figur 10.1).

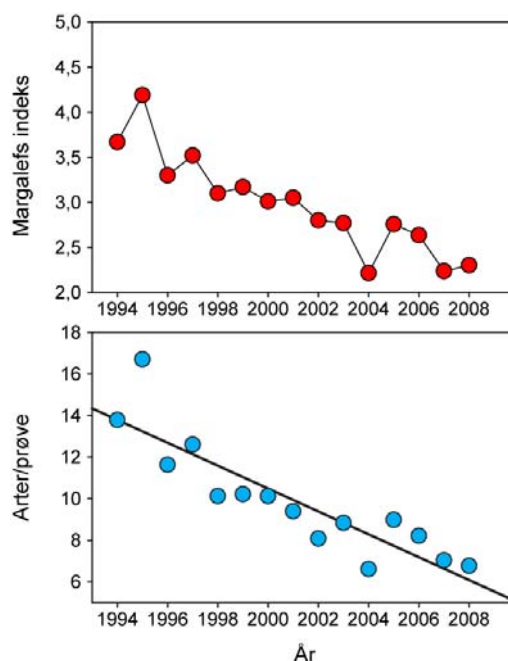
På de 3 stationer, hvor bundfaunaen har været overvåget årligt de sidste 30 år, ses det, at gruppen af Arthropoder (hovedsageligt krebsdyr) er gået markant tilbage og næsten forsvundet efter 1998. Den samlede biomasse har ligget på omkring 100 g vådvægt m^{-2} indtil slutningen af 1990'erne, hvorefter biomassen var ca. halveret omkring årtusindskiftet til ca. 50 g vådvægt m^{-2} . I de sidste par år har niveauet været helt nede på 35-40 g vådvægt m^{-2} . I samme periode har den gennemsnitlige tæthed ændret sig fra ca. 2.000 til 1.000 individer m^{-2} , men i 2008 var tætheden helt nede på 600 individer m^{-2} . På tilsvarende vis er artsrigdommen på disse stationer blevet mere end halveret.

Figur 10.2. Udvikling i biomasse (øverst) og i tætheder (nederst) fordelt på taksonomiske hovedgrupper i perioden 1994-2008 fra de 22 stationer i de åbne danske farvande. Annelider = børsteorme m.m.; Arthropoder = krebsdyr m.m.; Echinodermer = pighude, herunder søstjerner og sømus; Mollusker = muslinger og snegle.



Fra 1994 og frem til 2008 kan udviklingen følges på 22 stationer beliggende i Kattegat og i det nordlige Bælthav. På disse stationer ses en tilsvarende markant ændring igennem de sidste 14 år. Tætheden af individer er faldet fra ca. 2.000 til ca. 1.200 individer m^{-2} nogenlunde jævnt fordelt på de taksonomiske hovedgrupper (figur 10.2). Biomassen af bunddyr i Kattegat er domineret af pighuder og mollusker (hovedsageligt muslinger). Udviklingen i biomassen igennem de sidste 14 år har været mindre entydig og har i perioden svinget omkring 300 g vådvægt m^{-2} med højere værdier omkring årtusindskiftet. I de sidste 5 år har biomassen været omkring 200 g vådvægt m^{-2} og i 2008 var den gennemsnitlige biomasse i Kattegat helt nede på 150 g vådvægt m^{-2} . Artsrigdommen er faldet markant gennem de sidste 14 år og er kun halvt så stor som i midten af 90'erne. I 2008 var det gennemsnitlige antal arter, som blev fundet pr. hapsprøve (143 cm^2) kun 6-7, hvilket er den næstlaveste værdi. Til sammenligning blev der i midten af 1990'erne fundet 14-15 arter i en gennemsnitlig prøve fra Kattegat. Beregning af Margalefs artsrigdomsindeks viser den samme udvikling (figur 10.3).

Figur 10.3. Tidsmæssig udvikling i artsrigdommen pr. prøve (øverst) og antal arter pr. prøve (nederst) på 20 stationer i Kattegat og Bælthavet, med data fra perioden 1994-2008. Linjen repræsenterer en lineær regression.



Udviklingen i individtæthed, biomasse, antal arter pr. station (sum af 5 hapsprøver), AMBI og DKI (figur 10.4 og 10.5) blev testet statistisk med en-sidet variansanalyse med station som fikseret variabel og tid (årstal) som co-variabel (tabel 10.1). Antal arter pr. station og DKI viste et signifikant fald i perioden 1999-2008 ($P < 0,001$), mens faldet i individtæthed kun var signifikant på 10%-niveauet ($P < 0,10$) (tabel 10.1). Set over perioden 1994-2008 var faldet i tæthed dog meget signifikant ($P < 0,001$) (figur 10.4). Biomasse og AMBI udviste ikke signifikante ændringer med tid ($P > 0,05$). Faldet af DKI, der afhænger både af faunasamfundets artsdiversitet og AMBI, er overvejende et resultat af den stærkt faldende artsdiversitet, idet AMBI ikke viste nogen klar ændring i løbet af perioden. De relativt få arter, der blev fundet i prøverne i de senere år, har altså nogenlunde samme fordeling mellem følsomme og tolerante arter som i tidligere år. Inden for Kattegat-området er det især på stationerne nord for Læsø, at miljøkvaliteten er faldet markant og hvor DKI-værdien lå omkring 0,55 i forhold til tidligere værdier omkring 0,7 (figur 10.6). For det åbne Kattegat og Øresund som helhed var værdien af DKI i 2008 på samme niveau som året før (figur 10.5). Ud fra vurderingsmetoden, der blev beskrevet i tilstandsrapporten for 2007, opfylder tilstanden i 2008 ikke 'god' eller 'høj tilstand' (figur 10.5).

Bundfaunaen i kystnære områder

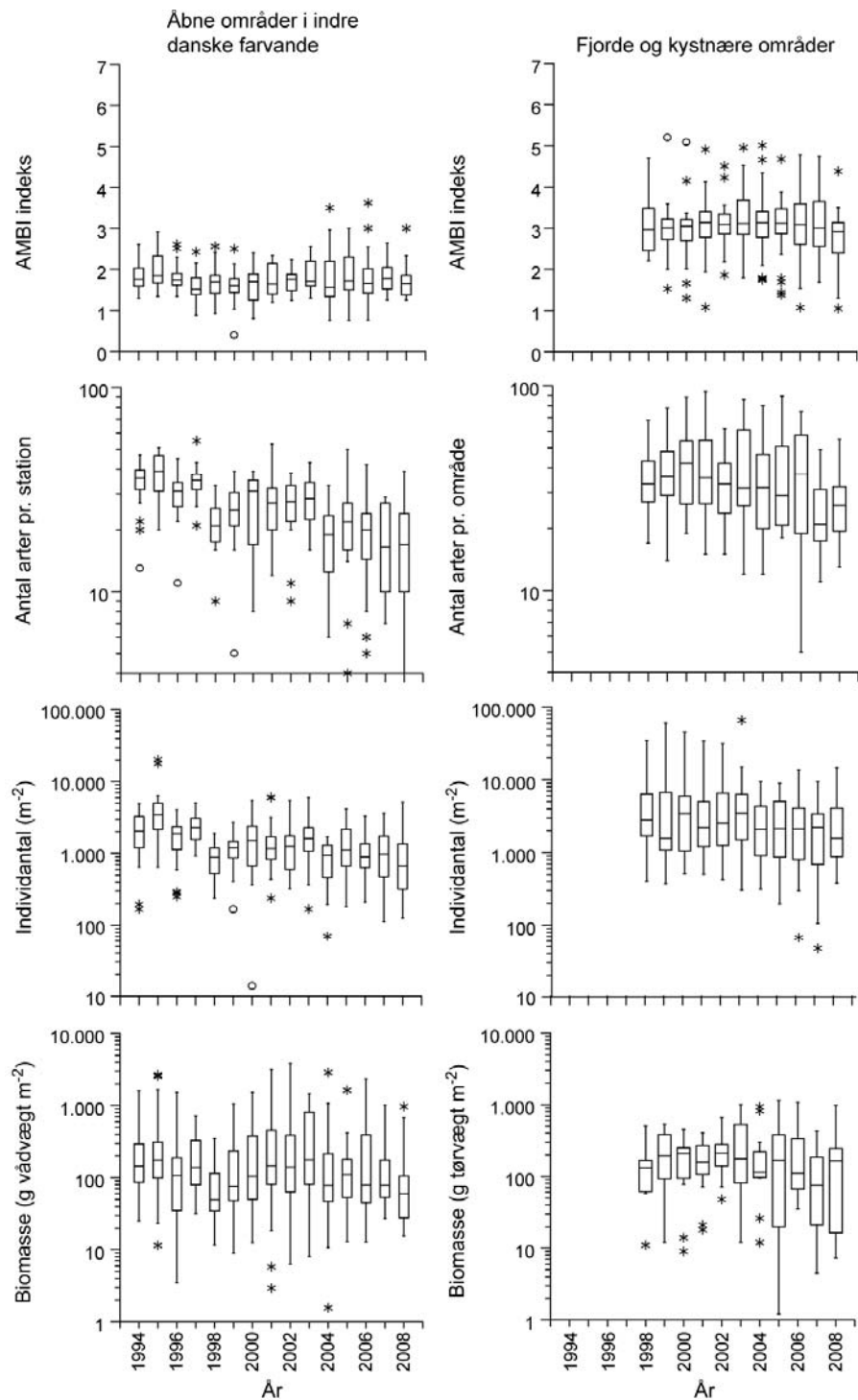
Vurderingen af bundfaunaens udvikling i fjorde og de kystnære områder baseret på amternes og Miljøcentrenes overvågning er tidligere foretaget til og med 2004 (Ærtebjerg m.fl. 2005). Denne rapport inkluderer data fra 2005-2008 og der er foretaget en samlet analyse baseret på 27 undersøgelsesområder (BF-områder). Analysen af individtæthed, biomasse og AMBI blev foretaget på hele materialet (27 områder), mens analyse af artsantal omfatter de områder, hvor prøveantallet stort set var uændret i perioden 1998-2008 (17 områder). DKI blev ikke beregnet, idet der endnu ikke eksisterer fastsatte grænser til at vurdere miljøtilstanden i disse områder.

Antallet af arter pr. område og individtætheden udviste et signifikant fald ($P < 0,001$) (tabel 10.1, figur 10.4). Hastigheden hvormed de forsvinder (hældningerne på kurven for individtæthed mod tid i perioden 1998-2008), syntes ikke forskellig fra udviklingen i de åbne farvande (figur 10.4). I lighed med forholdene i de åbne farvande, var der ingen signifikant ændring i biomasse og AMBI mod tid (tabel 10.1). Niveauet for AMBI var forholdsvis stabilt omkring 3, hvilket er ca. en enhed højere end i de åbne farvande (figur 10.4). Det nogenlunde konstante niveau for AMBI viser, at dominansforholdet mellem arter med forskellig følsomhed er konstant. Et højere AMBI i de kystnære områder sammenlignet med de åbne skyldes sandsynligvis, at arter i kystnære områder er mere tolerante over for lavere salinitet. Sådanne arter er ofte tolerante i al almindelighed og derfor klassificerede som tolerante i AMBI.

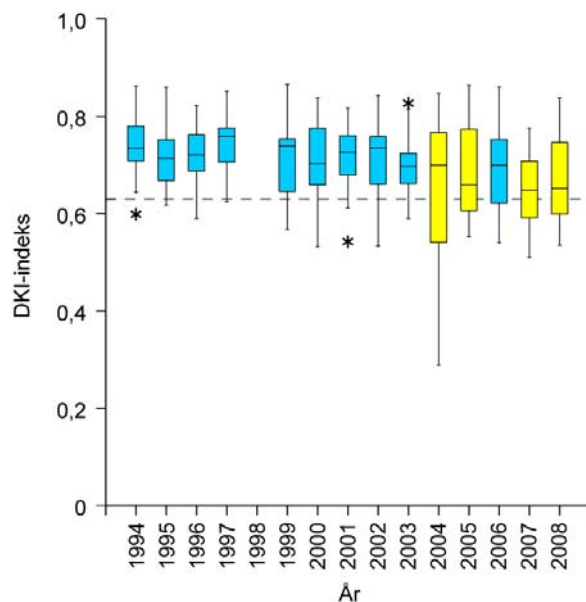
Tabel 10.1. Anova-tabel over resultaterne af statistiske test af forskelle mellem BF-områder/åbent hav-stationer som fikseret faktor og mellem år som co-variabel. Antal af arter er baseret på områder med ensartet antal årlige prøver. Alle data, undtagen AMBI og DKI, er Log10-transformeret før analyse. df: antal af frihedsgrader, P: sandsynlighed for ingen effekt.

Variationskilde	Fjorde, kystnære områder			Åbne områder, indre danske farvande		
Antal arter pr. område	df	F-ratio	P	df	F-ratio	P
Område/station	16	31,91	0,000	23	10,95	0,000
Tid (år)	1	27,29	0,000	1	27,32	0,000
Error	144			180		
Antal individer pr. m²						
Område/station	26	15,52	0,000	25	9,84	0,000
Tid (år)	1	10,33	0,001	1	3,23	0,074
Error	233			224		
Biomasse, g pr. m²						
Område/station	26	8,40	0,000	25	4,88	0,000
Tid (år)	1	2,20	0,141	1	0,59	0,443
Error	227			224		
AMBI-indeks						
Område/station	26	20,98	0,000	23	6,99	0,000
Tid (år)	1	0,28	0,867	1	0,062	0,803
Error	243			199		
DKI-indeks						
Område/station				23	14,25	0,000
Tid (år)				1	29,95	0,000
Error				180		

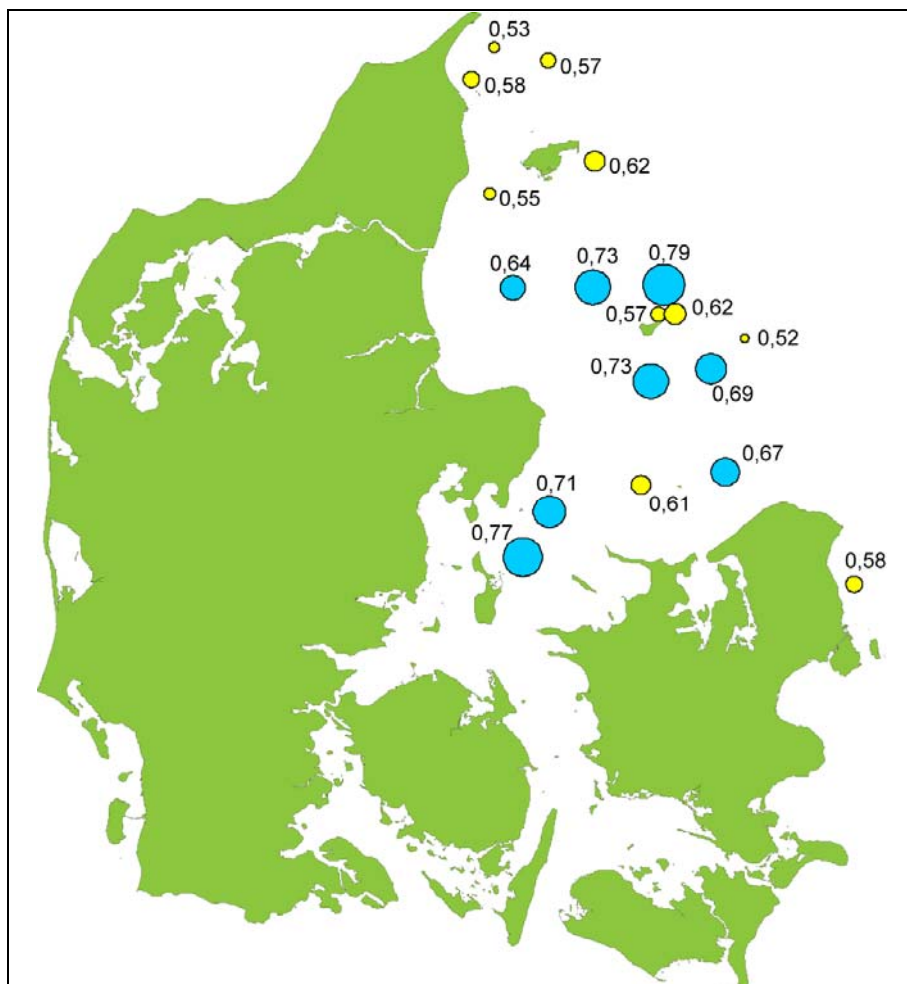
Figur 10.4. Box og Whiskers plots, der viser udviklingen siden 1990'erne af faunavariabler fra både fjorde og kystnære BF-områder og fra punktstationer i de åbne indre farvande. Data fra de senere år er baseret på 5 hapsprøver, mens de forrige baseres på 20-50 hapsprøver taget i et gridnet. Horisontal streg angiver medianværdi og boksen inkluderer 50% af data og deres højde angiver det inter-kvartile spænd (IS). Vertikale streger angiver spænd af data inden for 1,5 x IS, stjerner er værdier mellem 1,5 x IS og 3 x IS. Cirkler er værdier uden for 3 x IS.



Figur 10.5. Box and Whiskers plot der viser udviklingen i DKI-indeksværdier baseret på 5 hapsprøver på de 19 stationer i Kattegat og Øresund med data fra perioden 1994-2008. DKI beregnes bl.a. på baggrund af Shannon Wiener diversitet ($\log 2$, $H_{\max} = 5$). Blå farve angiver tilstand signifikant over 'god-moderat'-grænsen ($P < 0,05$). Gul farve angiver i dette tilfælde, at status ikke er signifikant forskellig fra grænsen og derfor ikke tilfredsstillende. For forklaring af BW-plot se figur 10.4.



Figur 10.6. DKI-værdier for 18 stationer i de åbne indre farvande i 2008. Farverne svarer til tilstand over (blå) og under (gul) grænsen mellem 'god' og 'moderat' status (DKI = 0,63).



Sammenfatning

Den meget negative udvikling i bundfaunaen i de åbne havområder har stået på i længere tid. Data fra 2008 indikerer, at denne negative udvikling fortsætter og regionale data fra 2005-2008, der ikke tidligere har været inddraget i analyserne, bekræfter yderligere, at forringelsen er et generelt

fænomen i de indre danske farvande. Udviklingen er især tydelig for artsrigdom og tæthed af dyr i bundfaunasamfundene og det er muligt, at det vil påvirke andre dele af det marine økosystem negativt. Det er overvejende sandsynligt, at der er en fælles årsag til denne meget entydige udvikling i de danske farvande. Den er imidlertid endnu ukendt. De fleste stationer i Kattegat-området har ikke været påvirket af iltsvind i et omfang, der kan forklare de senere års reduktion i artsdiversiteten. Det forhold, at de tolerante arter ikke er blevet mere dominerende i bundfaunasamfundet, indikerer, at den primære årsag ikke er iltsvind og eutrofiering. Andre mulige årsager til forringelsen af bundens faunasamfund kan være en generelt lavere fødetilgang som følge af en reduceret tilførsel af primærproduktion til bunden, enten direkte ved svagt faldende niveauer eller ved at stoftransporten til bunden er reduceret som følge af øget omsætning af organisk materiale i vandsøjlen på grund af højere vandtemperaturer (Hansen & Bendtsen 2009). Mindsket fødetilgang som årsag støttes muligvis af faldet i individtæthed. Faldet i artsdiversitet er dog større, end hvad man umiddelbart ville forvente ud fra faldet i individtæthed (der er ikke et 1:1-forhold mellem artsantal og individtæthed). Derfor spiller andre årsager sandsynligvis også ind, såsom klimabetingede ændringer i økosystemet generelt og fysisk forstyrrelse af bunden forårsaget af fx trawling. Generelt tyder ændringerne på, at rekruttering til bundfaunasamfundene er blevet ringere, frem for at dødeligheden er gået op, som beskrevet ovenfor. Årsagen til denne så markante negative ændring er altså endnu ukendt og bør undersøges nærmere.

11 Vandfugle og marine pattedyr

Ib Krag Petersen, Jonas Teilmann, Morten Hjorth

Dette afsnit er for første gang medtaget i afrapporteringen for marine områder for at opnå en mere komplet tilstandsvurdering af det marine miljø i Danmark. I den forbindelse er vandfugle og marine pattedyr vigtige bestanddele af havmiljøet og variationer i deres tilstand og udvikling vil kunne bidrage til vurdering af den generelle tilstand af de danske marine områder. Overvågningen af fugle og pattedyr bliver afrapporteret i en særskilt faglig rapport fra DMU (*Søgaard & Asferg 2010*), men her er kun medtaget de relevante vandfugle og marine pattedyr.

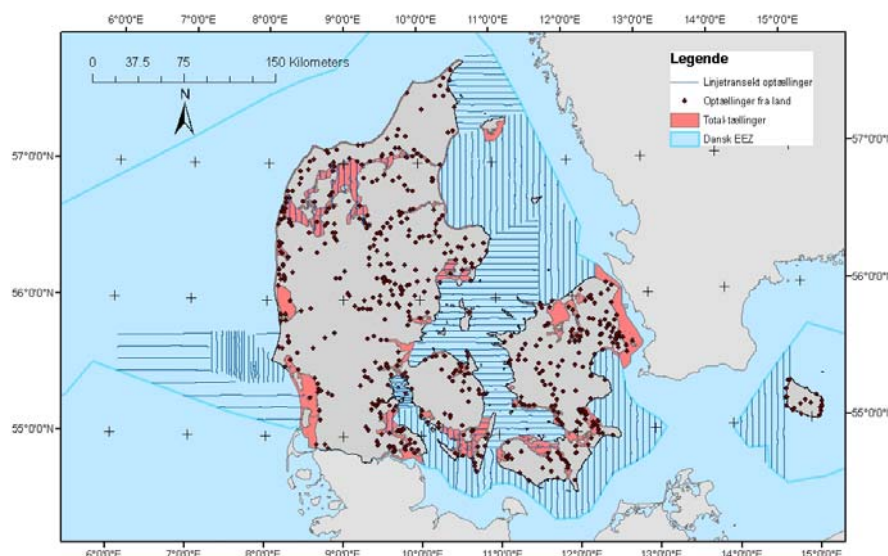
11.1 Overvågning af vandfugle i 2008

I perioden 13. december 2007 til 31. marts 2008 blev der gennemført en landsdækkende midvintertælling af vandfugle efter samme metode og principper som i 2004 (*Petersen m.fl. 2006*). Tællingen omfattede dels registreringer fra fly i næsten alle indre danske farvande (*tabel 11.1* og *figur 11.1*) og dels en optælling fra land af snævre kystnære områder, søer og andre vandfuglehabitater på land (*figur 11.1*).

Tabel 11.1. Dato, område og optællingsmetode ved optællinger af vandfugle fra fly ved midvintertællingen 2008.

Dato	Område	Optællingstype
13. dec. 2007	Sydlig Nordsø	Transekt
11. jan. 2008	Nordfyn, Østjylland, Randers Fjord	Total
11. jan.	Sydlig Kattegat	Transekt
17. jan.	Storebælt, Nordfyn	Transekt
17. jan.	Vestlig Østersø	Transekt
20. jan.	Lillebælt, vestlig Østersø	Transekt
20. jan.	Jyllands østkyst, Als til Kolding	Total
22. jan.	Vadehavet	Total
28. jan.	Sydfynske Øhav, Kolding, Vejle og Horsens Fjorde	Total
7. feb.	Sydlig Kattegat, Århus Bugt	Transekt
9. feb.	Østlig Limfjord, Mariager Fjord	Total
9. feb.	Østersø syd for Lolland, Falster og Møn	Transekt
9. feb.	Kattegat, centrale og nordvestlige del	Transekt
10. feb.	Vestlig Limfjord, vestjyske Fjorde	Total
10. feb.	Kattegat, centrale og østlig del	Transekt
10. feb.	Kattegat, Djursland-Læsø-Anholt	Transekt
12. feb.	Østersøen, østlig del	Transekt
12. feb.	Odense Fjord, Smålandsfarvandet, Sydsjælland	Total
14. feb.	Limfjorden og Læsø syd	Transekt + total
14. feb.	Limfjorden, vestlig del	Total
14. feb.	Horns Rev	Transekt
20. feb.	Falster-Møn, Øresund, Isefjord, Ebeltoft Bugt	Total
16. mar.	Kattegat, centrale og nordlig del.	Transekt + total
27. mar.	Kattegat, nordlig del	Transekt
31. mar.	Rønne Banke	Transekt

Figure 11.1. Dækning ved den landsdækkende overvågning af vandfugle ved midvinter 2008. Blå streger angiver linjetransekter, røde område er totalt dækkede fra fly og røde prikker angiver lokaliteter optalt fra land.



Undersøgte lokaliteter

I 2008 blev samtlige indre danske farvande samt området vest for Bornholm og den sydlige Nordsø dækket fra flyvemaskine (tabel 11.1). De åbne havområder blev optalt ved brug af linjetransekter, mens mange kystnære områder blev dækket ved totaltællinger (figur 11.1). Disse metoder er tidligere beskrevet i detaljer (Petersen m.fl. 2006). De optalte linjetransekter udgjorde en transektlængde på i alt 8.300 km. Transekterne blev udlagt som parallelle linjer med 5 km intervaller, enten nord-syd orienterede eller øst-vest orienterede. I Lillebælt og på Horns Rev blev transekterne i mindre områder udlagt med 2 km intervaller. Et areal på næsten 5.800 km² blev optalt efter totaltællingsmetoden.

Resultater

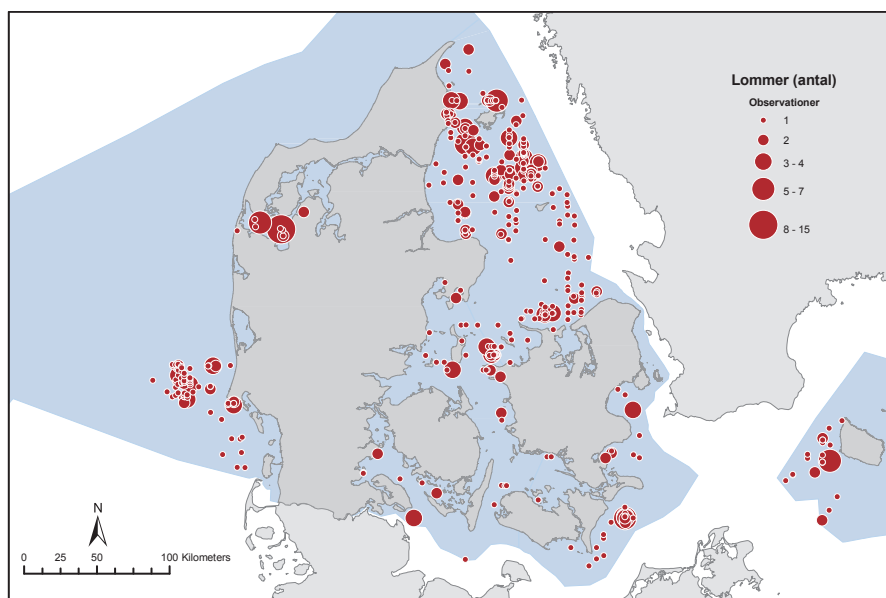
Resultaterne fra midvintertællingen i 2008 viste, at de dominerende arter af dykænder i de indre danske farvande var ederfugl, sortand og troldand. (tabel 11.2). I meget kystnære områder var blishøns og knopsvaner talrige. Havlit blev primært registreret på Rønne Banke.

Tabel 11.2. Antal observerede individer af vandfuglearter ved den landsdækkende optælling i 2008.

Art	Antal observeret
Rødstrubet lom	295
Sortstrubet lom	10
Lom sp.	319
Skarv	24.528
Knopsvane	55.881
Gravand	32.497
Taffeland	17.248
Troldand	162.422
Bjergand	17.068
Ederfugl	144.116
Havlit	2.535
Sortand	137.103
Fløjlsand	642
Hvinand	68.058
Lille skallesluger	2.078
Toppet skallesluger	12.643
Stor skallesluger	13.884
Blishøne	188.130
Alk/Lomvie	4.585

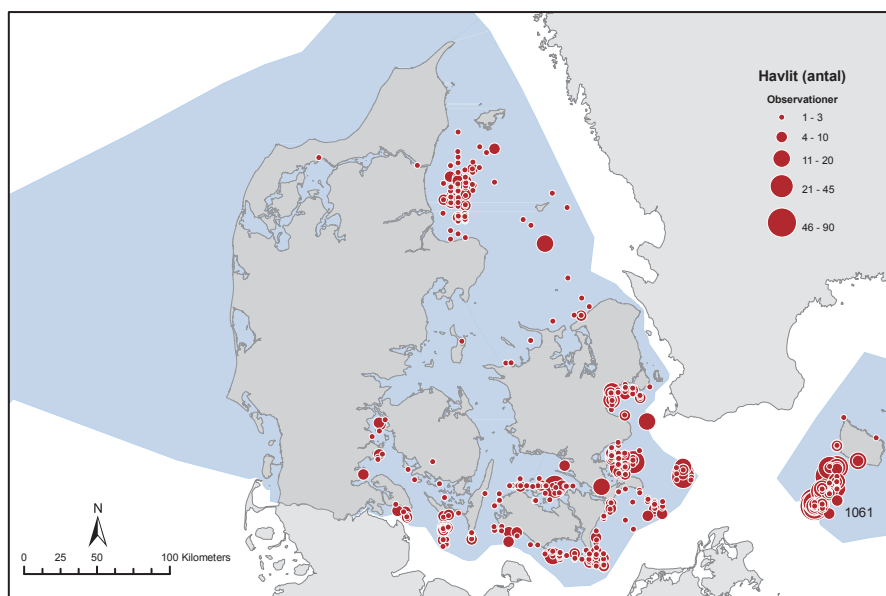
I de danske farvande er der langt flere Rødstrubede lommer end Sortstrubede lommer. Ud af 624 registrerede lommer var 295 Rødstrubet Lom, mens kun 10 var Sortstrubet lom. Af de uidentificerede lommer skønnes den overvejende del også at være Rødstrubet lom. Fordelingen af de to arter illustreres samlet for de to arter. De fleste lommer blev registreret i Kattegat, og i særdeleshed i farvandet imellem Læsø og Anholt samt Ålborg Bugt (figur 11.2). I Nordsøen blev flest lommer registreret nær Horns Rev. Lommer fouragerer på mindre fisk og de talte fugle befandt sig på moderate vanddybder. 57% af de observerede fugle blev observeret på lokaliteter med vanddybder på 10 til 20 m, mens kun 20% i intervallet 0 til 10 m.

Figur 11.2. Overvågning af lommer i danske farvande i 2008.



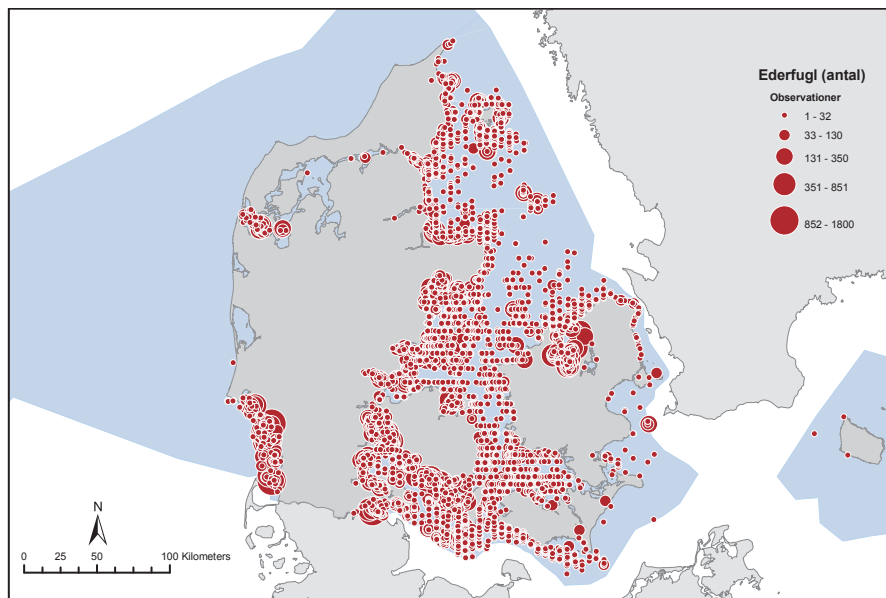
Der blev registreret i alt 2.535 havlitter under optællingerne, de fleste af disse på Rønne Banke, med andre koncentrationer i den vestlige Østersø samt i Ålborg Bugt (figur 11.3). Havlitterne fouragerer hovedsagelig på muslinger og findes derfor på lave vanddybder. Af de observerede havlitter blev 91% observeret i dybdeintervallet 6 til 22 m, hvoraf 22% blev observeret i intervallet 16 til 18 m.

Figur 11.3. Overvågning af havlit i danske farvande i 2008.



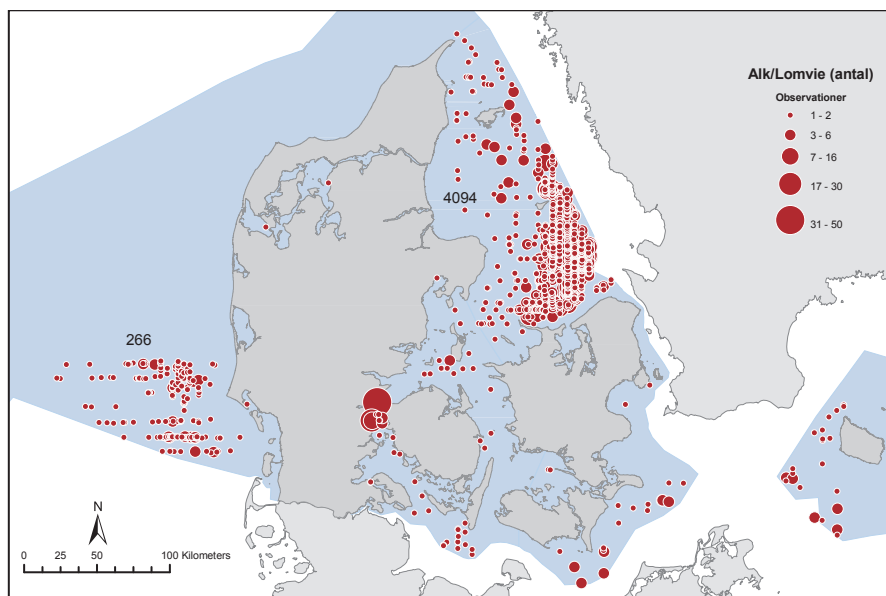
Ederfugl er en talrig fugl i danske farvande hele året rundt. Om vinteren findes arten i det største antal og mest talrigt i de vestlige dele af de indre danske farvande (figur 11.4). Ederfugle fouragerer fortrinsvis på muslinger, navnlig blåmusling på lave vanddybder. Størstedelen af de observerede ederfugle (95%) befandt sig på vanddybder mellem 0 og 20 m, hvoraf 22% fandtes i 4-6 m intervallet. Ederfugl fortsætter øjensynlig tilbagegangen, som har været konstateret siden 2000 (Pihl m.fl. 2001; Petersen m.fl. 2006). Beregning af den samlede danske vinterbestand af ederfugl ud fra transekter er endnu ikke afsluttet, så de her angivne antal er det faktisk optalte antal fugle. Der er konstateret en række faktorer, som har negativ indvirkning på Østersøbestanden af ederfugl, herunder sygdomsudbrud i kolonier og tilstedeværelse af ræve (Desholm m.fl. 2002).

Figur 11.4. Overvågning af ederfugl i danske farvande 2008.



Alk og lomvie er nært beslægtede alkefuglearter. De to arter kan være vanskelige at adskille fra fly og behandles derfor her samlet. I Kattegat er alk dominerende i antal. Alkefuglene blev primært registreret i Kattegat, nord for Sjælland og nordpå i de dybe dele af farvandet. Desuden var der en koncentration i den sydlige del af den danske Nordsø (figur 11.5). Den øvrige del af Nordsøen blev ikke dækket. I Lillebælt blev en større koncentration optalt fra observationsposter på land. Tallene fra disse registreringer blev samlet i én observation, og resultaterne er derfor ikke direkte sammenlignelige med de øvrige observationer. Alkefugle fouragerer på mindre fisk i de dybe dele af farvandet og 82% af de observerede alkefugle blev registreret i dybdeintervallet 20 til 32 m, med 20% fra 28 til 30 m.

Figur 11.5. Overvågning af alk og lomvie i danske farvande i 2008.



11.2 Overvågning af marine pattedyr

Overvågningen af marine pattedyr i danske farvande omfatter spættet sæl, gråsæl og marsvin. Der har været gennemført optællinger af spættede sæler i de danske farvande siden 1976, mens der kun har været få registreringer af gråsæl. Fra 2011 forventes det, at marsvin og gråsæl inkluderes i en systematisk overvågning. I det følgende beskrives tilstanden kort for de tre arter og det sparsomme vidensgrundlag der findes for vågehval, hvidnæse og øresvin i danske farvande.

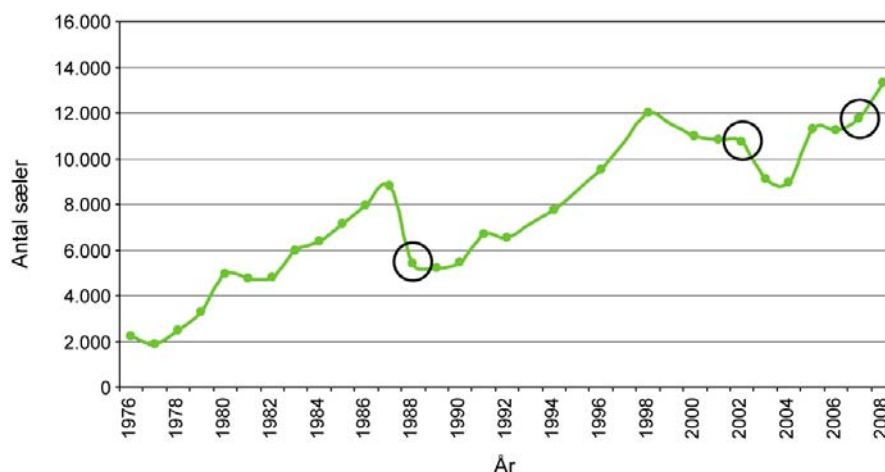
Spættet sæl

Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark. Spættet sæl forekommer især i kystnære farvande, hvor der er nok af fisk, og hvor der findes uforstyrrede yngle-/hvilepladser på sandbanker, rev, holme og øer. Den danske bestand er opdelt i fem grupper fordelt på hver deres 'forvaltningsområde' på baggrund af genetiske forskelle og satellitmærkede dyrs brug af farvandene (*Olsen m.fl. i tryk*): Vadehavet, Limfjorden, Kattegat nord, Kattegat sydvest og sydøstlige Danmark. Genetisk er de to bestande i Kattegat dog 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. Det tyder på et ustabilt økosystem, hvor sælerne forlader Limfjorden i visse perioder, hvor fødemængden er knap. I de andre områder er bestandenes tilvækst aftagende. Det tyder på, at bestandene nærmer sig bæreevnen for områderne.

Den totale bestand af spættet sæl i Danmark (inkl. sæler i vandet) har udviklet sig fra ca. 2.000 dyr i 1976 til 13.300 dyr i 2008 (*figur 11.6*). Bestandsfremgangen tilskrives jagtfredningen af arten i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud (*Jepsen 2005*).

Figur 11.6. Total antal af spættet sæl i Danmark i perioden 1976-2008 inkl. en korrektion for, at 43% af sælerne opholdt sig i vandet. 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 population kan ikke ses.



I 1988 ramte den første epidemi af distemper virus (PDV) sælerne og slog ca. 50% ihjel. Efter 1988 og indtil 2002, hvor den næste PDV-epidemi ramte sælerne, steg bestanden i gennemsnit med 10,6%. Efter 2002 har den samlede stigning været 2,2% (Olsen m.fl. i tryk).

Den faldende vækstrate dækker over variationer mellem de fem populationer, men tendensen er den samme i alle områder. Årsagen kan skyldes, at spættet sæl er ved at nå bærekapaciteten i Danmark. 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. i tryk).

Gråsæl

Gråsælen er ligesom spættet sæl knyttet til de kystnære farvande, hvor der er nok af fisk, og hvor der findes uforstyrrede yngle-/hvilepladser på ubeboede øer samt sandbanker, rev og skær. Gråsæl var frem til 1800-tallet en almindelig og udbredt sælart i de danske farvande og yngede frem til omkring 1900 på uforstyrrede lokaliteter ved de danske kyster. I dag forekommer gråsælen kun regelmæssigt på få lokaliteter i Kattegat, Østersøen og Vadehavet og udgør kun en meget lille bestand. På Rødsand ved Gedser er der siden 2003 observeret 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 omkring Storbritannien og i Vadehavet (Holland og Tyskland) samt i Østersøen. Østersøbestanden af gråsæl føder unger i februar-marts, mens den østatlantiske bestand 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 2007 og 2008 har DMU forsøgsvis gennemført nogle flytællinger under gråsælernes yngletid i februar-marts og under pelsskiftet i maj-juni. I forbindelse med overvågning af miljøeffekter af vindmølleparken ved Rødsand syd for Lolland er der anvendt fjernstyret og internetbaseret videoovervåg-

ning 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*).

I august 2000 blev der registreret i alt 15 gråsæler i Kattegat og på Rødsand. I august 2005 blev der optalt 13 gråsæler og i august 2008 observeredes der 40 gråsæler. I februar og marts 2008 blev der talt henholdsvis 76 og 65 gråsæler i Kattegat og på Rødsand. Ved Christiansø ved Bornholm er der i de seneste år set enkelte gråsæler om foråret, men i 2008 blev der dagligt set op til otte gråsæler på samme tid i april-maj (www.chnf.dk). 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. I februar-marts 2003 og 2004 blev der i begge år observeret to levende gråsælunger på Rødsand ved Gedser. I 2005 blev der samme sted set en død gråsælunge og i marts 2008 tre levende og én død gråsælunge (*Edrén m.fl. 2005, Jonas Teilmann pers. medd.*). For første gang blev der også set en gråsælunge ved Læsø i marts 2008. Disse observationer viser, at gråsælen nu igen yngler regelmæssigt i Danmark efter ca. hundrede års pause. Ydermere bliver der hvert år set enkelte unge gråsæler langs den jyske vestkyst, som må antages at være strejfer fra Vadehavet eller 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. Men der er tale om relativt få gråsæler, som lever langt fra større bestande i Østersøen og ved de britiske øer. Satellitmærkning af gråsæler ved Rødsand har dog vist, at sæler derfra udgør en del af en sammenhængende bestand i Østersøen (*Dietz m.fl. 2003*).

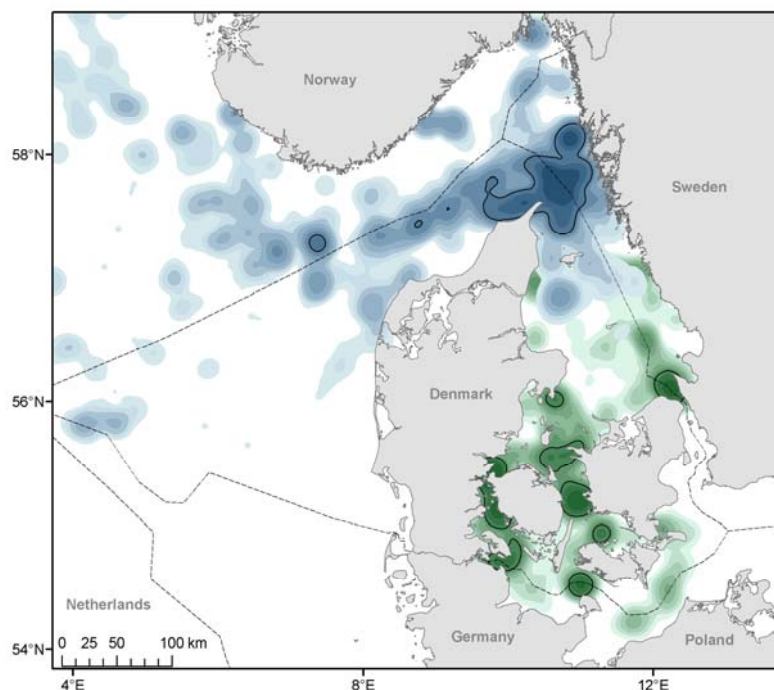
Marsvin

Marsvin er udbredt i alle danske farvande bortset fra Limfjorden. Den er sjælden i Øresund syd for Helsingør og meget sjælden øst for Møn og omkring Bornholm (*Teilmann m.fl. 2008*). Der er mindst tre populationer af marsvin i de danske farvande som fordeler sig i Nordsøen (indeholder måske flere populationer), indre danske farvande og østlige Østersø (*figur 11.7*).

Marsvin i de danske farvande er blevet optalt i juli 1994 og juli 2005 (*Hammond m.fl. 2002* og <http://biology.st-and.ac.uk/scans2/inner-finalReport.html>). Da marsvin svømmer på tværs af nationale grænser, findes der ikke noget præcist antal for de danske farvande alene, men det vurderes, at den totale bestand af marsvin i danske farvande i 2005 var på ca. 55.000 individer. I den samlede danske del af Nordsøen var der 57.000 individer i 1994, som i 2005 var reduceret til 41.000 marsvin. I de indre danske farvande (Kattegat syd for Læsø, Bælthavene, Øresund og vestlige Østersø) findes estimater, der inkluderer hele populationen inklusiv de svenske og tyske dele af området. I juli 1994 blev antallet estimeret til 22.127 og i juli 2005 til 13.600 marsvin. Marsvin i de indre danske farvande menes at udgøre en selvstændig bestand (*Andersen m.fl. 2001, Teilmann m.fl. 2004*). De to estimater fra de indre danske farvande er ikke statistisk forskellige på grund af en generel stor usikkerhed på estimater af hvalbestande. Alligevel er en tilbagegang på næsten 40% alarmerende, og udviklingen

bør følges nøje. Den lille marsvinebestand i den østlige Østersø er næsten forsvundet over de seneste 50-100 år.

Figur 11.7. Fordeling af satellitmærkede marsvin i perioden 1997-2007, vist som positionstætheder baseret på en lokalisering af hvert dyr hver fjerde dag. Grøn indikerer dyr fra bestanden i de indre danske farvande (38 individer, 950 positioner) og blå indikerer dyr fra Nordsøbestanden (26 individer 665 positioner). De sorte cirkler indikerer de områder hvor tætheden af marsvin er størst. Fra Svegaard m.fl., in prep.



Årsagerne til de observerede nedgange er uvisse, men flere faktorer som bifangst, fødegrundlag og generelle forstyrrelser kan spille ind. Mellem 5.000 og 10.000 marsvin fanges hvert år af danske fiskere i nedgarn i Nordsøen (Vinther & Larsen 2004). Desuden er marsvin sårbare over for den stigende forstyrrelse fra stigende menneskelige aktiviteter på havet. Om nedgangen i den danske bestand i Nordsøen skyldes en omfordeling af marsvin i hele området eller lokale op- og nedgange i delbestande er uvist, da det samlede antal marsvin i Nordsøen er uændret fra 1994 til 2005.

Andre hvaler

Hvidnæse er efter marsvinet den mest almindelige hvalart i Danmark. Den lever i det åbne vand i Nordsøen og Skagerrak og ses sjældent nær kysten. I de indre danske farvande observeres eller strander der årligt en eller flere hvidnæser (Kinze m.fl. 2003). Den samlede bestand af hvidnæser i Nordsøen og tilstødende farvande blev estimeret til ca. 10.000 individer i 1994 og 2005 (Hammond m.fl. in prep. og <http://biology.st-and.ac.uk/scans2/inner-finalReport.html>). En mindre men ukendt del af bestanden lever i de danske farvande. Der vides kun lidt om artens bestandsstørrelse, adfærd og brug af de danske farvande.

Øresvin er en tilfældig gæst i de danske farvande, men frem til 1940 var denne hval almindelig i den sydlige del af Nordsøen, og der er adskillige fund og observationer af øresvin fra Danmark gennem tiderne. De bestande, der lever nærmest på Danmark, findes i den vestlige del af Den Engelske Kanal og ved det østlige Skotland. Øresvin er i de sidste 10 år blandt andet observeret ved Kalø i 1988. I 1998 fandtes ved den lettiske kyst et dødt øresvin, som havde svømmet gennem de danske farvande. I den danske del af Nordsøen blev der i 2000 set en flok på ca. 15 øresvin (Kinze 2007). I 2002 blev der flere gange rapporteret delfiner fra de indre danske farvande, som sandsynligvis var øresvin. Øresvin har ikke en

fast, ynglende bestand i danske farvande. Det dukker øjensynligt op, når vandet i Nordsøen er varmere end normalt, ligesom i 1930'erne og 1940'erne, da øresvin var en ret hyppig gæst i danske farvande.

Vågehvalen lever i det åbne vand i Nordsøen og Skagerrak og ses sjældent nær kysten. Den samlede bestand af vågehvaler i Nordsøen og tilstødende farvande blev estimeret til ca. 10.000 individer i 1994 og 2005 (Hammond *m.fl.* og <http://biology.stand.ac.uk/scans2/inner-finalReport.html>). En mindre men ukendt del af bestanden lever i de danske farvande, hvor der årligt observeres eller strander en eller flere vågehvaler (Kinze *m.fl.* 2003). Der vides meget lidt om artens bestandsstørrelse, adfærd og brug af de danske farvande.

Sammenfatning

- De dominerende arter af dykænder i de indre danske farvande i 2008 var ederfugl, sortand og troldand.
- Havlit blev primært registreret på Rønne Banke.
- Rødstrubet lom er den mest almindelige lom og de fleste blev registreret i Kattegat, og i særdeleshed i farvandet imellem Læsø og Anholt samt Ålborg Bugt.
- Ederfugl er talrig i danske farvande hele året rundt, men flest om vinteren i de vestlige dele af de indre danske farvande. Ederfugl fortsætter øjensynlig tilbagegangen, som har været konstateret siden 2000.
- Alke og lomvier blev primært registreret i Kattegat, nord for Sjælland og nordpå i de dybe dele af farvandet. Desuden var der en koncentration i den sydlige del af den danske Nordsø.
- Overvågningen af marine pattedyr i danske farvande er fokuseret på spættet sæl, gråsæl og marsvin.
- Spættet sæl er den mest almindelige sælart i Danmark, som har udviklet sig fra ca. 2.000 dyr i 1976 til 13.300 dyr i 2008 på baggrund af jagtfredningen i 1977 samt oprettelsen af en række sælreservater med adgangsforbud. Der er observeret faldende vækstrater, som kan skyldes, at spættet sæl er ved at nå bærekapaciteten i Danmark.
- I februar og marts 2008 blev der talt henholdsvis 76 og 65 gråsæler i Kattegat og på Rødsand. Ved Christiansø ved Bornholm blev der i 2008 dagligt set op til otte gråsæler på samme tid i april-maj. Gråsælen yngler igen regelmæssigt i Danmark efter ca. hundrede års pause.
- Marsvin i de danske farvande er blevet optalt i juli 1994 og juli 2005. Der er observeret en alarmerende tilbagegang på næsten 40% på grund af flere faktorer blandt andet bifangst.
- Hvidnæser, øresvin og vågehval er regelmæssige gæster i danske farvande, men viden om bestandsstørrelser og udvikling er meget begrænset.

12 Metaller i muslinger, fisk og sediment

Martin M. Larsen

NOVANA-programmet omfatter analyser for tilstedeværelsen af tungmetallerne 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 herudover analyseres i sediment en gang i programperioden i 2008, 5 år efter sidste sedimentprøvetagning i 2003. I sedimenter analyseres der, udover de miljøfarlige metaller, også for litium (Li) og aluminium (Al) som led i en beregningsmetode, der 'normaliserer' sedimentet til en tilnærmelsesvis ens sammensætning. Li og Al anvendes som indikator for ler-silt fraktionen, da sandet i sandede sedimenter kan 'fortynde' indholdet af metaller i ler-silt fraktionen.

Alle metallerne forekommer naturligt i havmiljøet med et såkaldt baggrunds niveau. Ved forhøjede niveauer er alle tungmetaller skadelige for organismer i vandmiljøet. Menneskeskabt forurening kan give forhøjede værdier, både gennem diffus- og punktkildeforurening. Cd og Hg er begge giftige i meget lave koncentrationer for de fleste former af liv og opkoncentreres bl.a. i lever. Hverken Cd, Hg eller Pb har nogen kendt nyttevirkning i organismer. Ni, Cu og Zn er nødvendige mikronæringsstoffer, dog med snævre grænser mellem nytte- og skadevirkning. Muslinger anvendes som generel indikator for belastningen 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 for stationen over de sidste dage til måneder afhængig af hvilket stof, der måles. Muslinger er desuden velegnede som indikatorer, da de er stationære og mangler kapacitet til at nedbryde de fleste organiske miljøfarlige stoffer (se *kapitel 13*). Udover muslinger analyseres der i skrubber for at få et højere trofisk niveau, så man kan se, om der sker en opkoncentrering igennem fødekæden. Da der analyseres i leveren for PCB og metaller kan man ikke umiddelbart bruge disse data til at udtale sig om fiskens kvalitet som menneskeføde (bortset fra kviksølv, der måles i musklen). Tidstrend-analyser giver bedre resultater i leveren, og koncentrationen af PCB'er er højere pga. højere fedtindhold end i musklen. Fladfisk som skrubber er gode monitoringsorganismer, fordi de er meget stationære i forhold til fritsvømmende fisk som torsk og sild.

Hvor fisk og muslinger aktivt søger føden, så er sedimentet en kilde til frigivelse eller afløb for forurening. I NOVANA tilstræbes det at tage sedimentet i områder med sedimentation og bortset fra Vadehavet betyder det normalt i dybe områder, hvor der falder nyt materiale ned i varierende grad. Da der i mange områder falder få mm om året, og der indsamles de øverste 1-2 cm af sedimentet, vil en sedimentprøve give en middelværdi over forureningen de sidste 5-10 år. Sedimentet udtages derfor kun en gang i NOVANA- (to gange i NOVA-) perioden, med 3-5 års mellemrum. I områder med iltsvind kan nedbrydningen af organiske forureninger (se næste afsnit) være forsvindende lille, og sedimentet kan derfor fortælle noget om historiske forureninger, hvis man tager kerner ned igennem sedimentet.

I 2008 indgik også en række regionale stationer (DEVANO), som miljøcentrene havde udtaget prøver fra, og som skal tilvejebringe information om områder, der savnes i forhold til vandrammedirektivet, eller som er potentielt belastede. Sammen med sedimentprøverne har dette givet det største antal stationer nogensinde i årets prøvetagning – inklusiv nogle med en formodet høj belastning. I alt indgår der ca. 13.000 individuelle resultater i databehandlingen for sedimenter og ca. 6.000 individuelle resultater i årets biotaprogram, og kun en lille del af disse er præsenteret i denne rapport.

Vurdering af målte koncentrationer

Til at vurdere metalleres betydning for miljøtilstanden anvendes fortsat det vejledende norske klassificeringssystem, udarbejdet af Statens Forurensningstilsyn (SFT 1997), som har været anvendt i hele NOVA/NOVANA-perioden. SFT-systemet er baseret på koncentrationsmålinger og udtrykt i en fem-delt klassificering af forureningsgraden for metaller i muslinger (figur 12.1) og er senest blevet revideret i 2007 (SFT 2007). Der arbejdes i miljøcentrene på at udvikle vurderingskriterier til vandrammedirektivet og NOVANA, men miljøcentrene har ikke haft resurser til at udarbejde regionale vurderinger af NOVANA-programmet. Derfor er der kun anvendt SFT vurderingskriterier til den nationale vurdering af muslinger, hvorimod OSPARs kriterier kan anvendes for sedimenter.

Figur 12.1. SFT klassificeringssystem fra 1997. Sammenhæng mellem tilstandsklasse, miljøtilstand og forureningsgrad.

Klasse	I	II	III	IV	V
Tilstandsbeskrivelse	Meget god	God	Mindre god	Dårlig	Meget dårlig
	Ubetydelig/ lidt foruren	Moderat foruren	Markant foruren	Stærkt foruren	Meget stærkt foruren

Der er i Oslo-Paris konventionen (OSPAR) i efteråret 2008 udviklet et sæt vurderingskriterier, som er anvendt i forbindelse med næste kvalitetsstatusrapport (QSR 2010) for Nordsøen. OSPAR vedtog i 1995 en generationsmålsætning om, at alle miljøfarlige stoffer skal være tæt på eller ved baggrundskoncentrationer i 2020. Dette kontrolleres overfor et baggrundsvurderingskriterie (BAC). Et andet kriterium er, at der ikke må være skade på miljøet, hvilket kontrolleres ud fra et økotoxikologisk vurderingskriterium (EAC), eller i mangel af dette, de amerikanske laveffekt områder (US-EPA ERL) og EU's krav til maksimal indhold i fødevarer. Det skal bemærkes, at det sidste kriterie er sat i forhold til toppen af fødekæden (mennesker), hvorimod EAC- og ERL-værdier er baseret på de mest følsomme organismer og derfor generelt er på lavere niveauer i fødekæden.

I forhold til Hg har EU i 2008 desuden fastsat et nyt miljøkvalitetskriterium på 20 µg kg⁻¹ vådvægt (EU 2008). Det er et niveau, der stort set svarer til BAC for metaller i muslinger, men er væsentligt over BAC i fiskemuskel og lever. Kriteriet skal overvåges i de mest velegnede indikatorer blandt fisk, bløddyr, krebsdyr og anden biota.

Muslinger

Der blev i 2008 taget 53 prøver af muslinger: 49 med blåmuslinger og 4 med sandmuslinger i Karrebæk Fjord (parallelt med blåmuslinger) og Ringkøbing Fjord (kun sandmuslinger). Prøverne repræsenterer 39 forskellige stationer, med 11 stationer hvor der er taget duplikate eller triplikate prøver for at opnå mere sikre estimater til tidstrendundersøgelser, der vil blive foretaget i 2009. I 2008 var der kun 2 prøver over EU's fødevarekriterier for Pb, i begge tilfælde små sandmuslinger fra

Karrebæk Fjord. Der var ingen problemer i blåmuslinger fra samme lokalitet. I forhold til OSPARs vurderingskriterier er 20-56% af muslingerne i danske farvande tæt på baggrundsniveauerne. EU's miljøvurderingskrav for Hg blev overskredet i 40% af prøverne, hvor de højeste værdier blev fundet ved Musholm Bugt, med en koncentration i muslingerne på 74 µg kg⁻¹, fulgt af muslinger fra Vesterhavet på 59 µg kg⁻¹. De øvrige 18 stationer, der dækker Vadehavet og størstedelen af de indre danske farvande, lå under 38 µg kg⁻¹. Bemærk at de enkelte prøver er omregnet på baggrund af deres tørstofindhold til vådvægt før sammenligning med 20 µg kg⁻¹.

Tabel 12.1. Vurdering af koncentrationen af metaller i muslinger efter OSPAR QSR 2010 vurderingskriterier, baggrundsvurderingskriteriet (BAC) og EU's fødevareindholds krav.

Metal	Hg	Cd	Pb
BAC (mg kg ⁻¹ TS)	0,09	0,96	1,3
% under BAC	19,6%	27,5%	56,0%
Krav (mg kg ⁻¹ vådvægt)	0,5	1,0	1,5
% under EU fødevare	100%	100%	96,0%
Over EU fødevare	0%	0%	4%

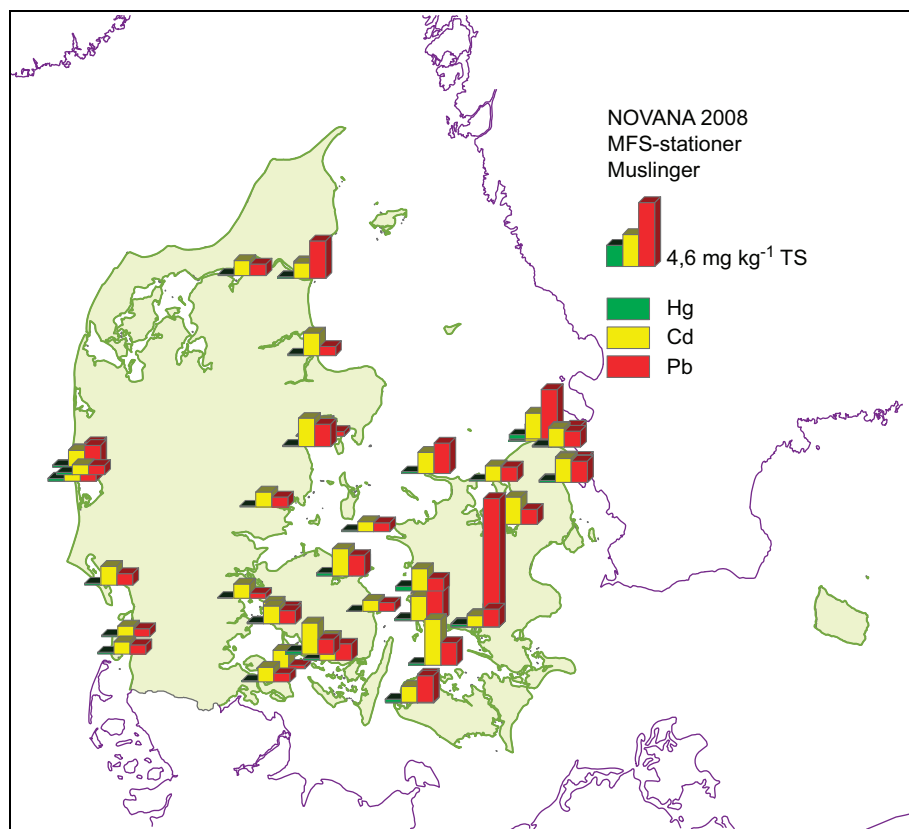
Til at vurdere alle metallerne anvendes det norske SFT klassificeringssystem, og her findes 84-96% af stationerne at være ubetydeligt forurenet af Zn, Hg, Cd Ni og Pb, og kun for Cu og Ni findes stationer over moderat forurenet (tabel 12.2). Igen er det sandmuslinger i Ringkøbing Fjord, der giver 2% mindre god tilstand med hensyn til Ni og 4% i meget dårlig tilstand i forhold til Cu. De højeste værdier af Cu og Ni i blåmuslinger blev fundet ved Vesterhavet. For Cu var der desuden høje værdier (mindre god tilstand) i blåmuslinger fra Vejrø, Musholm Bugt, Storebælt samt Karrebæk Fjord ved Vestre Røse. Bortset fra Cu var 84-96% af de danske områder dog ubetydeligt til lidt forurenet efter SFT's klassificeringer. Fordelingen af Cd, Pb og Hg i muslinger fra danske farvande ses i figur 12.2.

Tabel 12.2. Andel af metalindhold i muslinger i kvalitetsklasserne efter SFT (1997).

Tilstand	Zn	Cu	Hg	Cd	Ni	Pb
Meget god	88%	35%	84%	92%	92%	96%
God	12%	47%	16%	8%	6%	4%
Mindre god	0%	14%	0%	0%	2%	0%
Dårlig	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Meget dårlig	0%	4%*	0%	0%	0%	0%

* Sandmuslinger fra Ringkøbing Fjord havde så højt kobberindhold, at der kan forekomme økotoxikologiske effekter.

Figur 12.2. Fordelingen af Cd, Hg og Pb i prøver af muslinger. Se også *tabel 12.2*. De højeste fundne koncentrationer i tørret muslingekød af Cd er $3,3 \text{ mg kg}^{-1}$, Hg er $0,34 \text{ mg kg}^{-1}$ og Pb er $9,2 \text{ mg kg}^{-1}$.



Fisk

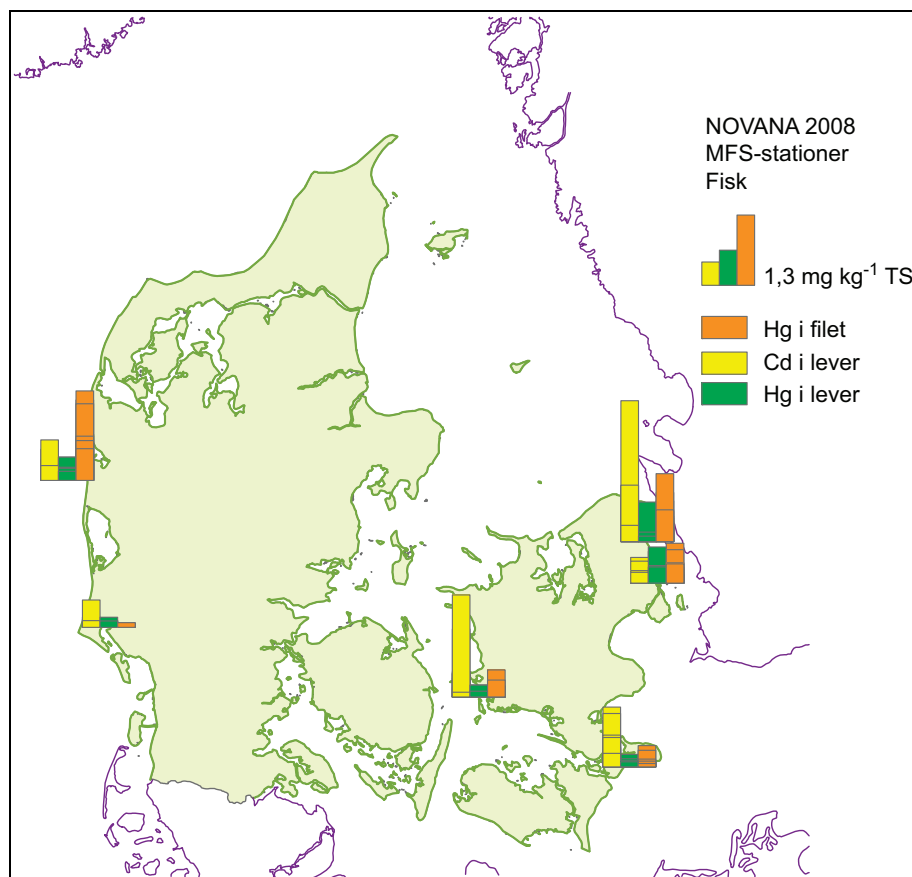
Der blev indsamlet 90 skrubber fra 6 forskellige stationer i 2008, hvoraf der er analyseret for metaller i 60 individer. Metaller måles generelt i leveren, men for Hg anvendes desuden også muskelvæv, typisk lige under rygfinnen. *Figur 12.3* viser fordelingen af Hg og Cd i skrubbelever (grøn og gul) og Hg i muskelvæv (rød) fra 10 individer. Værdierne fra de enkelte fisk er lagt oven i hinanden, således at den mest forurenede angiver den højeste søjle, og de øvrige er markeret med en streg inde i søjlen. EU's fødevarekriterium på 1 mg kg^{-1} vådvægt (VV) for Cd og $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ VV for Hg (målt i både lever og muskel) var ikke overskredet i nogen fisk, hvorimod grænseværdien på $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ VV for Pb var overskredet i en fiskelever fra Svanemøllebugten. Denne var dog et særtilfælde på $5,3 \text{ mg kg}^{-1}$ VV, da den næsthøjeste værdi var ca. 20 gange lavere. Da skrubbelever normalt ikke anvendes som menneskeføde, er fødevarekriteriet ikke beregnet ud fra leverkoncentrationer. Resultaterne for de enkelte stationer er vist i *tabel 12.3*.

Miljøkvalitetskravet med hensyn til Hg fra *EU (2008)* var overskredet for stort set alle fiskeprøver, kun 4% af leverne og 17% af fileterne (i Vadehavet og Hjelm Bugt) lå under $20 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Tabel 12.3. Metalindholdet i skrubbelever (og muskel) i mg kg^{-1} tørstof (muskel dog også angivet efter omregning til vådvægt, VV). For Pb og Ni er hovedparten af data under detektionsgrænsen, så her er medianværdien og maksimumværdien angivet.

	Cd	Zn	Cu	Pb	Ni	Hg	Hg muskel	Hg muskel VV
Ho Bugt	$0,20 \pm 0,05$	98 ± 6	22 ± 4	$< 0,2 \rightarrow 0,3$	$0,2 \rightarrow 3,1$	$0,13 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,018 \pm 0,002$
Hvide Sande	$0,35 \pm 0,06$	107 ± 7	28 ± 3	$< 0,2 \rightarrow 0,3$	$< 0,2 \rightarrow 0,2$	$0,30 \pm 0,03$	$0,89 \pm 0,16$	$0,194 \pm 0,035$
Storebælt	$0,58 \pm 0,18$	128 ± 13	29 ± 5	$< 0,2 \rightarrow 0,4$	$0,2 \rightarrow 0,4$	$0,15 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,04$	$0,041 \pm 0,008$
Nivå Bugt	$0,79 \pm 0,23$	143 ± 11	50 ± 8	$< 0,2 \rightarrow 0,6$	$< 0,2 \rightarrow 0,3$	$0,26 \pm 0,06$	$0,61 \pm 0,10$	$0,127 \pm 0,019$
Svanemøllebugten	$0,30 \pm 0,04$	139 ± 10	39 ± 5	$< 0,2 \rightarrow 11,8$	$< 0,2 \rightarrow 0,2$	$0,29 \pm 0,07$	$0,33 \pm 0,07$	$0,071 \pm 0,015$
Hjelm Bugt	$0,52 \pm 0,10$	115 ± 12	33 ± 6	$< 0,2 \rightarrow 0,2$	$< 0,2 \rightarrow 0,3$	$0,12 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,04$	$0,033 \pm 0,008$

Figur 12.3. Fordelingen af Hg og Cd i fisk fra danske farvande. I Storebælt og Nivå Bugt er der et eksemplar med høje Cd koncentrationer, hvor de øvrige er lavere. For Hg i muskelvæv (rød) er de højeste koncentrationer fundet ved Hvide Sande i Vesterhavet, hvorimod fisk fra Ho Bugt i Vadehavet har det laveste indhold af Cd og Hg. Hver søjle repræsenterer 10 eksemplarer. Se også *tabel 12.3*. De højeste værdier i fiskelever er $1,9 \text{ mg kg}^{-1}$ for Cd, $0,69 \text{ mg kg}^{-1}$ for Hg og for fiske-muskel $0,76 \text{ mg kg}^{-1}$ for Hg.



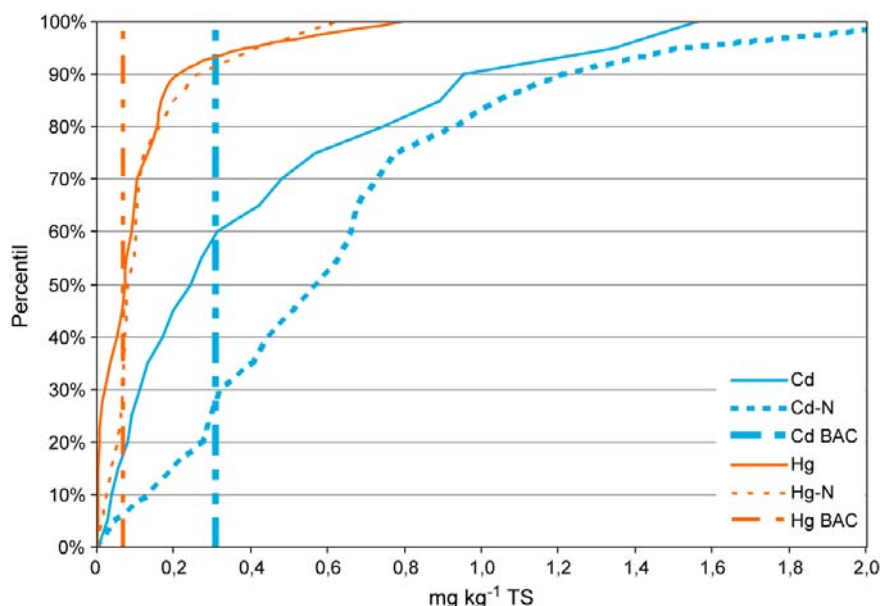
Sedimenter

Der blev målt metaller i 99 sedimentprøver fra 78 forskellige stationer i 2008. Af disse var 72 NOVANA-prøver og de resterende 27 DEVANO-prøver. Da sand ikke kan binde tungmetaller og derfor ikke indeholder ret meget andet end silikat, er det nødvendigt at normalisere for indholdet af lerpartikler. Her anvendes en normaliseringsguideline fra OSPAR (*Smedes 2002*), og der normaliseres til $25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Li}$. Det svarer ca. til middelværdien af danske sedimenter og flytter derfor mindst på resultaterne i forhold til koncentrationerne angivet i tørstof. Formålet med normaliseringen til Li er at justere koncentrationen i sandede prøver op til samme niveau som mere lerede sedimenter, så en evt. forurening ikke 'fortyndes' af, at sedimentet på lokaliteten er mere sandet end fx en referencelokalitet.

Anvendes normalisering fås et forløb for prøver som vist i *figur 12.4* og *12.5*. OSPARs kriterier er baseret på normalisering til $5\% \text{ Al}$, hvilket i gennemsnit svarer til den valgte normalisering på $25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Li}$ i danske sedimenter. Se *Strand m.fl. (2004)* for en mere fyldestgørende diskussion af normalisering.

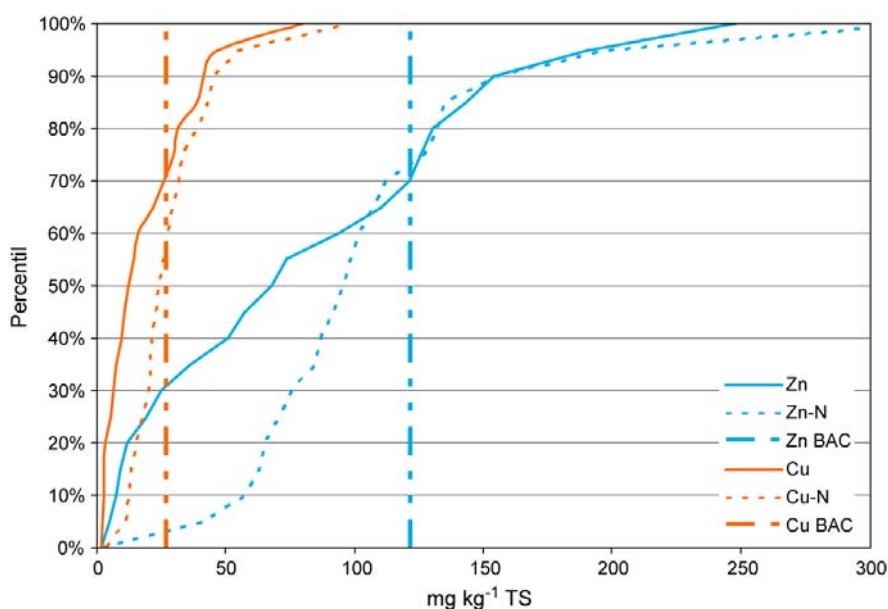
Figur 12.4. Normaliseret vs. direkte måling af Hg og Cd i sediment (normaliseret til 25 mg kg^{-1} Li). For Hg (orange linjer) har normaliseringen mest betydning ved lave koncentrationer, hvorimod det for Cd (blå linjer) har større betydning ved højere koncentrationsniveauer.

De lodrette streger angiver tilstandsklasserne efter OSPARs kriterier. Normaliseringen af Hg ændrer antallet af prøver under BAC fra 45% til 30%, og for Cd fra 60% under BAC til 27% under BAC.



Figur 12.5. Normaliseret vs. direkte måling af Zn og Cu i sediment (normaliseret til 25 mg kg^{-1} Li). For både Cu (orange linjer) og Zn (blå linjer) har normaliseringen mest betydning ved lave koncentrationer.

De lodrette streger angiver baggrundsniveauet efter OSPARs QSR 2010-kriterier. For Zn er betydningen af normalisering minimal med ca. 70% under BAC i begge tilfælde, men for Cu ændrer %-delen under BAC sig fra 70% til 60%.



Vurderingen af baggrundskoncentrationer er der enighed om inden for OSPAR-systemet, mens der er uenighed om at etablere et EAC for sedimenter til 2008-2009 vurderingen. I stedet er det amerikanske Effect Range Low (US-EPA ERL) system anvendt til at afgrænse koncentrationer, der ikke vurderes at udgøre en risiko for uønskede effekter på miljøet. For Cd, Hg og Pb er 11% til 29% over ERL, hvilket falder i tråd med forskellen mellem BAC og ERL, som er en faktor 4 for Cd, 2 for Hg og 1,5 gange for Pb.

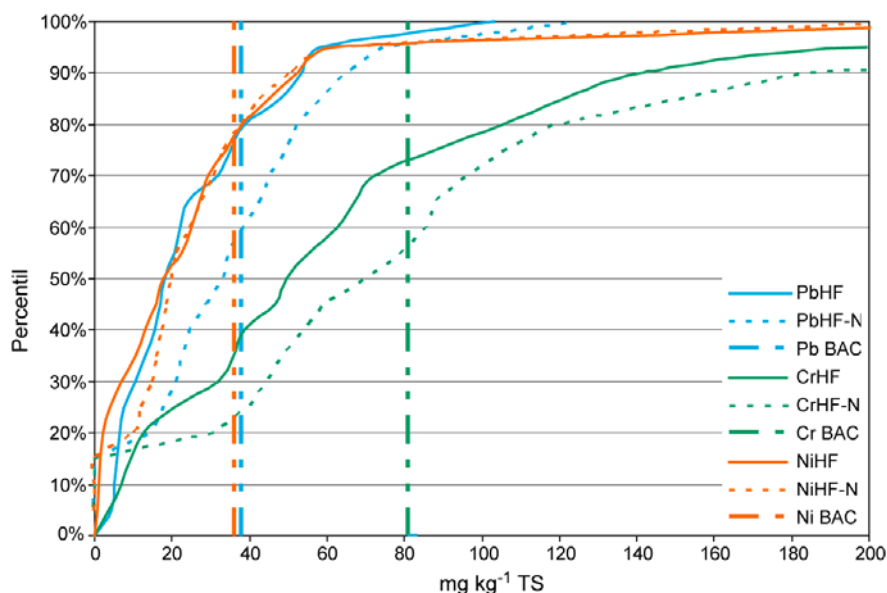
Tabel 12.4. Vurdering af koncentrationen af metaller i sediment efter OSPAR QSR 2010 vurderingskriterier.

Metal	Zn	Cu	Hg	Cd
BAC mg kg^{-1} (5% AI)	122	27	0,07	0,31
% under BAC	72,4%	59,2%	36,7%	26,5%
ERL mg kg^{-1} (5% AI)	150	34	0,15	1,2
% mellem BAC og ERL	15,3%	18,4%	41,8%	62,2%
Rest	12,2%	22,4%	21,4%	11,2%

Der er normalt ikke den store forskel på totalindholdet af Zn, Cu, Cd og Hg og det indhold, der måles ved behandling med stærk salpetersyre efter DS 259. Men for Pb, Cr (krom, der forventes at indgå i det reviderede overvågningsprogram fra 2011) og Ni kan der være forskelle på 20-50% som følge af kemisk hårdt bundne fraktioner. Derfor er det specielt for disse 3 metaller kritisk, at der anvendes total oplukning til sammenligning af normaliseret/ikke normaliseret sediment (*figur 12.6*). Ved total-oplukning anvendes kongevand og flussyre til at opløse hele sedimentprøven, hvor især sandfraktionen altid er tilbage ved DS 259-oplukning.

Figur 12.6. Normaliseret vs. direkte måling af metaller i sediment (normaliseret til $25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Li}$). For Ni (orange linjer) har normaliseringen mest betydning ved lave koncentrationer, hvorimod det for Pb (blå linjer) og Cr (grønne linjer) har større betydning ved højere koncentrationer.

De lodrette streger angiver tilstandsklasserne efter OSPARs kriterier. For Pb falder antallet af prøver under baggrundsniveau fra ca. 80% til 60% ved normaliseringen, for Cr fra 72% til 57%.



Der er ikke udviklet ERL-kriterier for Cr, Ni og As, så disse kan kun vurderes i forhold til baggrundsvurderingskriteriet (*tabel 12.5*).

Tabel 12.5. Vurdering af koncentrationen af metaller i sediment efter OSPAR QSR 2010 vurderingskriterier.

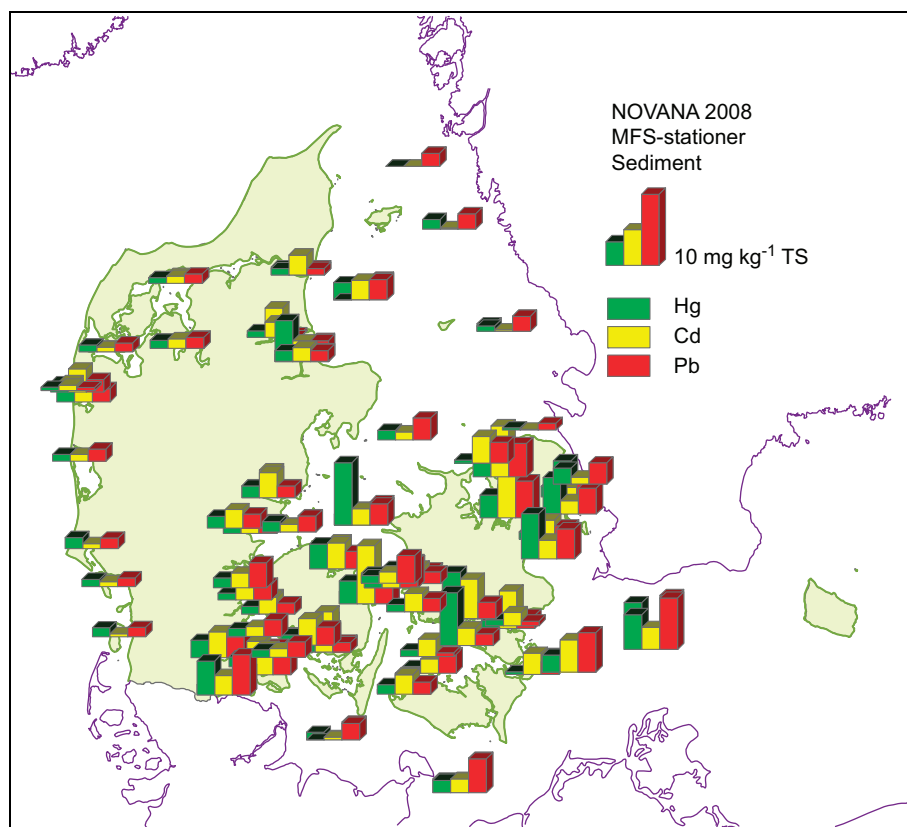
Metal	Pb (total)	Cr (total)	Ni (total)	As (total)
BAC mg kg^{-1} (5% AI)	38	81	36	25
% under BAC	59,2%	57,1%	75,5%	82,7%
ERL mg kg^{-1} (5% AI)	47	ikke fastlagt	ikke fastlagt	ikke fastlagt
% mellem BAC og ERL	12,2%	0%	0%	0%
Rest	28,6%	42,9%	24,5%	17,3%

Den geografiske fordeling af sedimenternes indhold af Cd, Hg, og Pb er vist i *figur 12.7*. Der er anvendt en simpel ratio i forhold til Li for normaliseringen, men det ses, at de højeste Cd-koncentrationer blev fundet i de indre danske farvande, specielt i Smålandsfarvandet og Roskilde Fjord, men også i Storebælt og Ålborg Bugt. Hg blev også fundet i høje koncentrationer i Smålandsfarvandet, Storebælt og Østersøregionen. Pb fandtes i de højeste koncentrationer i Østersøen og i Storebælt ved Agersø. Generelt var de laveste koncentrationer på vestkysten og Limfjorden/Langerak (selv efter normalisering), og koncentrationerne steg ned mod Sjælland og Tyskland.

For de danske havområder lå 25-75% af sedimenterne på OSPARs BAC-niveau. De mest toksiske metaller, Cd og Hg, blev begge fundet i koncentrationer over BAC-niveau i mere end 60-70% af prøverne, til trods for po-

litiske indgreb mod spredningen af Hg og Cd, og en kraftig reduceret tilførsel fra spildevand og atmosfæren over de sidste 20 år.

Figur 12.7. Fordelingen af Hg, Cd og Pb i danske farvande (efter normalisering til 25 mg Li kg^{-1}). De højeste koncentrationer findes i Øresund og Bælthavet, med lavere koncentrationer i Vesterhavet og Limfjorden. Bemærk de relativt høje Hg-koncentrationer i det centrale Kattegat. Bemærk at koncentrationerne af Hg er ganget med 160 og Cd med 40 for at få samme skala som Pb. En prøve fra Øresund er ikke vist af grafiske årsager, da den var en faktor 4 over de øvrige koncentrationer.



Sammenfatning

Resultaterne fra metalanalyserne fra 2008 viste, at:

- de fleste muslinger lå på baggrundsniveau efter OSPARs kriterier, eller god tilstand efter SFT's vurderingskriterier.
- niveauet af Cd og Hg i muslinger og fisk var lavt og under EU's fødevarekrav. Kun i sandmuslinger fra Karrebæk Fjord blev kravet overskredet for Pb.
- 40% af muslingerne og 85-95% af fiskene udtaget i 2008 overholdt ikke EU's miljøkvalitetskrav for Hg, der er sat i kraft ved årsskiftet 2008-2009. Dette kriterium ligger under baggrundsniveauerne fra OSPAR, og om det kun er tænkt som methyalkviksølv er uklart.
- Cu-indholdet i muslinger var markant forurenet jf. SFT's vurderingskriterier.
- 20-40% af sedimentstationerne lå over baggrundsniveau efter OSPARs vurderingskriterier for As, Ni, Zn, Pb, Cu og Cr. For Zn, Cu og Pb er der af US-EPA defineret et lavt effektområde (ERL), som 10-30% af stationerne overskrider med mulige effekter på miljøet.
- 70% af sedimenterne lå over baggrundsniveau for Cd og Hg, og specielt de indre danske farvande og Smålandshavet havde forhøjede niveauer og 10-20% overskred ERL, så her kan det ikke udelukkes, at der er effekter på bundlevende dyr.

13 Miljøfremmede stoffer i muslinger, fisk og sediment

Martin M. Larsen & Jakob Strand

De miljøfremmede stoffer, som indgår i NOVANA, er udvalgt på baggrund af en viden om deres forekomst og skadelige effekter i det marine miljø. Mange af disse forbindelser kan påvirke dyrs vækst, reproduktion, adfærd eller på anden måde nedsætte deres overlevelse. En del af stofferne er også sat i forbindelse med fx hormonforstyrrende effekter. De miljøfremmede stoffer måles i muslinger og fiskelever hvert år.

Der blev taget sedimentprøver i 2008, hvor den forrige prøvetagning af sedimenter i NOVANA-regi var i 2003. Tidsrummet korresponderer med de øverste 1-2 cm, der udtages, som i mange områder svarer til ca. 5 års sedimentation (dog med stor variation). Som supplement til NOVANA blev der igen i 2008 udtaget prøver under det regionale DEVANO-program, hvori der de sidste 2 år også har indgået sedimentprøver.

I sedimenter, muslinger og fisk blev der analyseret for de forbudte organoklorforbindelser PCB (20 stk., inkl. de 7 der indgår i Σ PCB7) samt de klorerede pesticider DDT (5 stk.), HCH (3 stk.), HCB og chlordan (trans-nonachlor). I muslinger og sediment analyseres desuden for antibegrovningsmidlet tributyltin (TBT, 4 stk.), bromerede flammehæmmere (PBDE, 9 stk.), dioxin, furaner og coplanare PCB'er (i alt 20 stk.), tjærestoffer (PAH, 28 inkl. 16 stk. US-EPA standard), som kommer fra forbrænding og oliespild, og blødgørere (phthalater, 3-4 stk.) fra plastproduktion o.l. og i sediment desuden nonylphenoler og hexachlorobutadien (HCBd). De bromerede flammehæmmere er nye i forhold til NOVANA-programmet. Udover de sædvanlige NOVANA-prøver er der også analyseret DEVANO-prøver med phthalater, dioxiner, furaner og coplanare PCB'er som supplerende stoffer til NOVANA-programmet.

Programmet er fortrinsvist baseret på de internationale forpligtelser i henhold til EU, OSPAR og HELCOM. Der analyseres for miljøfremmede stoffer i de samme prøver, som beskrevet for metaller (*kapitel 11*) og der er i regi af OSPAR udarbejdet tidstrendanalyser for 1998-2007. Der er en aftale mellem EU og OSPAR om, at denne vurdering skal indgå i grundlaget for EU's kommende marine strategi.

De seneste år er der foretaget en del screeningsundersøgelser af stoffer, som potentielt kan udgøre en fare i det marine miljø. I 2008 drejede det sig om methyalkviksølv og hexachlorbutadien i biota (muslinger, fisk, fugle og pattedyr), ligesom der er udtaget prøver til chloralkaner i sedimenter fra både marine områder og ferskvandsområder. Resultaterne fra disse undersøgelser bliver afrapporteret særskilt og foreligger endnu ikke for alle prøverne. En del af NOVANA/DEVANO-prøverne indgår i disse screeninger, suppleret med prøver der repræsenterer andre led i fødekæden.

Vurdering af målte koncentrationer

Koncentrationen af miljøfremmede stoffer i muslinger og fisk vurderes i denne rapport primært i forhold til de vejledende økotoxikologiske vurderingskriterier, 'Ecotoxicological Assessment Criteria' (EACs), udarbej-

det af OSPAR-kommissionen (OSPAR 1998). Disse er blevet videreudviklet og det nye sæt kriterier er anvendt i forbindelse med OSPARs QSR 2010 (se *kapitel 11*). Analogt til metaller er der også udviklet kriterier til at vurdere, om de enkelte stoffer er tæt på baggrundsværdien (BAC), som for de fleste organiske forbindelser pr. definition er 0, dog undtaget PAH'erne, der kan frigives via skovbrande og vulkansk aktivitet. Enkelte stoffer vurderes efter SFT-klasserne (*kapitel 11*), da der endnu ikke er udarbejdet EAC-kriterier. Nordisk Ministerråd har udgivet en rapport, der beskriver de vurderingskriterier, der anvendes for Cd, TBT og PCB'er (Strand m.fl. 2008) og hvor resultater af deres anvendelse er illustreret.

EAC-værdien er fastlagt således, at hvis koncentrationen overstiger denne værdi, er der en risiko for, at påvirkede arter kan opleve uacceptable ændringer. Hvis koncentrationen ligger i intervallet mellem BAC og EAC forventes ikke uacceptable ændringer, og hvis værdien er under BAC, vurderes koncentrationen at være tæt på baggrund (OSPARs generationsmål).

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 er kun målt i sediment i 2008.

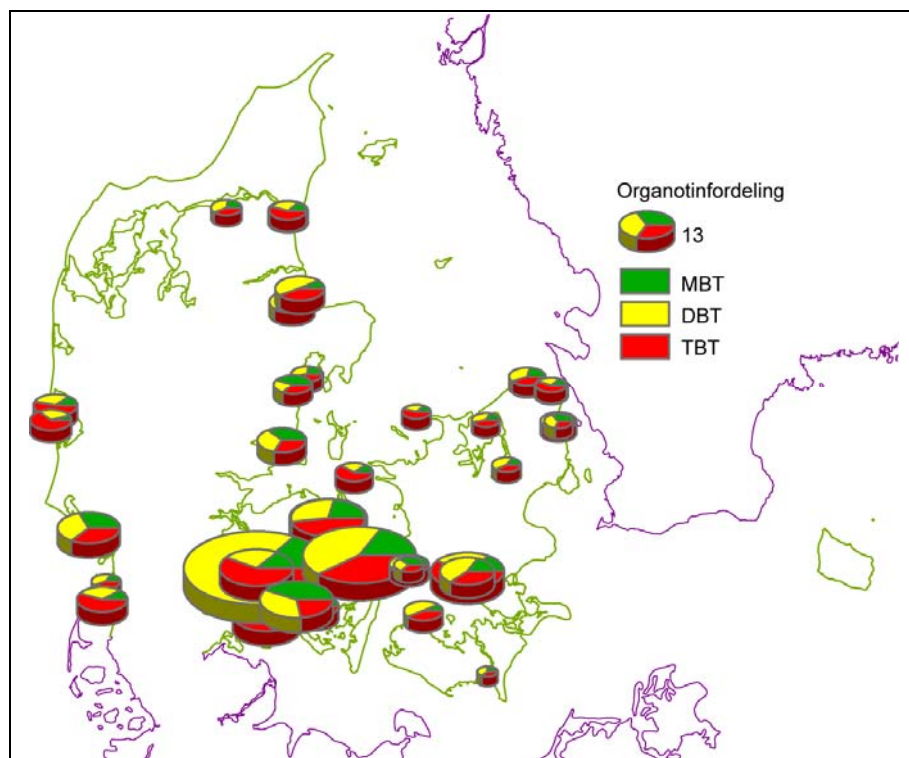
Muslinger

Der blev analyseret 50 muslingeprøver for PAH, PCB og bromerede flammehæmmere. Af disse blev 41 desuden analyseret for TBT og 24 for dioxiner/furaner og coplanare PCB'er samt blødgørere.

TBT er fra 2008 blevet forbudt at have på skibe, men forefindes fortsat i samtlige undersøgte muslinger. Tendensen for koncentrationer og effekter i de fleste områder gennem de seneste år har da også været nedadgående (se *kapitel 13*). OSPARs kvalitetskrav for klasse II (svarende til EAC-værdi) (OSPAR 2009) overskrides dog i 68% af muslingeprøverne, hvorfor effekter i miljøet ikke kan udelukkes. *Figur 13.1* viser den geografiske spredning på indholdet og fordelingen mellem de enkelte grupper af organotin (tributyltin nedbrydes til dibutyltin, der nedbrydes til monobutyltin). TBT er stadig den fremherskende komponent de fleste steder.

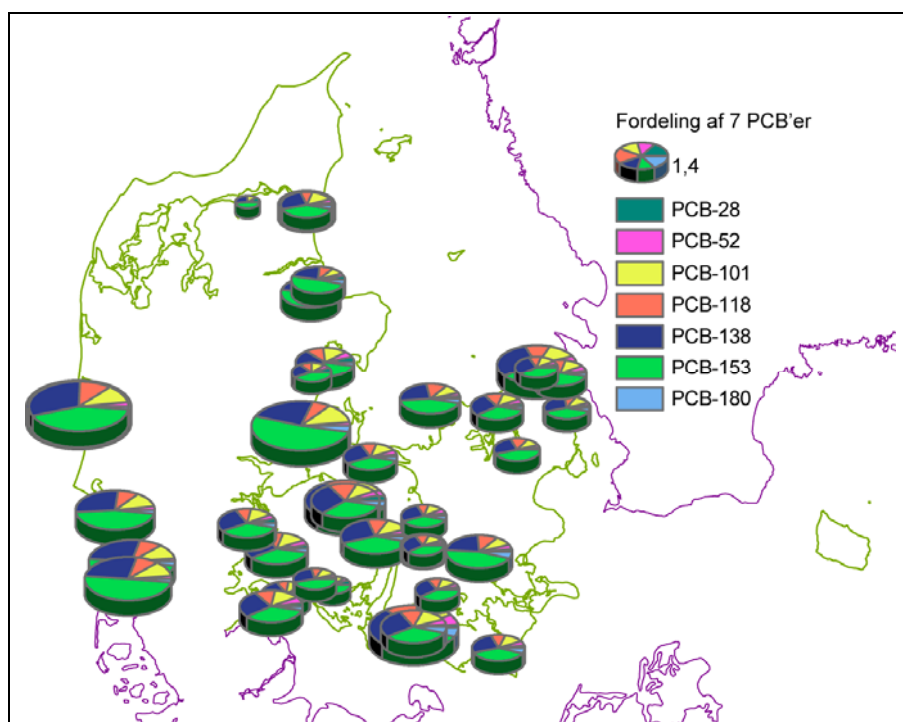
PCB har længe været udfaset i Nordeuropa, så forureningen, der observeres i dag, er en kombination af en langsom nedbrydelighed af de klorerede forbindelser af allerede udledte stoffer, en fortsat brug af gamle PCB-holdige produkter i bl.a. fugemasser og byggematerialer og en langdistance transport fra Østeuropa og Fjernøsten. For flere typer (congener) af PCB'er er koncentrationsniveauerne tæt på eller under detektionsgrænsen, og under OSPARs BAC-niveau (PCB-28, PCB-52 og PCB-180). Den mest udbredte PCB-type, PCB-153, er ligesom PCB-101, PCB-118 og PCB-138 fundet i alle prøver, men kun for PCB-180 og PCB-138 er 10-12% af koncentrationerne over BAC-niveauet (*tabel 13.1*). Ingen koncentrationer er over EAC-niveauet for PCB'er.

Figur 13.1. Den geografiske fordeling af TBT og nedbrydningsprodukter i muslinger. Koncentrationer op til $92 \mu\text{g Sn kg}^{-1}$ vådvægt.



Af de øvrige klorerede forbindelser (HCH og HCB) var alle også under BAC og EU 2008-kravet til HCB, kun pp-DDE, et nedbrydningsprodukt fra DDT, lå 12% over BAC (tabel 13.1). Da ingen EAC-værdier er fastsat for pp-DDE, kan det ikke vurderes, hvorvidt stoffet udgør en risiko for miljøet. De bromerede flammehæmmere, som ligner PCB'er mht. persistens og generelle udbredelse, lå i de fleste tilfælde under detektionsgrænserne, og kun for BDE-47 er der i SFT udviklet et kvalitetskriterium, hvor 4% af prøverne lå i klasse II, defineret som moderat forurenet. Den geografiske forekomst af PCB'er (inklusiv fordelingen af de 7 kongener) er vist i figur 13.2.

Figur 13.2. Den geografiske fordeling og sammensætning af PCB'er i muslinger. Koncentrationer op til $5,4 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt som sum af de 7 PCB'er.



Tabel 13.1. Vurdering af klorerede forbindelser i forhold til OSPARs QSR 2010-vurderinger.

PAH	Maks. konc. $\mu\text{g kg}^{-1}$	% under BAC	% mellem BAC og EAC	% over EAC
PCB-28	0,08	100%	0%	0%
PCB-52	0,37	100%	0%	0%
PCB-101	0,23	100%	0%	0%
PCB-118	0,31	100%	0%	0%
PCB-138	1,07	88%	12%	0%
PCB-153	0,10	100%	0%	0%
PCB-180	1,11	90%	10%	0%
alfaHCH	0,09	100%	0%	0%
gammaHCH	0,07	100%	0%	0%
HCB	0,10	100%	0%	0%
ppDDE	1,04	88%	12%	0%
ppDDT	0,28	100%	0%	0%

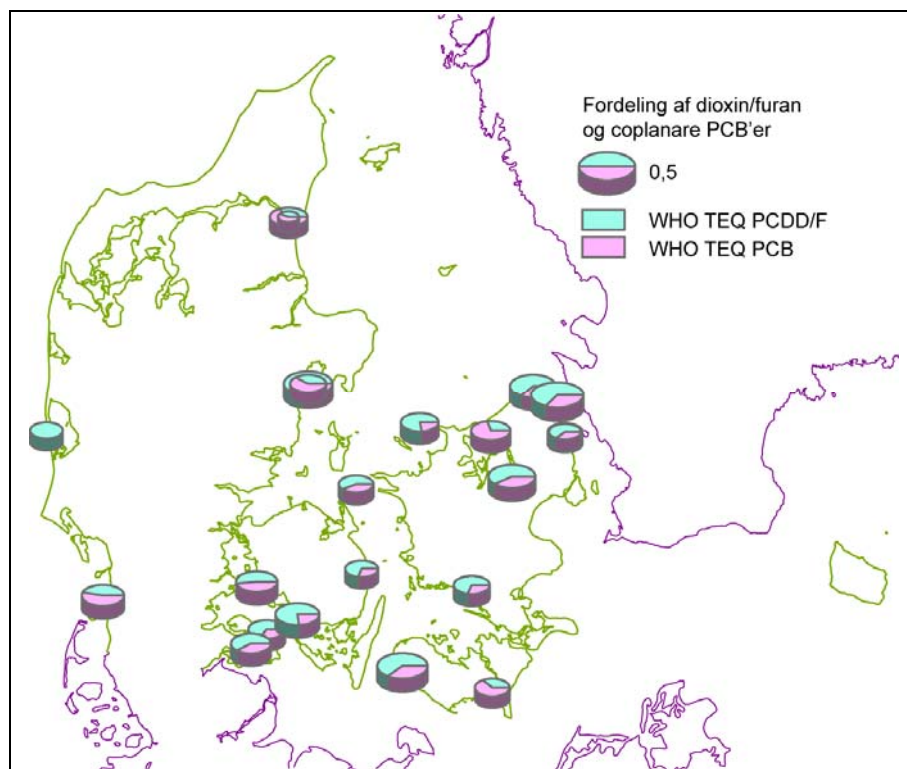
PAH'erne er også generelt udbredte, og OSPAR har udviklet BAC- og EAC-værdier for en række PAH'er. Generelt var koncentrationen af mange typer af PAH'er, som fx phenanthren, pyren og benz(a)pyren, over BAC-niveau (tabel 13.2), men kun fluoranthen og benz(a)anthracen var over EAC. De af OSPAR reviderede EAC-værdier for de enkelte PAH'er, som bruges til vurdering af mulige effekter i havmiljøet (OSPAR 2009), synes dog at være i betydelig uoverensstemmelse med andre risikovurderinger af forureninger med PAH. Som et eksempel kan nævnes, at EAC-værdien for benz(a)pyren er højere end pyren og anthracen, hvilket er i modsætning til OSPAR (1998) og Law m.fl. (2002).

Tabel 13.2. Vurdering af PAH'er i forhold til OSPARs QSR 2010-vurderinger.

PAH	Maks konc. $\mu\text{g kg}^{-1}$	% under BAC	% mellem BAC og EAC	% over EAC
Naphthalen	10,48	100%	100%	0%
Phenanthren	17,56	98%	100%	0%
Anthracen	4,39	79%	100%	0%
Fluoranthren	2,21	98%	0%	2%
Pyren	13,08	50%	100%	0%
Benz(a)anthracen	11,48	90%	0%	10%
Chrysen/triphenylen	9,82	97%	100%	0%
Benz(a)pyren	5,94	100%	0%	0%
Indeno(123cd)pyren	5,19	98%	100%	0%
Benz(ghi)perylene	3,52	79%	100%	0%

Koncentrationsniveauerne (omregnet til WHO-TEQ) af de dioxinlignende stoffer (dvs. dioxiner, furaner og co-planare PCB'er) var i samtlige undersøgte muslingeprøver under EU's fødevaregrænser. Der er ikke udarbejdet EAC-kriterier for de dioxinlignende stoffer, men SFT har klassificeret tox-ækvivalenter for niveauer i muslinger. I forhold til dette var 71% af muslingerne på baggrundsniveau og de resterende 29% kan karakteriseres som let forurenede med dioxinlignende stoffer (figur 13.3).

Figur 13.3. Den geografiske fordeling af dioxiner og coplanare PCB'er i muslinger, angivet som deres tox-ækvivalenter for hhv. PCB'er og dioxin/furaner i muslinger. Koncentrationer op til 0,43 ng kg⁻¹ vådvægt af summen af tox-ækvivalenter (TEQ).

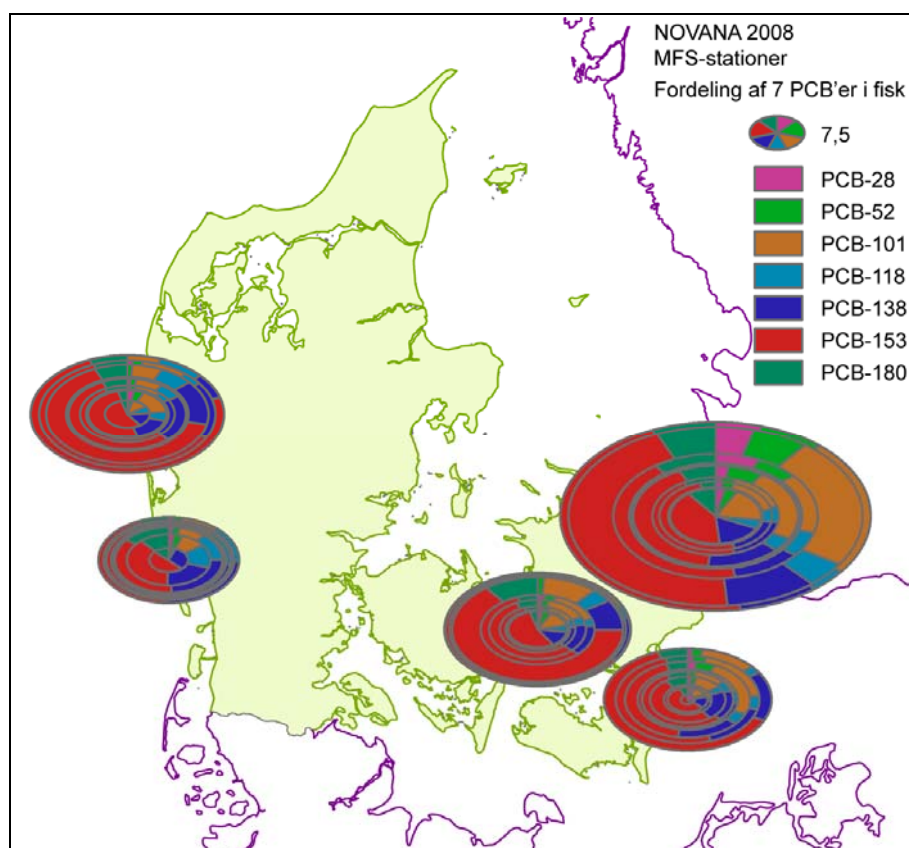


Fisk

Der indgår 5 fiskestationer i overvågningen af miljøfarlige stoffer i fisk (skrubber) under NOVANA. Der blev analyseret 10 individer for PCB'er i 2008 og fordelingen mellem de enkelte PCB'er og indholdet (som summen af de 7 PCB'er) ses på figur 13.4. Størrelsen af skiverne angiver koncentrationen og farverne i lagkagen de enkelte forhold imellem congenerne. Bemærk af sammensætningen i Vadehavet skiller sig ud fra de øvrige med meget PCB-138 (mørkeblå) og PCB-180 (mørkegrøn), og Øresund er det eneste område med relativt store forekomster af PCB-28, men ellers er det i alle prøver PCB-153 (rødbrun), der udgør ca. halvdelen af summen af PCB'er. Koncentrationsmæssigt var Øresund mest belastet (største cirkler), men der findes også de største industri- og bymæssige kilder. Vesterhavet, Storebælt og Østersøen var på ca. samme niveau, og i Vadehavet fandtes de laveste niveauer.

Figur 13.4. PCB-indhold i 10 skrubber fra hver af 5 lokaliteter i Danmark. Koncentrationer op til $244 \mu\text{g} \sum\text{PCB kg}^{-1}$ vådvægt er fundet i de enkelte individer. Størrelsen af lagkagen giver koncentrationen, og fordelingen mellem de enkelte PCB'er er vist i hvert cirkeludsnit af de 10 fisk pr. station; de højeste koncentrationer af PCB i fiskelever er således i Øresund, på samme niveau i Vesterhavet, Storebælt og Østersøen samt laveste niveau i Vadehavet.

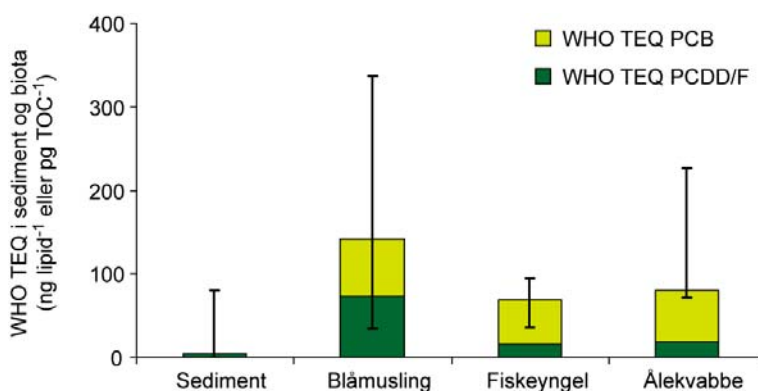
Bemærk at PCB-153 (rødbrune lagkage) er dominerende i alle farvande (ca. 50% af PCB-indholdet), PCB-28 (lilla lagkage) findes stort set kun i Øresund. For Vadehavet er PCB-138 (blå lagkage og PCB-180 (mørkegrøn lagkage) lidt højere end for de øvrige områder, og Vesterhavet, Storebælt og Østersøen har samme PCB-mønster.



Desuden blev der undersøgt for dioxinlignende stoffer i voksne ålekvaler og deres yngel fra 6 NOVANA-stationer i forbindelse med et forskningsprojekt vedrørende biologisk effektmonitoring. De højeste dioxinniveauer fandtes i Århus Bugt. De andre områder er mere sammenlignelige, og forskelle i niveauer mellem områder er i øvrigt væsentligt afhængigt af, om sammenligningerne baseres på niveauer i voksne eller i unger (*Strand m.fl. 2009b*). Efter normalisering til indholdet af lipider var niveauet dog generelt højere i blåmuslinger end i ålekvaler (*figur 13.5*). Ligesom for blåmuslinger, var niveauerne i muskel fra ålekvaler i alle de undersøgte 6 kystnære områder væsentligt under fødevarekriteriet for magre fisk.

En fiskelever fra Svanemøllebugten lå i 2008 over HCB-grænseværdien fra EU 2008. I gennemsnit var koncentrationen dog langt under.

Figur 13.5. Indholdet af dioxinlignende stoffer i hhv. sediment, blåmuslinger, voksne og unger af ålekvaler angivet som hhv. median, min. og maks. af WHO-TEQ-værdier normeret til TOC i sediment og lipid i biota.

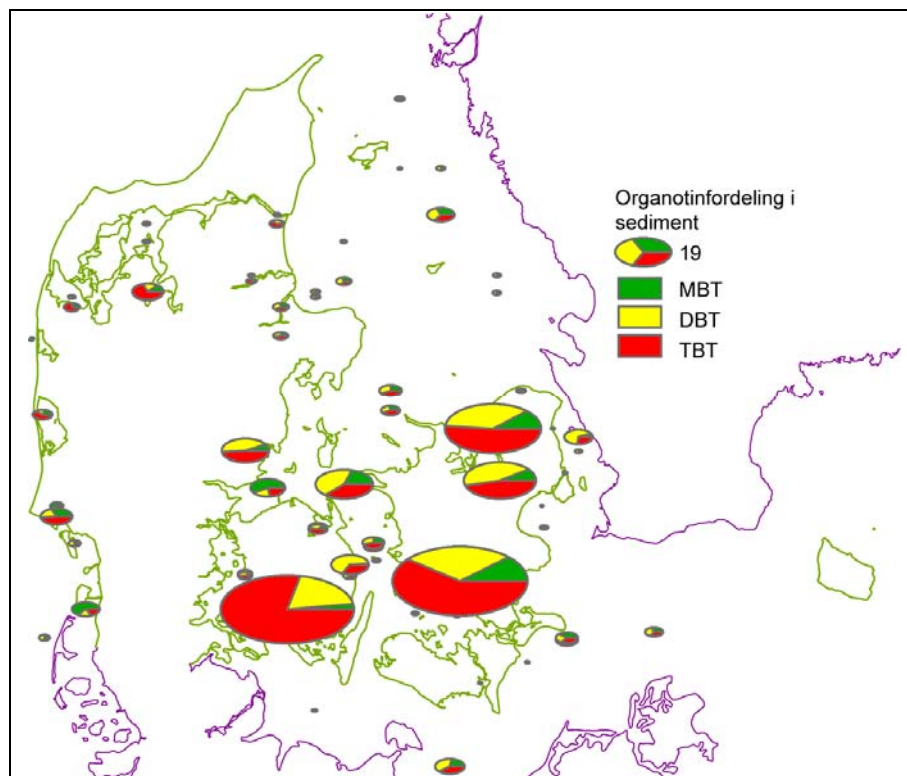


Sedimenter

Der blev i 2008 målt på 99 sedimentprøver fra 78 forskellige stationer. Af disse var de 72 NOVANA-prøver, og de resterende 27 var regionale DEVANO-prøver med varierende analysepakker (TBT indgår ikke i DEVANO-basispakken, og dioxiner, blødgørere og klorerede/bromerede forbindelser var i nogle tilfælde fravalgt, da de blev målt i 2007).

TBT er, trods udfasningen, stadig det største problem for det marine miljø, med stort set alle prøver over OSPARs EAC-kriterium. Fordelingen mellem TBT og nedbrydningsprodukterne ses i figur 13.6, hvor størrelsen på cirklerne angiver TBT-indholdet og størrelsen af lagkagerne fordelingen mellem TBT, DBT og MBT.

Figur 13.6. Den geografiske fordeling af TBT og dets nedbrydningsprodukter i sediment. Koncentrationer op til $243 \mu\text{g Sn kg}^{-1}$ tørstof er vist.



Hovedparten af PAH'erne lå i SFT's klasser I og II, god, med enkelte undtagelser: Anthracen, indeno(123-cd)pyren, benz(ghi)perylen og di-benz(ah)anthracen, med 20% eller mere i markant og højere forurenet, for indeno(123-cd)pyren og benz(ghi)perylen endog mere end 10% i klasse IV (tabel 13.3). For OSPARs QSR 2010-kriterier var anthracen og benz(ghi)perylen også over ERL i mere end 20% af tilfældene, og indeno(123-cd)pyren i 8%. PAH'erne er fortsat den stofgruppe, der umiddelbart giver de største miljømæssige betænkeligheder efter TBT.

Forskellen mellem SFT (tabel 13.3) og OSPARs 'gode' miljøtilstand (tabel 13.4) er en faktor 2 under til 5 over, når der tages hensyn til normaliseringsfaktoren. OSPARs klasse er 5 gange højere med hensyn til de lette PAH'er naphthalen og phenanthren, samt 2,5 gange for benz(a)pyren, hvorimod klassificeringen fra SFT er ca. en faktor 2 over OSPARs for de tunge PAH'er som benz(a)anthracen og indeno(123-cd). Diskussionen ovenfor vedrørende benz(a)pyren i biota gælder også for sediment.

Tabel 13.3. PAH-klassificering af sedimenter efter *SFT (2007)*. Den øvre grænse for klasse II er angivet og udgør grænsen mellem god tilstand og mindre god (markant forurennet) tilstand. Normaliseret til 1% TOC.

	Maks. ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Klasse I	Klasse II	Grænse II ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Klasse III	Klasse IV og over	n
Naphthalen	79	17%	83%	< 290	0%	0%	88
Acenaphthylen	222	48%	49%	< 33	1%	1%	81
Acenaphthen	213	61%	38%	< 160	2%	0%	64
Fluoren	11	80%	20%	< 260	0%	0%	5
Phenanthren	1066	10%	89%	< 500	1%	0%	88
Anthracen	213	6%	72%	< 31	14%	8%	36
Fluoranthren	1487	8%	89%	< 170	2%	1%	88
Pyren	1238	8%	90%	< 280	2%	0%	87
Benz(a)anthracen	651	6%	88%	< 60	4%	2%	85
Chrysentrifphenylen	759	11%	88%	< 280	0%	1%	88
Benz(bjk)fluoranthener	1031	50%	48%	< 260	0%	2%	88
Benz(a)pyren	728	8%	91%	< 420	1%	0%	85
Indeno(123-cd)pyren	634	37%	36%	< 47	14%	14%	87
Benz(ghi)perylene	508	44%	9%	< 21	15%	32%	88
Dibenz(ah)anthracen	144	3%	77%	< 12	20%	0%	86

Tabel 13.4. Klassificering af PAH i sedimenter efter OSPAR QSR 2010. Den øvre grænse for ERL er angivet. Koncentrationerne er normaliseret til 2,5% TOC.

	% under BAC	BAC $\mu\text{g kg}^{-1}$	% under ERL	ERL $\mu\text{g kg}^{-1}$	Over ERL	n
Naphthalen	32%	< 8	99%	< 160	1%	88
Phenanthren	31%	< 32	95%	< 240	5%	88
Anthracen	6%	< 5	78%	< 85	22%	36
Fluoranthren	22%	< 39	97%	< 600	3%	88
Pyren	16%	< 24	98%	< 665	2%	87
Benz(a)anthracen	19%	< 16	98%	< 261	2%	85
Chrysen/triphenylen	19%	< 20	98%	< 384	2%	88
Benz(a)pyren	26%	< 30	98%	< 430	2%	85
Indeno(123cd)pyren	70%	< 103	92%	< 240	8%	87
Benz(ghi)perylene	70%	< 80	70%	< 85	30%	88

For de klorerede organiske forbindelser var de fleste under OSPARs QSR 2010-grænse for god tilstand, kun PCB-118 og p,p'-DDE forekom i niveauet, hvor der kan forekomme effekter i miljøet. Op til 75% af kongenerne for PCB var under detektionsgrænsen, for de fleste kongener var omkring 50% under detektionsgrænsen, mens det for PCB-153 og p,p'-DDE var omkring 20%. For HCBd var kun 10% over detektionsgrænsen op til 0,02 hhv. 0,04 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TS (ikke normaliseret), og der var kun 7 prøver over 0,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TS, med Flensborg og Skive Fjord som de højeste på 0,2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TS. Der er beregnet en PNEC (predicted no-effect concentration) på 24,4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ TS af den europæiske klor-alkali industrier (*Euro Chlor 2002*), så umiddelbart vurderes risikoen ved HCBd i det marine miljø at være ubetydelig.

For de bromerede flammehæmmere lå langt de fleste koncentrationer også omkring detektionsgrænsen, og kun i 44-51% af prøverne blev der påvist BDE-47 og BDE-99.

Der blev påvist dioxin i alle prøverne. Den mindst forekommende var 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin (2378-tcdd), som er påvist i 68% af

prøverne, de øvrige fandtes i 86-100% af prøverne. Vurderet efter SFT var alle prøverne i meget god tilstand, under 10 pg g⁻¹ WHO-TEQ for dioxiner og furaner.

Tabel 13.5. Klassificering af klorerede forbindelser i sedimenter efter OSPAR QSR 2010. Den øvre grænse for klasse II er angivet og udgør grænsen mellem god tilstand og mindre god (markant forurenede) tilstand.

	% under BAC	BAC µg kg ⁻¹	% under ERL	ERL µg kg ⁻¹	over ERL	n
PCB-28	51%	< 0,22	99%	< 1,7	1%	86
PCB-52	27%	< 0,12	99%	< 2,7	1%	86
PCB-101	14%	< 0,14	100%	< 3	0%	86
PCB-118	23%	< 0,17	83%	< 0,6	17%	86
PCB-138	7%	< 0,15	100%	< 7,9	0%	86
PCB-153	2%	< 0,19	100%	< 40	0%	86
PCB-180	15%	< 0,1	100%	< 12	0%	86
HCB	12%	< 0,05	100%	< 20	0%	86
γ-HCH	6%	< 0,05	100%	< 3	0%	51
p,p'-DDE	1%	< 0,05	94%	< 2	6%	86

Sammenfatning

- TBT er stadig allestedsnærværende i koncentrationer, der giver biologiske effekter og overskrider baggrundskoncentrationen i stort set alle områder af de danske farvande – både i sediment og muslinger.
- PAH'erne er den stofgruppe, der kan forventes at have næststørst effekt blandt de organiske forbindelser, specielt anthracen og benz(ghi)perylene, der er over ERL i 22-30% af sedimentprøverne, og benz(a)anthracen fandtes over EAC-værdien for muslinger i 10% af prøverne.
- De klorerede organiske forbindelser er generelt ikke problematiske, idet der ingen overskridelser var af EAC i muslinger og fisk, men PCB-118 findes over ERL i 17% af sedimentprøverne.
- For alle områder var HCB i muslingerne under EU's nye miljøkvalitetskrav fra 2008.
- Der blev påvist HCBD i sediment, men i lave koncentrationer op til ca. 10 gange detektionsgrænsen. Koncentrationerne var mindst 100 gange under en beregnet ingen-effekt koncentration (PNEC), så der forventes ingen effekter i miljøet af HCBD.
- BDE-47 blev påvist i alle muslinger og i op til 50% af sedimentprøverne, men alle tæt på eller under 10 gange detektionsgrænsen.
- Dioxiner var til stede i næsten alle prøver af muslinger og sediment, men i meget lave mængder, som ikke forventes at påvirke miljøet.

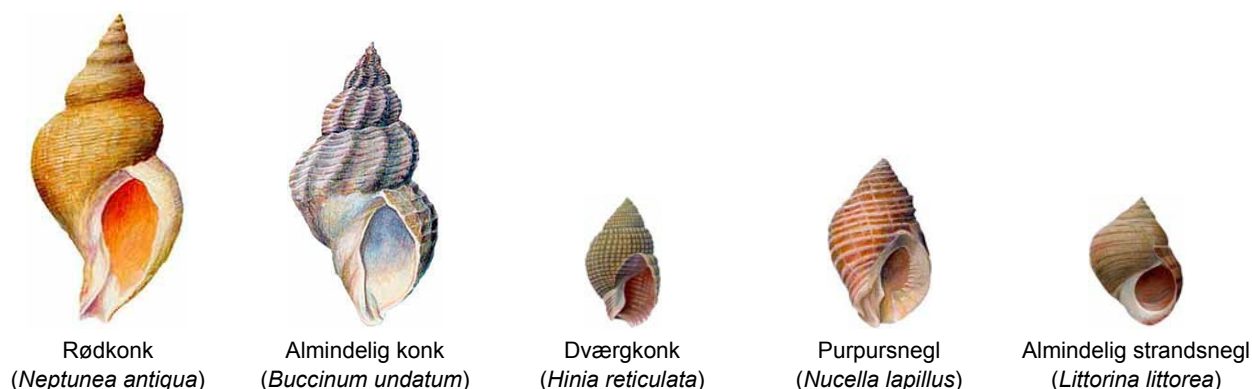
14 Biologisk effektmonitoring

Jakob Strand

Forskellige biologiske indikatorer kan anvendes til at vurdere, om miljøfarlige stoffer udgør en risiko for dyrelivet i vore farvande. I NOVANA-programmet 2008 er havsnegle, blåmuslinger og ålekvabber undersøgt, bl.a. ved brug af biomarkører, for at identificere tidlige tegn på skadelige effekter i individer af de undersøgte arter. De tidlige tegn på effekter har dog ikke nødvendigvis betydning på populationsniveau. Biomarkørerne anvendes som indikatorer for de rumlige og tidslige variationer i påvirkninger af både specifikke stofgrupper og blandinger af miljøfarlige stoffer. Nogle biomarkører er stofspecifikke, fx imposex og intersex som indikatorer for TBT-effekter i havsnegle og til dels CYP1A enzymaktivitet i fisk som markør for effekter af bl.a. PAH og dioxinlignende stoffer. Derimod 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.

Imposex og intersex i havsnegle

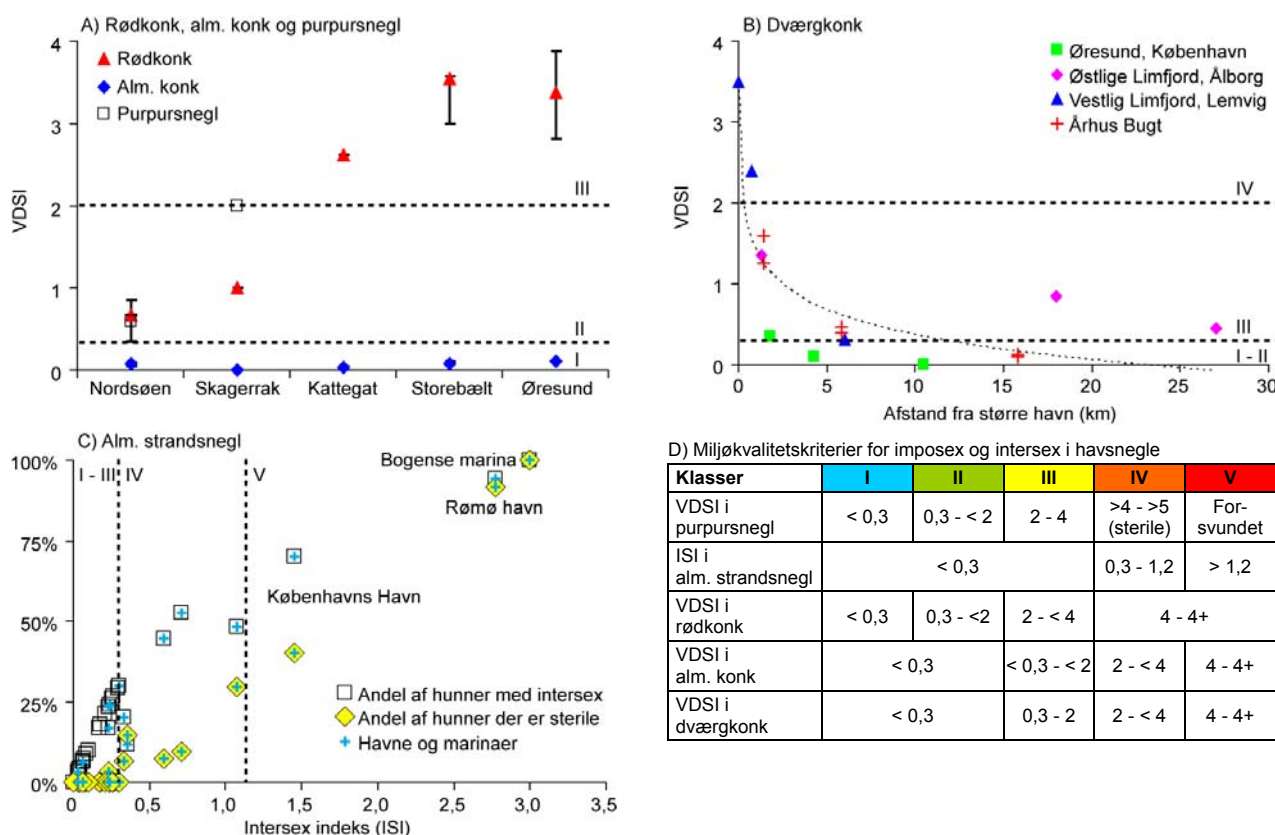
Forekomsten af imposex og intersex anvendes som biologiske markører for forurening med miljøgiften TBT, der bl.a. har været anvendt i skibsmaling. Denne type overvågning omfatter fem arter af havsnegle (figur 14.1) og er blevet udført siden 1998, både i de kystnære områder og de åbne farvande og har i årene 2007 og 2008 været inddraget både i NOVANA og i den regionale overvågning.



Figur 14.1. De fem arter af havsnegle som er anvendt til at overvåge biologiske effekter af TBT i de danske farvande.

Imposex og intersex er to forskellige måder, hvorved unaturlige hormonforstyrrelser kommer synligt til udtryk i ellers særkønnede havsnegle. Hunnerne begynder gradvist at udvikle irreversible hanlige køns karakterer, der i værste fald kan medføre sterilitet, hvilket kan have stor betydning for populationerne. Graden af imposex, der er udviklet i snegle fra et område, beskrives med indekssværdien VDSI, som er en midlet værdi af alle observerede imposexstadier. Tilsvarende beskrives graden af intersex med indekset ISI. I de undersøgte snegle er de maksimale værdier af VDSI og ISI 4,0.

Det skal bemærkes, at alle arter ikke er lige følsomme over for udvikling af de TBT-inducerede hormonforstyrrelser. Rødkonk og purpurnegl anses som hørende til blandt de mest følsomme arter, almindelig konk og dværgkonk tilhører mellemgruppen, hvorimod almindelig strandsnegl hører til blandt de mindst følsomme arter, se også tabellen i figur 14.2D.



Figur 14.2. Intensiteten af imposex og intersex (angivet som VDSI eller ISI) i populationer af havsnegle, hhv. A) rødkonk og, almindelig konk fra de åbne farvande samt purpurnegl fra Vestkysten, B) dværgkonk og C) almindelig strandsnegl fra de kystnære områder 2007-2008. D) Tabel med miljøkriterier I - V for imposex og intersex i havsnegle, hvor grænsen mellem klasse II og III angiver, om havmiljøet vurderes i god eller ikke tilfredsstillende miljøtilstand. Grænserne for kriterierne I - V er også vist på figurene A) - C).

Imposex i åbne farvande

Hos de mest følsomme arter af havsnegle er imposex stadigvæk almindeligt forekommende i de danske farvande, selv i åbne havområder.

Hos rødkonk har 33-50% af hunnerne (VDSI = 0,7-1,0) udviklet imposex i Nordsøen og Skagerrak. Til sammenligning er niveauerne stadigvæk markant højere med 93-100% af rødkonk (VDSI = 2,6-3,9) i Kattegat, Storebælt og Øresund (figur 14.2A). Heraf blev tre individer fra Storebælt og Øresund vurderet som sterile.

Hos den mindre følsomme art almindelig konk har derimod kun 0-17% (VDSI = 0-0,17) udviklet imposex i Nordsøen, Skagerrak og de indre farvande (figur 14.2A), og denne art er nu ikke længere så velegnet til at vurdere, om der forekommer effekter af TBT i de åbne farvande.

Imposex og intersex i kystnære farvande

Dværgkonk er undersøgt for imposex i Øresund, Århus Bugt, den østlige og vestlige Limfjord. Her har 0-100% (VDSI = 0-3,5) af hunnerne udviklet imposex med de højeste niveauer inden for få kilometers afstand fra den

nærmeste større havn. Kun i den smalle sejlrende ind til Ålborg er der stadigvæk forhøjede niveauer af imposex mere end 10 km væk fra de større havneområder (figur 14.2B).

Purpursnegl er undersøgt på tre hofde-stationer mellem Agger og Skagen på den jyske vestkyst, hvor 30-83% (VDSI = 0,4-2,0) har udviklet imposex (figur 14.2A). Ingen af disse var dog direkte sterile pga. imposex.

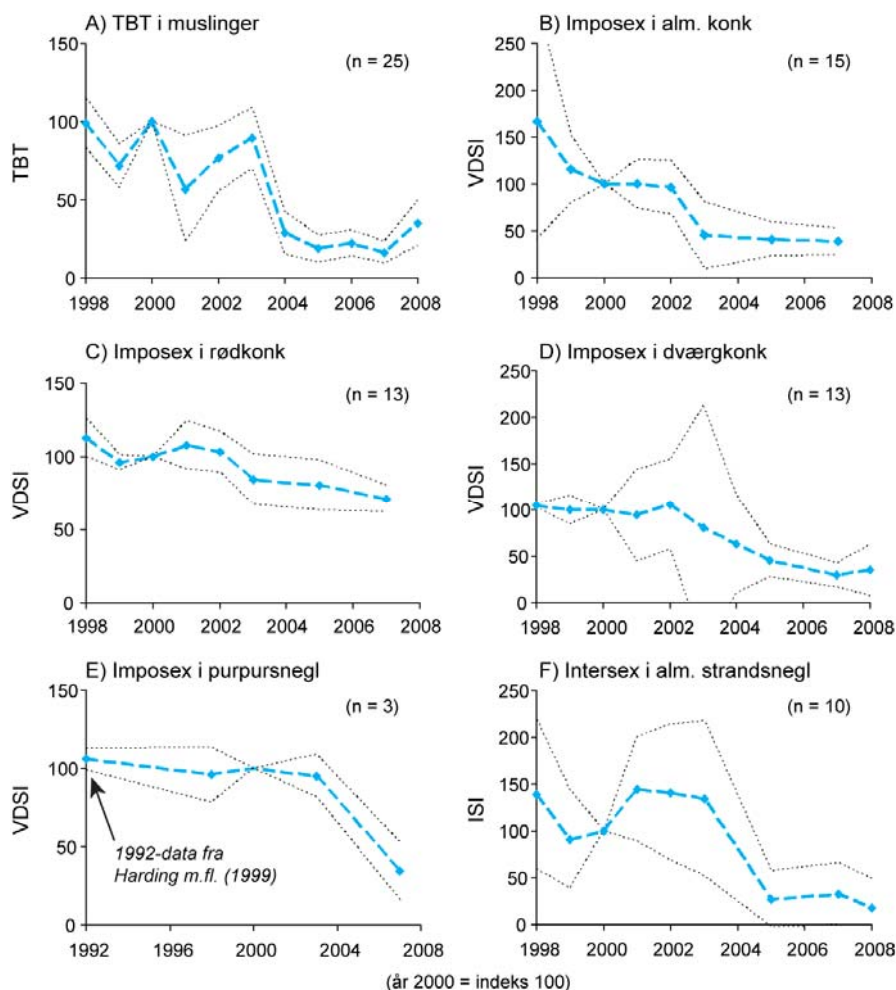
Almindelig strandsnegl er undersøgt for intersex omkring en række havne og marinaer i Sydjylland og Fyn samt én enkelt på Sjælland. De højeste niveauer af intersex (ISI = 0-3,0) forekom især i umiddelbar nærhed af havne, hvor også forureningen med TBT må forventes at være særlig høj, fx ved Bogense marina, Rømø havn og Københavns Havn. I disse havneområder er 40-100% af hunnerne sterile pga. fremskredne stadier af intersex, men da almindelig strandsnegl har pelagiske larvestadier, modsat mange konksnegle, kan de forholdsvis nemt genindvandre (figur 14.2C).

Figur 14.3. Indeks-baseret tidlig udvikling for TBT-niveauer og effekter i både kystnære og åbne danske farvande.

A) TBT-koncentration målt i blåmuslinger samt imposex og intersex i fem forskellige arter af havsnegle hhv. B) almindelig konk, C) rødkonk, D) dværgkonk, E) purpursnegl og F) almindelig strandsnegl.

Graferne viser medianværdier og 95% konfidensinterval for de enkelte år. Data for år 2000 er anvendt til fastsættelse af indeks 100 for hver station.

n angiver antallet af stationer inddraget i analysen af tidstrend.



Faldende niveauer af imposex og intersex i de danske farvande

Ligesom koncentrationen af TBT i muslinger (figur 14.3A) er niveauerne af imposex og intersex i alle de undersøgte fem arter af havsnegle fra både de åbne farvande og de mere kystnære områder aftaget markant i de seneste år. Faldet er i gennemsnit mellem 30 og 80% for hver art, når niveauerne i år 2000 er fastsat til indeks 100 (figur 14.2B-F).

De faldne niveauer af TBT-effekter i havsnegle må anses som værende en direkte konsekvens af udfasningen af TBT som antibegroningsmiddel i skibsmalinger, der for alvor begyndte for alle skibe i 2003 og som trådte i kraft med et endeligt forbud i 2008 (IMO 2009).

Miljøvurdering baseret på TBT- effekter i havsnegle

OSPAR anvender i dag miljøkvalitetskriterier udviklet for imposex og intersex i de fem undersøgte arter af havsnegle (*figur 14.2D*), som kan anvendes til at vurdere, om der forekommer uønskede effekter af TBT i havmiljøet. Grænsen mellem klasse II og III er sat til at angive, om havmiljøet vurderes i en god eller ikke tilfredsstillende miljøtilstand (*Strand m.fl. 2006; 2008; OSPAR 2008*).

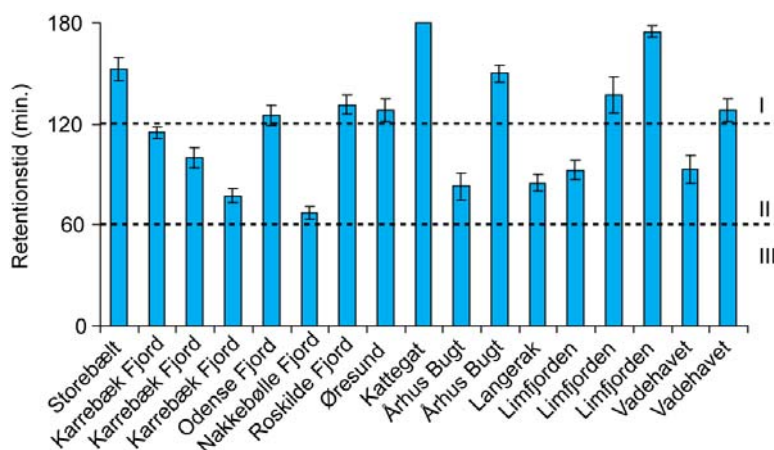
Baseret på disse miljøkriterier vurderes det, at i årene 2007-2008 blev en generel god miljøtilstand kun opnået i Nordsøen og Skagerrak. Niveauerne af imposex i rød Konk viser, at miljøtilstanden i de indre danske farvande må anses som ikke tilfredsstillende (klasse III). På den anden side viser undersøgelserne af almindelig Konk og dværgKonk, at en god miljøtilstand (klasse II) i dag generelt kan opnås i større afstand af havne og også i de indre farvande. Forskellen på disse vurderinger kan dels skyldes, at ved lave TBT-belastninger er effektniveauet i rød Konk højere og derved et mere præcist mål end i de mindre følsomme arter almindelig Konk og dværgKonk, hvor niveauet er tæt på baggrundsniveau, dels at rød Konk med en alder på 5-15 år lever længere end dværgKonk, hvorved rød Konk i højere grad afspejler effekter af de markant forhøjede TBT-niveauer, der fandtes i vore farvande for nogle år siden. Undersøgelserne af almindelig strandsnegl viser, at nogle havne og marinaer stadigvæk er meget forurenet med TBT, og miljøtilstanden her kan vurderes som decideret dårlig (klasserne IV og V). I andre havne og marinaer er effekter i strandsnegle dog meget lave, hvilket tyder på, at TBT ikke længere er et problem her. De generelt faldende niveauer af TBT i muslinger og imposex og intersex i havsnegle tyder på, at miljøtilstanden i denne henseende vil forbedres endnu mere i de kommende år.

Biologiske effekter i muslinger

I blåmuslinger (*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 hæmolymphe ('blod') at destabilisere. Undersøgelserne udføres på flere af de stationer, hvor der også indgår miljøfremmede stoffer og metaller i overvågningen, se *kapitel 12 og 13*.

Kun i ca. halvdelen af de 17 undersøgte områder (53%) synes blåmuslingerne at være upåvirkede (retentionstid > 120 min.). Derimod er der tegn på en mindre påvirkningsgrad (60-120 min.) i de resterende områder, fx Nakkebølle Fjord og Karrebæk Fjord (*figur 14.4*). Korrelationsanalyser viser dog ikke som i de tidligere år (fx *Strand m.fl. 2009a*) en sammenhæng mellem effektniveauerne og de målte koncentrationsniveauer af miljøfarlige stoffer som PAH og PCB i muslingerne.

Figur 14.4. Lysosomal membran-stabilitet i blåmuslinger fra forskellige kystnære områder 2008 (middel $\pm$ S.E.).



Biologiske effekter i ålekvalbe

Ålekvalbe (*Zoarces viviparus*) er siden 2004 anvendt i NOVANA som indikator for forekomst af effekter af miljøfarlige stoffer på kystnære fisk. Ålekvalbe er velegnet, da den anses som en stationær fisk og er vidt udbredt i danske kystnære områder. Yderligere er den levendefødende, hvor gravide hunner bærer op til 200 unger i et kuld. Hermed kan eventuelle effekter af miljøfarlige stoffer på ålekvalbens reproduktion – herunder forekomst af fejludviklede unger – let undersøges. De undersøgte effekter er ikke alle stof-specifikke men kan skyldes påvirkninger fra en række forskellige miljøfarlige stoffer – alene eller i kombination.

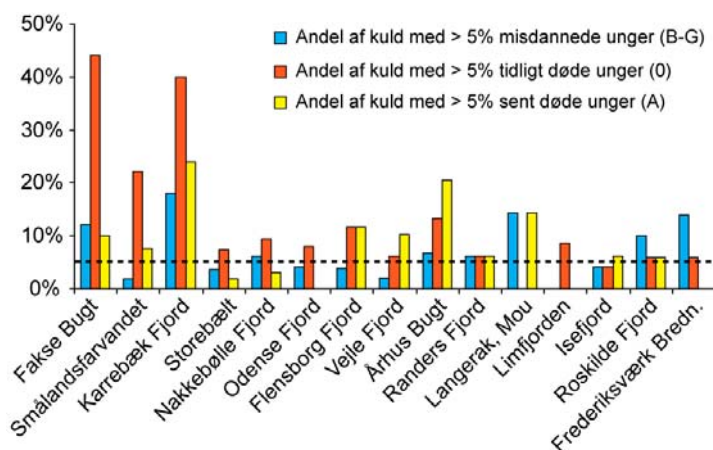
De voksne ålekvalber undersøges desuden for andre biologiske parametre. Udover almindelige mål som længde, lever- og gonade-somatisk indeks, undersøges de bl.a. også for aktiviteten af afgiftningenszymer (CYP1A, målt som EROD), som et mål for påvirkning af stoffer som PAH og dioxin-lignende stoffer.

Fejludvikling hos ålekvalbens unger

Flere typer af fejludviklede unger forekommer i kuld fra ålekvalben i de danske farvande, og især alvorlige misdannelser af indvolde, skelet (knæk og spiral), hoved, øjne og tilstedeværelse af siamesiske tvillinger kan tyde på en skadelig påvirkning af miljøfarlige stoffer. Karakteriseringen af typer af fejludvikling er beskrevet i NOVANA teknisk anvisning (*Strand & Dahllöf 2005*).

De hyppigste forekomster af misdannede unger (type B-G) blev i 2008 fundet i Karrebæk Fjord, Roskilde Fjord, Langerak og Fakse Bugt. Her havde 12-18% af kuldene en øget forekomst af misdannelser defineret ved > 5% af type B-G pr. kuld (*figur 14.5*). Derudover forekommer der også andre typer af fejludviklede unger, og især Fakse Bugt, Smålandsfarvandet, Karrebæk Fjord og Århus Bugt har forhøjede niveauer af hhv. tidligt døde unger (type 0) og sent døde unger (type A).

Figur 14.5. Andel af ålekvabbe-kuld med en øget forekomst (dvs. > 5%) af fejludviklede unger, hhv. som synligt misdannede unger (type B-G), tidligt døde unger (type O) og sent døde unger (type A).



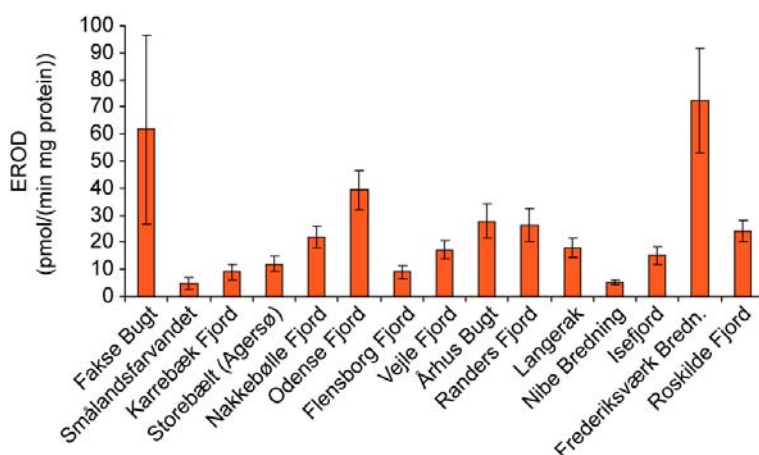
De fleste områder med øgede forekomster af misdannede unger er generelt kendetegnet ved at være kystnære områder med en øget menneskelig påvirkning fra byer og industri. Det er derfor sandsynligt, at disse effekter skyldes påvirkning af miljøfarlige stoffer, herunder dioxin, PAH, eller tungmetaller (Stuer-Lauridsen m.fl. 2008).

Aktiviteten af afgifts-enzymet (CYP1A)

I alle fisk findes CYP1A afgifts-enzymet, som indgår i den oxidative nedbrydning, kaldet fase-I-enzymet. 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 enzymaktiviteten, bl.a. af CYP1A-systemet (målt som EROD-aktivitet), brugbar som biomarkør.

De højeste CYP1A-aktiviteter forekom ligesom i 2007 i ålekvabber fra Frederiksværk Bredning og Odense Fjord, hvorimod i Fakse Bugt var enzymaktiviteten flere gange større sammenlignet med 2007. Der er tidligere påvist forhøjede forureningsniveauer i både Odense Fjord og Frederiksværk Bredning, hvorimod effekt-niveauet i ålekvabber fra Fakse Bugt er vanskeligere at forklare. De laveste enzymaktiviteter forekom i Smålandsfarvandet, Karrebæk Fjord, Storebælt, Flensborg Fjord og Nibe Bredning (figur 14.6).

Figur 14.6. EROD-aktivitet som mål for CYP1A enzymaktivitet i leveren fra hunner af ålekvabbe i kystnære områder (middel ± S.E.).



Andre effektundersøgelser i ålekvalbe

Udover de beskrevne effekter tyder data på, at der også forekommer en række andre påvirkninger i ålekvalbe-populationer i de danske farvande. En nyligt publiceret undersøgelse omkring dioxin-niveauer, PAH-metabolitter, CYP-ekspression, intersex og populationsgenetik i ålekvalbe ved flere af de faste NOVANA-stationer viser, dels at miljøfarlige stoffer akkumuleres i ålekvalbe og dens unger, dels at ålekvalbe er udsat for andre typer af effekter som fx intersex i hanfiskens testikler – et tydeligt tegn på østrogenlignende hormonforstyrrelser (*Strand m.fl. 2009b*). Om disse hormonforstyrrelser også har en sammenhæng til forekomsten af bl.a. misdannede unger vil blive belyst i fremtidige projekter.

Ålekvalbe og effekter af andre miljøfaktorer

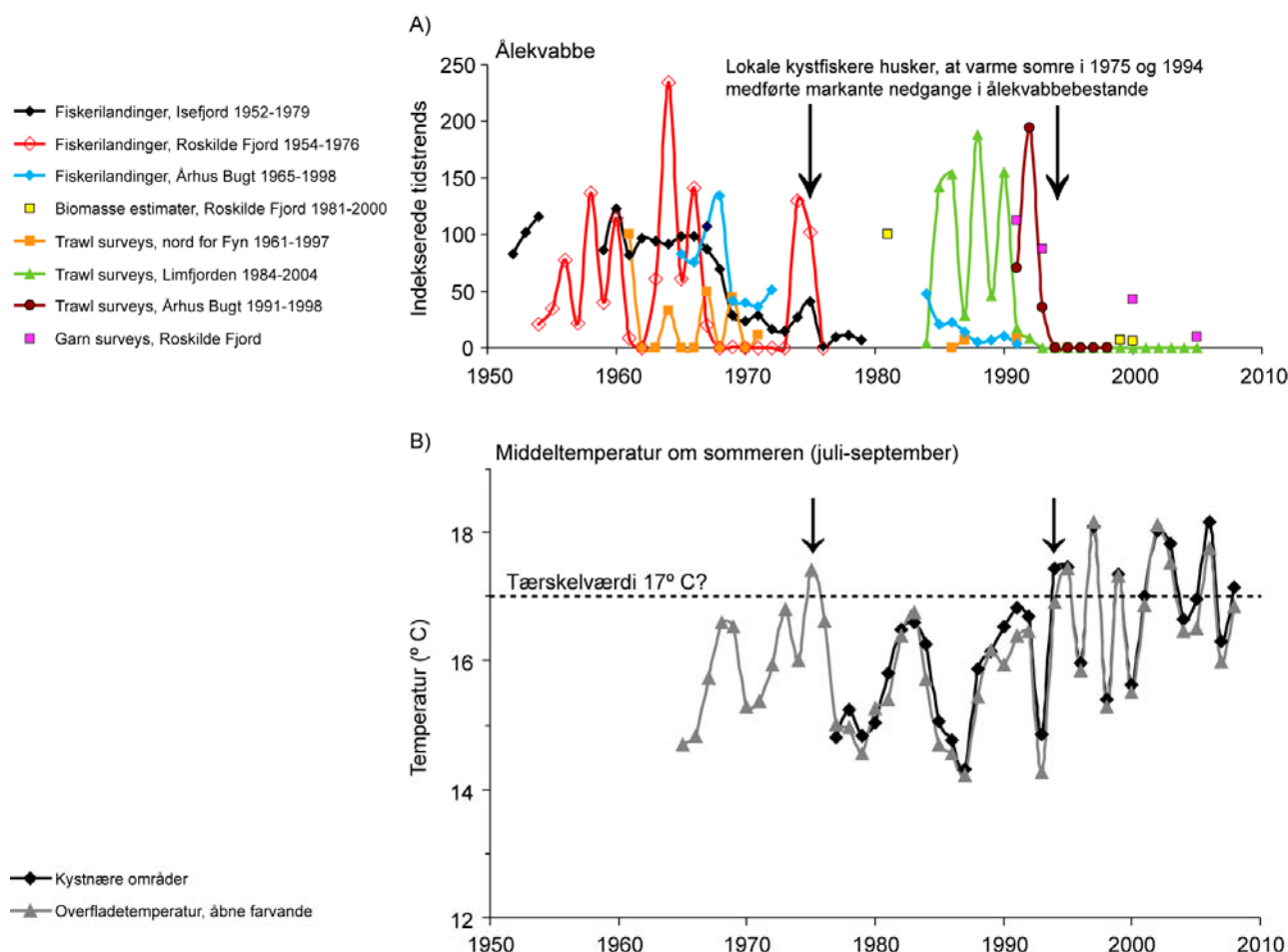
Ud over at være påvirket af miljøfarlige stoffer synes ålekvalbe også at være følsom overfor en række andre stressfaktorer. Der er tidligere spekuleret i, om forekomsten af sent døde unger (type A) i kuld kan relateres til udbredte iltsvindshændelser, fx som i 2002 da ungerne syntes at være mere følsomme end de voksne fisk (*Strand m.fl. 2004*).

Senere undersøgelser har også vist, at ålekvalben kan være særlig følsom overfor stigende vandtemperaturer, da temperatur har stor betydning for fiskenes fysiologiske kapacitet til at optage ilt fra vandet. *Pörter & Knust (2007)* har i en artikel i tidsskriftet *Science* vist, at vandtemperaturer over 17° C kan medføre alvorlige begrænsninger i deres iltoptag, metabolisme og respiration, som i sidste ende kan medføre massedød blandt ålekvalbe. I samme undersøgelser sættes markante bestandsnedgange i det tyske Vadehav i forbindelse med en øget vandtemperatur induceret af klimaforandringer.

Tilsvarende har danske kystfiskere fx i Roskilde Fjord bemærket, at varme somre i 1975 og 1994 medførte kraftige bestandsnedgange og endda massedød hos ålekvalbe (*Frederiksborg Amt 2003*). Før i tiden blev der faktisk årligt fanget adskillige tons ålekvalbe i Danmark, hvor man brugte dem dels til human konsum, dels som madding i fx ålefiskeri. Forskellige opgørelser af fiskerilandinger og fangstopgørelser fra trawl- og garnundersøgelser i forskellige kystnære områder i Danmark indikerer også, at de danske ålekvalbebestande er gået kraftigt tilbage de senere år. Opgørelser fra fiskerilandinger er dog ikke så brugbare i analyser af tidsserier udover at give indtryk af, hvor almindelig ålekvalbe var i de danske farvande i perioden 1950-1975. Derimod er trawlundersøgelser udført af DTU Aqua mere kvantitative ift. fangstindsats, og disse undersøgelser viser, at der fanges markant færre ålekvalbe – hvis overhovedet nogen – i årene efter 1994 bl.a. i Limfjorden, Århus Bugt og Nord for Fyn (*figur 14.7A*). Nedgangen i bestandene synes at være startet inden 1994, men de flere varme somre efter 1994 kan være en medvirkende årsag til, at ålekvalbebestandene fortsat er i bund, men derudover kan andre forhold, fx en nedsat reproduktiv succes, også være vigtig i denne sammenhæng.

Siden 1965 har særligt året 1975 og flere andre år efter 1994 fremvist gennemsnitlige vandtemperaturer om sommeren (juli til september) over netop 17° C i de danske farvande (*figur 14.7B*), hvilket underbygger, at det er en form for tærskelværdi for ålekvalbe, som det er fremhævet i den tyske undersøgelse.

Derved fremgår det, at også danske bestande af ålekvalder kan være særligt følsomme overfor varme vandtemperaturer om sommeren, lige som tilfældet er i det tyske Vadehav. Det åbner op for, at undersøgelser af ålekvalder ikke kun kan anvendes som indikator for effekter af miljøfarlige stoffer men også som en indikatorart, der kan integrere effekter af forskellige miljøfaktorer – herunder aktuelle klimaforandringer i de danske farvande.



Figur 14.7. A) Relative opgørelser over fiskerilandinger og trawl- og garnfangster i forskellige kystnære områder i perioden 1952-2005. Data er sammenstillet fra opgørelser i forskellige danske undersøgelser, fx Hoffmann (2005). B) Den gennemsnitlige vandtemperatur om sommeren (juli til september) i hhv. kystnære områder og overfladevand i åbne farvande i perioden 1965-2009.

Sammenfatning

- Imposex og intersex i havsnegle, som skyldes forurening med stoffet TBT, er stadigvæk almindeligt forekommende i de danske farvande, selv i de åbne farvande.
- Baseret på OSPARs miljøkriterier for imposex og intersex kan det vurderes, at en generel god miljøtilstand kun opnås i Nordsøen og Skagerrak. Niveauerne i de indre danske farvande må generelt anses som ikke tilfredsstillende og decideret dårlig omkring visse forurenede havne og marinaer.
- Både niveauerne af imposex og intersex i havsnegle samt koncentrationen af TBT i muslinger er dog faldet markant de seneste år, hvilket tyder på, at miljøtilstanden i denne henseende vil forbedres endnu mere i de kommende år.

- Undersøgelser af den lysosomale membranstabilitet i blåmuslinger tyder på, at muslinger i ca. halvdelen af de undersøgte kystnære områder er påvirket af miljøfarlige stoffer.
- Ålekvalper har vist betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem områder, både mht. CYP1A-enzymaktivitet og forekomst af misdannede unger. For CYP1A forekommer de højeste effektniveauer generelt i kystnære områder, hvor der generelt er en øget belastning af organiske miljøfarlige stoffer som PAH og PCB. Hormonforstyrrelser er også udbredt i ålekvalper i de danske farvande. Der kræves dog yderligere kemiske og biologiske undersøgelser af ålekvalper og deres reproduktion for at identificere de stoffer, der kan være årsag til de observerede misdannelser.
- Danske ålekvalpebestande tyder på at være særligt følsomme over for høje vandtemperaturer om sommeren lige som i det tyske Vadehav. Det muliggør, at undersøgelser af ålekvalper ikke bare kan anvendes som indikator for effekter af miljøfarlige stoffer, men også som en indikatorart, der kan integrere effekter af forskellige presfaktorer – herunder aktuelle klimaforandringer i de danske farvande.

Del 3 – Sammenfattende diskussion

Morten Hjorth

De danske farvande ligger i overgangszonen mellem den brakke Østersø og den salte Nordsø. Det giver et vidt spænd af forskellige marine økosystemer fra små lukkede nor med stillestående vand og lav saltholdighed til åbne farvandsområder med høj saltholdighed og stor gennemstrømning. 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 og tab af forurenede stoffer til havet (se *Del 1*). Hertil kommer yderligere aktiviteter på havet i form af erhvervsfiskeri, akvakultur, skibstrafik, ral- og sandsugning, brobyggeri, klapning samt olie- og gasudvinding.

Det danske overvågningsprogram er tilrettelagt med fokus på de mest betydende påvirkningsfaktorer og effekter, først og fremmest 1) eutrofiering, inkl. fysiske forhold og modellering, 2) biodiversitet og naturtyper og 3) miljøfarlige stoffer og biologisk effektmonitoring.

NOVANA-programmet gør det muligt at beskrive tilstanden og udviklingen i miljø- og naturforholdene, samt gøre rede for, om miljømålsætningerne for de forskellige farvandsområder er opfyldt, dels fordi overvågningen er koordineret og landsdækkende, dels fordi alle metoder og procedurer for prøvetagning, analyser, dataoverførsel og rapportering er velbeskrevet og veldokumenteret. Hertil kommer, at NOVANA dækker miljø- og naturforholdene i bredeste forstand og de påvirkninger de udsættes for.

Den viden, som dokumenteres i kraft af overvågningsprogrammet, er helt afgørende for den kontinuerte vurdering af effektiviteten af de politisk besluttede handlingsplaner. Kun med et fagligt afbalanceret og geografisk dækkende overvågningsprogram er det muligt at bibeholde en vidensbaseret forvaltning af de danske kystvande og åbne havområder.

Den følgende sammenfattende beskrivelse af miljø- og naturtilstanden i de marine områder giver et landsdækkende billede af situationen i 2008 samt udviklingen siden vedtagelsen af Vandmiljøplan I. Årsagerne til den nuværende miljø- og naturtilstand i de marine områder diskuteres.

15 Tilstand og udvikling

Morten Hjorth & Alf Josefson

Sammenfatning

Den følgende sammenfattende beskrivelse af miljø- og naturtilstanden i de marine områder giver et landsdækkende billede af situationen i 2008 samt udviklingen siden iværksættelsen af Vandmiljøplan I.

Vejrforhold og hydrografi

Temperaturen i de danske farvande er steget mere end 1° C i løbet af de sidste 40 år, og 2008 er sammen med 2007 de hidtil varmeste år for overfladevandet i både fjorde, kystnære områder og de indre danske farvande. Tendensen er den samme for bundvandet i de indre danske farvande, som i 2008 var karakteriseret ved at have den tredje højeste temperatur registreret. Især en meget solrig maj opvarmede overfladevandet mere end normalt, hvilket også påvirkede temperaturene i bundvandet senere på sommeren.

Forårs månederne var præget af indtrængende vandmasser fra Den jyske Kyststrøm til Kattegat og Storebælt.

Næringsstofftilførsler og koncentrationer

Den beregnede totale kvælstofdeposition fra atmosfæren var i 2008 6% lavere end i 2007. Faldet skyldes primært mindre nedbørsmængder i 2008 end i 2007. Der er imidlertid stor forskel mellem de enkelte farvande. Således ses en stigning i depositionen på 15% for Skagerrak, mens der ses et fald på 11-14% for Nordsøen, Storebælt og Østersøen. Der er sket en reduktion i den atmosfæriske kvælstofbelastning af havmiljøet på ca. 28% for perioden 1989-2008 primært på grund af ændret landbrugspraksis i en række lande, ibrugtagning af katalysatorer, rensning af røggasser m.m.

Året 2008 var generelt et normalt år i forhold til næringsstofkoncentrationer, dog med de hidtil laveste kvælstofkoncentrationer i sommerperioden. Afstrømningen til de indre danske farvande var noget lavere i 2008 end i 2007, men dog tæt på normalen med 9.100 mio. m³ sammenlignet med gennemsnitligt 8.700 mio. m³ i de foregående 19 år.

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var generelt lave med de hidtil laveste i juli-september for DIN og juni-september for TN på grund af en relativ lav afstrømning i forårs- og sommerperioden sammen med faldende kvælstofkoncentrationer i ferskvand. I de åbne farvande var kvælstofkoncentrationerne ligeledes lave i 2008 med det hidtil laveste registrerede niveau for TN i oktober måned. Det samme mønster gjorde sig gældende for fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder, som var relativt lave året igennem og med oktober måneds indhold som det hidtil laveste registrerede niveau for TP. Derimod var fosforkoncentrationerne i de åbne farvande ca. 5-10% over niveauet for de tidligere år, mest udpræget for DIP.

Kvælstof- og fosforkoncentrationerne har udvist klart faldende tendenser siden 1989 som en positiv effekt af Vandmiljøplan I for fosfor og Vandmiljøplan I og II for kvælstof. Tilsvarende initiativer i vore nabolande

kan have medvirket til de lavere koncentrationer i de åbne farvande. Koncentrationsfaldet har dog vist en tendens til stagnation for fosfor efter 1997 og et mindre fald for kvælstof siden 2002.

For de øvrige næringssalte, der indgår i overvågningen, er det værd at bemærke, at uorganisk fosfor- og siliciumkoncentrationer i bundvandet for de indre danske farvande er steget i de senere år. Dette skyldes et mindre forbrug af algerne på grund af øget kvælstofbegrænsning og samtidig frigivelse fra sedimenterne, foruden at forholdet mellem nærings-saltene i Østersøen og måske også Nordsøen har ændret sig.

Planktonalger og sigtdybde

Sigtdybden i de åbne farvande havde i 2008 det laveste årsgennemsnit siden indførelsen af vandmiljøplanerne. Den gennemsnitlige sigtdybde faldt i de åbne farvande fra juli og frem til september og oktober, hvor årets laveste sigtdybde optrådte. Som en kontrast hertil blev der i 2008 observeret den hidtil laveste målte gennemsnitlige klorofylkoncentration i fjordene på $3 \mu\text{g l}^{-1}$, som er næsten $1 \mu\text{g l}^{-1}$ under den gennemsnitlige koncentration. Selv i forårmånederne var klorofylkoncentrationerne meget lave og årets laveste koncentration blev målt i september. Primærproduktionen i de åbne farvande udviklede sig med flere usædvanlige spring end normalt, hvor den højeste produktion i 2008 var i september. Årets samlede produktion lå på normalt niveau både for de åbne farvande og i fjordene.

Biomassen af kiselalger var i 2008 på niveau med 2007 og i de åbne farvande svarende til langtidsgennemsnittet for 1989-2008, mens den i fjordene var en smule lavere end gennemsnittet for 1989-2008. Der er igen overvågningsperioden sket ændringer i sammensætningen af planktonalgerne. Kiselalgernes bidrag til den samlede planktonalgebiomasse har varieret fra år til år (specielt i de åbne farvande), men med en signifikant stigning i alle områder.

Kun meget få potentielt toksiske alger er registreret i høje koncentrationer i 2008. Der blev dog fundet PSP-toksiner i muslinger fra Hvalpsund i Limfjorden i april-maj, hvilket er usædvanligt. I Limfjorden forekom dinoflagellaten *Alexandrium pseudogonyaulax* for første gang og i koncentrationer helt op til 18.000 celler l^{-1} . Denne forekomst var dog ikke knyttet til registreringerne af PSP-toksiner i muslinger.

Iltsvind

Iltsvindene var af lidt kortere varighed og mindre udbredte i 2008 end i perioden 2003-2006 bl.a. pga. jævnlige hændelser med kraftig vind. Udbredelsen af iltsvind i august var på 2.700 km^2 mod 5.400 km^2 på samme tid året før. I september 2008 opstod et udbredt iltsvind i det sydlige Kattegat og i de dybe dele af Bælthavet, og iltsvindet dækkede således et areal på 6.966 km^2 . Arealet berørt af kraftigt iltsvind, som hovedsageligt optrådte i det sydlige Bælthav, blev næsten firedoblet sammenlignet med august og dækkede 1.996 km^2 og var dermed større end i 2007. Iltsvindet nåede sin maksimale udbredelse i starten af oktober, hvorefter iltforsvundne gradvist blev bedre, og i midten af november var der kun iltsvind i afgrænsede områder i Øresund, Mariager Fjord og i Bornholmsdybet.

Bundvegetation og bunddyr

Gennem perioden 1989-2008 rykkede ålegræssets maksimale dybdegrænse ind på lavere vand i inderfjordene, og ålegræsset dækkede generelt en mindre del af fjordbunden på lavt vand (1-2 m), på mellemdybder (2-4 m) og på lavt vand i de åbne områder. Faldet i tilførsel af næringsstoffer har altså, mod forventning, endnu ikke forbedret ålegræssets udbredelse i vore farvande. Det kan hænge sammen med, at vandet ikke er blevet klarere gennem overvågningsperioden. Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var signifikant ringere end gennemsnittet for perioden 1994-2001. Nedgræsning af tangskoven forårsaget af søpindsvin er fortsat et problem på mange rev i Bælthavet, og det er muligvis også ved at gøre sig gældende på dele af Store Middelgrund i Kattegat.

Den negative udvikling i bundfaunaen i de åbne havområder har stået på siden midt i 1990'erne. Data fra 2008 bekræfter, at denne negative udvikling fortsætter og ydermere viser regionale data fra 2005-2008, som ikke tidligere har været inddraget i analyserne, at forringelsen er et generelt fænomen i de indre danske farvande. Det er overvejende sandsynligt, at der er en fælles årsag til denne entydige udvikling i de danske farvande. Den er imidlertid endnu ukendt. De fleste stationer har ikke været påvirket af iltsvind i et omfang, der kan forklare de senere års reduktion i artsdiversiteten, hvilket også underbygges af, at tolerante arter ikke er blevet mere dominerende. Andre mulige årsager til forringelsen kan være en generelt lavere fødetilgang som følge af en reduceret tilgang til primærproduktion. Dette kan være en direkte konsekvens af svagt faldende niveauer, eller af at stoftransporten til bunden er reduceret som følge af øget omsætning af organisk materiale i vandsøjlen forårsaget af højere vandtemperaturer.

Vandfugle og marine pattedyr

De dominerende arter af dykænder i de indre danske farvande var ederfugl, sortand og troldand. Ederfuglebestanden er på retur i Danmark af ukendte årsager, men ændringer i kvaliteten af deres fødeemner, øget prædation fra ræve og sygdomsepidemier menes at spille en rolle. Af andre arter ses der mindre bestande af lommer, havlit og alkefugle. Bestandene af spættet sæl har været i fremgang siden jagt blev forbudt i 1977. I de senere år har der været udbrud af virusepidemier, der har halveret antallet og vækstraterne på populationerne er faldende. Det kan være tegn på, at de er ved at nå deres bærekapacitet. Gråsæl forekommer kun regelmæssigt på få lokaliteter i Kattegat, Østersøen og Vadehavet og udgør kun en meget lille bestand, selv om der er indikationer på begyndende yngel. Viden om tilstandene hos danske tandhvaler er stærkt begrænset, men marsvin har været optalt flere gange i de senere år og de undersøgelser viser en alarmerende tilbagegang på næsten 40% - en udvikling der bør følges nøje.

Miljøfarlige stoffer

20-40% af sedimentprøverne i 2008 ligger over baggrundsniveau efter OSPARs vurderingskriterier med hensyn til As, Ni, Zn, Pb, Cu og Cr. Indholdet af Cd og Hg er i 70% af sedimentprøverne over baggrundsniveauet og specielt de indre danske farvande har forhøjede niveauer. I disse områder overskrider 10-20% af prøverne desuden de amerikanske fastsatte tærskelværdier (ERL), hvorved der vurderes at være en risiko for skadelige effekter i havmiljøet. Hg findes også i så høje koncentrationer i

muslinger og fisk, at 40% af muslingeprøverne og næsten alle fiskeprøver (85-95%) ikke overholder EU's miljøkvalitetskriterium for Hg, som trådte i kraft ved årsskiftet 2008-2009, men de overskrider ikke EU's fødevarekriterium. I Karrebæk Fjord overskrides EU's fødevarekrav for Pb i sandmuslinger. Mængden af kobber i muslinger vurderes i flere områder som markant forurenet jf. internationale vurderingskriterier. Kobber i vandmiljøet kommer fra biocider i bundmaling og fra dambrug samt diffuse tilførsler fra land.

Af øvrige miljøfarlige stoffer udgør forurening med TBT og PAH'er de største problemer. På trods af forbud er TBT stadig allestedsnærværende i koncentrationer, der forårsager imposex og intersex i havsnegle i stort set alle områder af de danske farvande. Baseret på OSPARs miljøkriterier vurderes det, at en generel god miljøtilstand kun opnås i Nordsøen og Skagerrak. I de indre danske farvande er niveauerne generelt ikke tilfredsstillende og decideret dårlig omkring visse forurenede havne og marinaer, men der er faldende tendenser som tyder på, at miljøtilstanden i denne henseende vil forbedres endnu mere i de kommende år.

I 22-30% af sedimentprøverne i 2008 og i 10% af alle muslingeprøver var indholdet af visse PAH'er over ERL- og EAC-værdier. Mængden af chlorerede organiske forbindelser er generelt ikke problematiske, dog findes CB-118 over ERL i 17% af sedimentprøverne. Den bromerede flammehæmmer BDE-47 blev påvist i alle muslinger, og i op til 50% af sedimentprøverne, men var i alle tilfælde tæt på eller under 10 gange detektionsgrænsen. Ligeledes var der dioxiner i næsten alle prøver i meget lave mængder. Udover de biologiske effekter af TBT beskrevet ovenfor viser undersøgelser af andre biologiske effekter, at muslinger i ca. halvdelen af de undersøgte kystnære områder er påvirkede af miljøfarlige stoffer. Biologiske effekter i ålekvarter og deres yngel viser betydelige forskelle mellem områder, hvor kystnære områder, som har en øget belastning af organiske miljøfarlige stoffer som PAH og PCB, er hårdest ramt. Andre undersøgelser antyder, at hormonforstyrrelser er udbredt i ålekvarter i de danske farvande, men der kræves dog yderligere kemiske og biologiske undersøgelser for at identificere de stoffer, der kan være årsag til de observerede misdannelser.

Diskussion

Det danske havmiljø er under stadig påvirkning af menneskelige aktiviteter, både direkte i form af udledning af næringssalte og miljøfarlige stoffer, og indirekte ved klimaforandringer. De direkte påvirkninger har været undersøgt grundigt de senere år og tilførsler og mængder af udledte næringssalte og miljøfarlige stoffer har været overvåget og til dels reguleret gennem vandmiljøplanerne. Disse tiltag har blandt andet afspejlet sig i de hidtil laveste målinger af totalt kvælstof i vore farvande i 2008. Andre næringssalte viser stagnerende eller svagt stigende tendenser.

Som følge af de lavere næringssaltskoncentrationer burde det kunne forventes, at primærproduktionen falder og i takt med et fald i biomassen af planktonalger ville det kunne lede til forbedringer af parametre som fx sigtddybden og ålegræsudbredelse. Dette understøttes ikke entydigt i de data, der præsenteres i denne rapport. Årets totale primærproduktion er på normalt niveau, på trods af at de observerede klorofylkoncentrationer har været rekordlave igennem året, med den hidtil laveste registrerede koncentration i vore fjorde på $3 \mu\text{g l}^{-1}$ svarende til en reduktion på

næsten 25% i forhold til den gennemsnitlige koncentration. I kontrast til disse observationer står den hidtil lavest målte sigtddybde i vore åbne farvande siden vandmiljøplanernes indførelse. Årsagen til dette paradoks er uklar og kan ikke udredes med de data, overvågningen leverer. Sigtdybde er påvirket af andre faktorer ud over klorofylkoncentrationer, blandt andet har tilførslen af organisk stof fra land og resuspension af bundmateriale indflydelse på sigtdybde. Viden om disse parametres udvikling og variation i tid og rum kan med fordel inddrages i overvågningsprogrammet for at opnå en bedre forståelse af årsager og sammenhænge.

Sammensætningen af fytoplankton viser også tendenser til at ændre sig mod en større dominans af kiselalger. Konsekvensen heraf er ikke åbenbar med de tilgængelige data, men forandringer i artssammensætninger kan påvirke fødekvaliteten af fytoplankton for højere trofiske niveauer, ligesom respiration og transporten af organisk stof fra de frie vandmasser til bunden kan påvirkes. Muligvis vil disse forandringer kunne brede sig til andre trofiske niveauer såsom zooplankton.

Forandringer i økosystemer behøver ikke kun være et resultat af en tilpasning til ressourcer som fx tilgængeligheden af næringssalte. I Østersøen har det intensive fiskeri efter torsk påvirket fødenettet og fremkaldt et skift i dominansen af fiskearter og planktondynamikken (*Casini m.fl.* 2008). Hvorvidt sådanne mekanismer påvirker de danske farvande, kan ikke påvises igennem overvågningsdata, men tendenser som øget græsning af søpindsvin på makroalger tyder på ændringer i prædationstryk.

Ålegræs har heller ikke responderet positivt på faldet i næringssalte, men i dette tilfælde kompliceres billedet yderligere af, at udbredelsen også er afhængig af iltsvind og lysforhold. Samtidigt kan mindre udbredelse af ålegræs føre til øget suspension af sediment, der ikke længere fastholdes af ålegræssets rodsystemer, og som derved yderligere kan forværre lystilgængelighed og sigtdybde. Den ringe sigtdybde har muligvis også haft konsekvenser for udbredelsen af makroalger på stenrev, som i 2008 har været signifikant lavere end gennemsnittet for perioden 1994-2001, hvilket ikke var tilfældet i 2007.

Resuspension af materiale fra sedimenter kan som nævnt influere på sigtdybden. Kombinationen af mange års høj organisk produktion der synker til bunds og gentagne udbredte iltsvindshændelser kan føre til en forstærkende negativ påvirkning af sigtdybde. Iltsvind reducerer nedbrydningen og indarbejdelsen af det organiske stof i havbunden af bunddyr og kan derved gøre det nemmere at få resuspenderet.

I 2008 var vandtemperaturerne de hidtil varmeste i både fjorde, kystnære områder og de indre danske farvande og følger dermed tendensen fra 2007. Det kan få betydning på flere områder. Den forøgede temperatur bevirker sandsynligvis, at en forholdsvis større del af planktonproduktionen bliver respireret i vandsøjlen og hvis klorofylkoncentrationen forbliver uændret eller lidt faldende, kan det betyde, at tilførslen af føde til bundsamfundene mindskes. Begrænset føde kunne forklare en del af de observerede fald i for eksempel individtæthed og artsantal af bundfaunaen.

Iltsvindssituationen i 2008 var bedre end de foregående år, primært på grund af jævnlige hændelser med kraftig vind. Reducerede fytoplank-

tonmængder og øget temperatur virker, isoleret set, i forskellige retninger i forhold til iltvind. Lavere koncentrationer af fytoplankton fører til mindskede mængder organisk materiale, hvorved iltforbruget ved mikrobiel respiration mindskes. Omvendt vil stigende temperaturer øge respirationen og dermed iltforbruget. I et større perspektiv kan en generel temperaturstigning på mellem 2 og 6 grader forventes i løbet af dette århundrede, hvilket vil føre til markant lavere iltkoncentrationer i bundvandet i de indre danske farvande (*Dahl og Josefson 2009*). Selv hvis eutrofieringen i fremtiden fastholdes på det nuværende niveau, vil en temperaturstigning på 3 grader medføre en reduktion i iltkoncentrationen i bundvandet på ca. 1 mg l⁻¹ i september. Det kan medføre, at arealudbredelsen af iltvind bliver 2-3 gange større end i dag, og at 10-20% af de indre danske farvande hvert år vil blive ramt af kraftigt iltvind.

Niveauerne af en række miljøfarlige stoffer er i mange områder på et niveau, hvor der kan forekomme skadelige effekter i det danske havmiljø. Det gælder tungmetallerne kviksølv, cadmium og kobber, tjærestofferne PAH (især anthracen) og for miljøfremmede stoffer især 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 afgiftningsevenzymer hos ålekvabbe.

Miljøfarlige stoffer kan også påvirke de indikatorer, der traditionelt anvendes til påvisning af effekter af eutrofiering, dvs. primærproduktion, klorofylkoncentration og artsdiversitet. De fysisk-kemiske forhold kan have betydning for, hvordan miljøfarlige stoffer opfører sig i miljøet, deres transport gennem systemet og dermed i sidste ende for deres potentielle effekt og tilgængelighed for dyr og planter. En organismes placering i fødenettet har også betydning for dens optagelse og akkumulering af visse miljøfarlige stoffer samt dens følsomhed over for indirekte effekter af stofferne.

Det er almindeligt kendt, at forskellige arter af fytoplankton har forskellig følsomhed over for det samme miljøfarlige stof, og at tilgængeligheden af farlige stoffer er afhængig af det miljø, de udledes til (fx graden af eutrofiering). De miljøfarlige stoffer kan desuden påvirke spredning og vækst af fx ålegræs og bunddyr og derved ændre omsætningsvejene for energi og næringsstoffer. Endelig forstærkes effekterne af eutrofiering og miljøfarlige stoffer sandsynligvis af klimaudviklingen.

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 næringsstofudledningerne. Indikatorer som ålegræssets udbredelse (*kap. 9*) og eventuelt også ålekvabbers bestandsstørrelse og sundhedstilstand (*kap. 14*), der integrerer mange presfaktorer, er nyttige redskaber til at følge udviklingen mere detaljeret. 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.

16 Ordliste

Ordlisten er baseret på NPO-redegørelsen (*Miljøstyrelsen 1984*), temarapporterne om zooplankton (*Nielsen & Hansen 1999*), giftige alger (*Kaas m.fl. 1999*), 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 – Baggrundsvurderingskriterie. Statistisk vurdering af om koncentrationen af et miljøfarligt stof er tæt på eller under baggrundskoncentrationen.

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

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

Biota – organismer, der anvendes til analyser.

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

Bufferkapacitet – se svovlbrintebufferkapacitet.

Bundfauna – dyr som lever på og i havbunden.

C

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

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

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

Congen-mønster – se PCB.

Copepoder – se vandlopper.

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

D

DDT – pesticid, dichlordiphenyltriklorethan. Forbudt i Nordeuropa, bruges stadig mod malariamyg i tropene. Persistent og med mulighed for lufttransport.

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

Deposition – se atmosfærisk nedfald.

Diffuse kilder – større geografiske områder (åbent land og områder med spredt bebyggelse), hvorfra næringsstoffer 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 plasticholdige 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.

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

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

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

E

EAC – Ecotoxicological Assessment Criteria. Økotoxikologisk vurderingskriterie som bruges 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.

EQS – Ecological Quality Standard er et vandkvalitetskriterie fastsat i EU's vandrammedirektiv.

ERL – Effect Range Low. Amerikansk bestemt 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 forureninger opkoncentreres i fedtvæv, fx PCB og dioxin, og ofte angives indholdet af disse stoffer omregnet til fedtbasis.

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

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

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

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

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

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

Fytoplankton – se planktonalger.

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

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

G

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

Græsningstryk – fjernelse af planktonalgebio-masse 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.

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.

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 O₂ bliver kritisk, afhænger af vandområdets vandtemperaturer og saltholdigheder. I Danmark defineres koncentrationer under 4 mg O₂ pr. liter som iltsvind og koncentrationer under 2 mg O₂ 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 O₂ pr. liter, søger de mest følsomme fisk væk, og bunddyrene bliver mindre aktive. Ved koncentrationer under 2 mg O₂ 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. strandnegl, hvor hunnens normale køns karakterer (pallial ovidukt) omdannes til hanlige karakterer som prostatakirtel. Skyldes hormonforstyrrelser pga. miljøgiften TBT.

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

K

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

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

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

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

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

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

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.

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. Matrizen 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.

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

N

N – se kvælstof.

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

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

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

Nitrat (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 analyserter.

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 fosforforbindelser de vigtigste.

O

OSPAR – Oslo-Paris Kommissionen, samarbejde om Nordsøens havmiljø.

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

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

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

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

P

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

PCB – polychlorerede 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.
 $1/1.000.000.000.000 \text{ g } (10^{-12}\text{g})$.

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.
 $1/1.000.000.000.000 \text{ l } (10^{-12}\text{l})$.

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

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

Planteplankton – se planktonalger.

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

Primærproduktion – opbygning af organisk stof vha. fotosyntese.

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

R

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

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

Respiration – ånding.

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

S

Salinitet – se saltholdighed.

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

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

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

Sigtdybde – mål for vandets klarhed.

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

Springlag – se skilleflade.

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

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

T

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

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

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

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

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

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

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

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

U

Uorganisk – mineralske stoffer. Se organisk.

V

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

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

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

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

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

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

VV – vådvægtsbasis.

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

Z

Zooplankton – se dyreplankton.

Å

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

17 Referencer

Andersen, L.W., Ruzzante, D., Walton, M., Lockyer, C., Berggren, P. & Bjørge, A. 2001: Conservation genetics of the harbour porpoise populations in eastern and central North Atlantic. - *Conservation Genetics* 2: 309-324.

Borja, A., Franco, J. & Perez, V. 2000: A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European Estuarine and Coastal Environments. - *Marine Pollution Bulletin* 40: 1100-1114.

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

Cappelen, J. 2009: Danmarks Klima 2008 med Tórshavn, Færøerne og Nuuk, Grønland. - Teknisk rapport 09-01.

<http://www.dmi.dk/dmi/tr09-01.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.

Constanza 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: Håndbundsvegetation 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>

Dahl, K. & Josefson, A.B. (red.) 2009: Marine områder 2007 - Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 113 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 707.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR707.pdf>

Dahl, K., Krause-Jensen, D., Lundsteen, S., & Carstensen, J. 2009: Bundvegetation: ålegræs og makroalger. - I: Dahl, K. & Josefson, A.B.: Marine områder 2007. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. - Faglig rapport fra DMU nr. 707, s. 41-48.

Desholm, M., Christensen, T.K., Scheiffarth, G., Hario, M., Andersson, Å., Ens, B., Camphuysen, C.J., Nilsson, L., Waltho, C.M., Lorentsen, S.-H., Kuresoo, A., Kats, R.K.H., Fleet, D.M. & Fox, A.D. 2002: Status of the Baltic/Wadden Sea population of the Common Eider *Somateria m. mollissima*. - Wildfowl 53: 167-203.

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., Teilmann, J., Carstensen, J., Harders, P. & Dietz, R. 2005: Effect of Nysted Offshore Wind Farm on seals in Rødsand seal sanctuary - based on remote video monitoring and visual observations. Report request. Commissioned by ENERGI E2 A/S. - Danmarks Miljøundersøgelser. 52 pp.

http://193.88.185.141/Graphics/Energiforsyning/Vedvarende_energi/Vind/havvindmoeller/vvm%20R%C3%B8dsand/havpattedyr/SealsVideo_2004.pdf

Ellermann m.fl. 2010: Atmosfærisk deposition 2008. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. - Faglig rapport fra DMU nr. 761.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR761.pdf>

EU 2008: Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2008/105/EF af 16. december 2008 om miljøkvalitetskrav inden for vandpolitikken, om ændring og senere ophævelse af Rådets direktiv 82/176/EØF, 83/513/EØF, 84/156/EØF, 84/491/EØF og 86/280/EØF og om ændring af Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF.

Euro Chlor 2002: Euro Chlor Risk Assessment for the Marine Environment OSPARCOM Region - North Sea. Hexachlorobutadiene, March 2002.

<http://www.eurochlor.org/upload/documents/document81.pdf>

Frederiksborg Amt 2003: Fisk og fiskeri i Roskilde Fjord gennem tiden. Vandmiljøovervågning nr. 86.

Hammond, P.S., Berggren, P., Benke, H., Borchers, D.L., Collet, A., Heide-Jørgensen, M.P., Heimlich, S., Hiby, A.R., Leopold, M.F. & Øien, N. 2002: Abundance of harbour porpoises and other cetaceans in the North Sea and adjacent waters. - *Journal of Applied Ecology* 39: 361-376.

Hammond, P.S., Macleod, K., Berggren, P., Borchers, D.L., Burt, M.L., Cañadas, A., Desportes, G., Donovan, G.P., Gilles, A., Gillespie, D., Gordon, J., Hedley, S., Hiby, L., Kuklik, I., Leaper, R., Lehnert, K., Leopold, M., Lovell, P., Øien, N., Paxton, C., Ridoux, V., Rogan, E., Samarra, F., Scheidat, M., Sequeira, M., Siebert, U., Skov, H., Swift, R., Tasker, M.L., Teilmann, J., Van Canneyt, O., Vázquez, J.A. (*in prep.*): Distribution and abundance of harbour porpoise and other cetaceans in European Atlantic shelf waters. - In preparation for *Journal of Applied Ecology*.

Hansen, J.L.S. & Bendtsen, J. 2009: Den globale opvarmnings indflydelse på fremtidens iltforhold i de indre danske farvande. - I: Dahl, K. & Josefson, A.B. (red.) 2009: *Marine områder 2007. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.* - Faglig rapport fra DMU nr. 707, s. 81-90.

Hansen, J.L.S. & Josefson, A.B. 2005: Biodiversitet på sedimentbunden i de indre danske farvande. - I: Ærtebjerg, G. m.fl. : *Marine områder 2004 - Tilstand og udvikling af miljø- og naturkvaliteten. NOVANA Danmarks Miljøundersøgelser.* - Faglig rapport fra DMU nr. 551: s. 55-62.

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

Hansen, J.L.S. & Manscher, O. 2008: Iltsvind i de danske farvande i oktober 2008. *Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.*

<http://www.dmu.dk/Vand/Havmiljoe/Iltsvind/Arkiv/IltrapportOktober2008.htm>

Harding, M.J.C., Davies, I.M., Bailey, S.K., Rodger, G.K. 1999: Survey of imposex in dogwhelks (*Nucella lapillus*) from North Sea coasts. - *Applied Organometallic Chemistry* 13: 521-538.

Hoffmann, E. 2005: Fisk, fiskeri og epifauna: Limfjorden 1984-2004. *Danmarks Fiskeriundersøgelser.* - DFU-rapport 147-05.

Holtegaard, L.E., Andersen, P., Henriksen, P., Schultz, A.C. & Jørgensen, K. 2008: Fødevarerikkerhed ved produktion af muslinger. *Dansk Skaldyrcenter.* 99 s.

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* 2(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.

IMO 2008: International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships. Adoption: 5. October 2001, Entry into force: 17 September 2008. www.imo.org

Jepsen, P. 2005: Forvaltningsplan for spættet sæl (*Phoca vitulina*) og gråsæl (*Halichoerus grypus*) i Danmark. - Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen. 36 s.

<http://www.skovognatur.dk/Udgivelser/2005/Forvaltningsplansael.htm>

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

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: Anarhichidea) predation on green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F.Mull.); Echinodermata: Echinoidea) in eastern Newfoundland. - Canadian Journal of Zoology 64 (9): 1920-1925.

Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M. & Jensen, S.S., 2008: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2007. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 47 pp. - NERI Technical Report No. 681.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR681.pdf>

Kinze, C.C., Jensen, T. & Skov, R. 2003: Fokus på hvaler i Danmark 2000-2002. - Biologiske Skrifter, nr. 2.

www.hvaler.dk/Slutrapport/Marsvinerapport.pdf

Kinze, C.C. 2007: Marsvin *Phocoena phocoena* (Linnaeus, 1758). - I: Baagøe, H.J. & Jensen, T.S.: Dansk Pattedyratlas. Gyldendal. s. 284-288.

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.

Law, R.J., Kelly, C., Baker, K., Jones, J., McIntosh, A.D. & Moffat, C.F. 2002: Toxic equivalency factors for PAH and their applicability in shellfish pollution monitoring studies. - Journal of Environmental Monitoring 4: 383-388.

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

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.
- Muxika, I., Borja, A. & Bonne, W. 2005: The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. - *Ecological indicators* 5: 19-31.
- 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. *in press*: Sea urchin grazing and kelp revegetation in the NE Atlantic. - *Marine Biology Research*.
- Olesen, B. & Sand-Jensen, K. 1994: Patch dynamics of eelgrass. - *Marine Ecology Progress Series* 40: 147-156.
- Olsen, M.T., Andersen, S.M., Teilmann, J., Dietz, R., Edrén, S.M.C., Linnet, A. & Harkonen, T. (*i trykken*). Status of the harbour seal (*Phoca vitulina*) in southern Scandinavia. - NAMMCO Scientific Publications 8.
- OSPAR 1998: Report of the Third OSPAR Workshop on Ecotoxicological Assessment Criteria (EAC), The Hague: 25-29 November 1996, Oslo and Paris Commissions, 1998.
- OSPAR 2008: 2007/2008 CEMP Assessment: Trends and concentrations of selected hazardous substances in sediments and trends in TBT-specific biological effects. OSPAR Commission, Assessment and Monitoring Series 2008, 36 pp.
http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00378_2007-2008_CEMP_assessment.pdf
- OSPAR 2009: Agreement on CEMP Assessment Criteria for the QSR 2010. Agreement number: 2009-2. Adopted 2009, Brussels.
http://www.ospar.org/v_measures/browse.asp?menu=00530418000000_000000_000000
- Petersen, D.L.J., Göke, C., & Carstensen, J. 2009: Iltforhold. - I: Dahl, K. & Josefson, A.B. (red.): Marine områder 2007. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. - Faglig rapport fra DMU nr. 707, s. 37-40.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR707.pdf>
- Petersen, I.K., Pihl, S., Hounisen, J.P., Holm, T.E., Clausen, P. Therkildsen, O. & Christensen, T.K. 2006: Landsdækkende optællinger af vandfugle, januar og februar 2004. Danmarks Miljøundersøgelser. 76 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 606.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR606.pdf>
- Pihl, S., Petersen, I.K., Hounisen, J.P. & Laubek, B. 2001: Landsdækkende optælling af vandfugle, vinteren 1999/2000. - Danmarks Miljøundersøgelser. 46 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 356.
- Pörtner, H.O. & Knust, R. 2007: Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. - *Science* 315: 95-97.

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>

Smedes, F. 2002: Annex 5 i JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Sediments, OSPAR Agreement 2002-16 (www.ospar.org).

Strand, J., Larsen, M.L. & Stedmon, C. 2004: Analyse af udviklingen i koncentrationen af miljøfarlige stoffer i det danske havmiljø, kapitel 17; - I: Marine områder 2003 - Miljøtilstand og udvikling. Ærtebjerg, G. & Andersen, J.H. (red.). - Faglig Rapport fra DMU nr. 513, 97 s.

Strand, J. & Dahllöf, I. 2005: Biologisk effektmonitoring i fisk. Kap. 6.3, NOVANA teknisk anvisning.

Strand, J., Larsen, M.M., Næs, K., Cato, I. & Dahllöf, I. 2006: Tributyltin (TBT): Forekomst og effekter i Skagerrak. Uddevalla, Sweden, Rapport fra Forum Skagerrak II, 39 s.
<http://www.forumskagerrak.com/download/503/x/TBT%20web%20ver2.pdf>

Strand, J., Bignert, A., Londesborough, S., Leivuori, M., Larsen, M.M., Pedersen, B. 2008: Hazardous substances and classification of the environmental conditions in the Baltic Sea and the Kattegat: Comparisons of different Nordic approaches for marine assessments. - TemaNord 542, 64 s.
http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2008-542?set_language=da&C=

Strand, J., Dahllöf, I. & Larsen, M.M. 2009a: Biologisk effektmonitoring. I: Dahl, K. & Josefson, A.B. (red.) 2009a: Marine områder 2007 - Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 113 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 707, s. 62-63.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR707.pdf>

Strand, J., Bossi, R., Dahllöf, I., Jensen, C.A., Simonsen, V., Tairova, Z., Tomkiewicz, J. 2009b: Dioxin og biologisk effektovervågning i ålekvalbe i kystnære danske farvande. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. - Faglig rapport fra DMU (*i trykken*).

Stuer-Lauridsen F., Gustavson K., Møhlenberg F., Dahllöf I., Strand J., Bjerregaard P., Korsgaard B., Rasmussen T.H., Halling-Sørensen B., 2008: Misdannet ålekvalbeyngel og andre biologiske effekter i danske vandområder: Litteraturudredning. - Miljøprojekt 1151, Rapport fra By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet. 208 s.
<http://www.blst.dk/Publikationer/2008/978-87-7052-384-4.htm>

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

Søgaard, B. & Asferg, T. (red.) 2010: Arter 2008. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 118 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 766. <http://www.dmu.dk/Pub/FR766.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.

Teilmann, J., Dietz, R., Larsen, F., Desportes, G., Geertsen, B.M., Andersen, L.W., Aastrup, P., Hansen, J.R. & Buholzer, L. 2004: Satellitsporing af marsvin i danske og tilstødende farvande. - Danmarks Miljøundersøgelser. 86s. - Faglig rapport fra DMU nr. 484.

Teilmann, J., Sveegaard, S., Dietz, R., Petersen, I.K., Berggren, P. & Desportes, G. 2008: High density areas for harbour porpoises in Danish waters. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 84 pp. - NERI Technical Report No. 657.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR657.pdf>

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.

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

Ærtebjerg, G., Bendtsen, J., Carstensen, J., Christiansen, T., Dahl, K., Dahllöf, I., Ellermann, 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>

Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer

Jacob Carstensen

Næringsstofkoncentrationer, klorofyl og sigtdybde

Tresidet variansanalyse for stations-, måneds- og årsvariation

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

- De 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 efter 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 approximativt 95% konfidensinterval for den geometriske middelværdi fås som

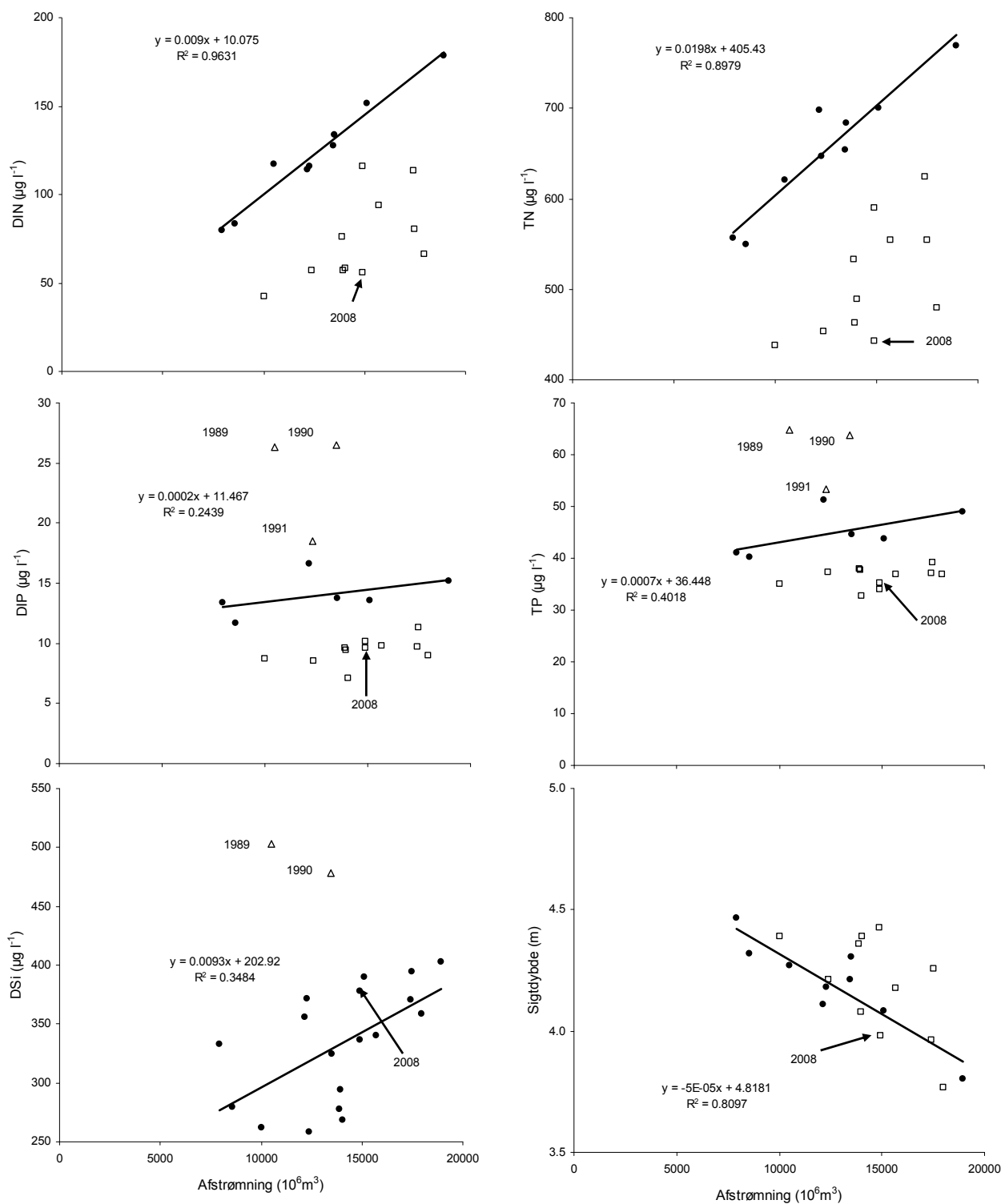
$$[\exp(\alpha - 2 \times \beta); \exp(\alpha + 2 \times \beta)]$$

Eksempelvis estimeres af variansanalysen, at middelniveauet for $\log(\text{DIN})$ i bundvandet i 2008 var normalfordelt $N(4,13;0,039^2)$, hvilket ved transformationen ovenfor giver, at middelniveauet for DIN er 62,01 $\mu\text{g N l}^{-1}$ med et 95% konfidensinterval på [57,33;67,06].

Korrektioner for klimatiske variationer

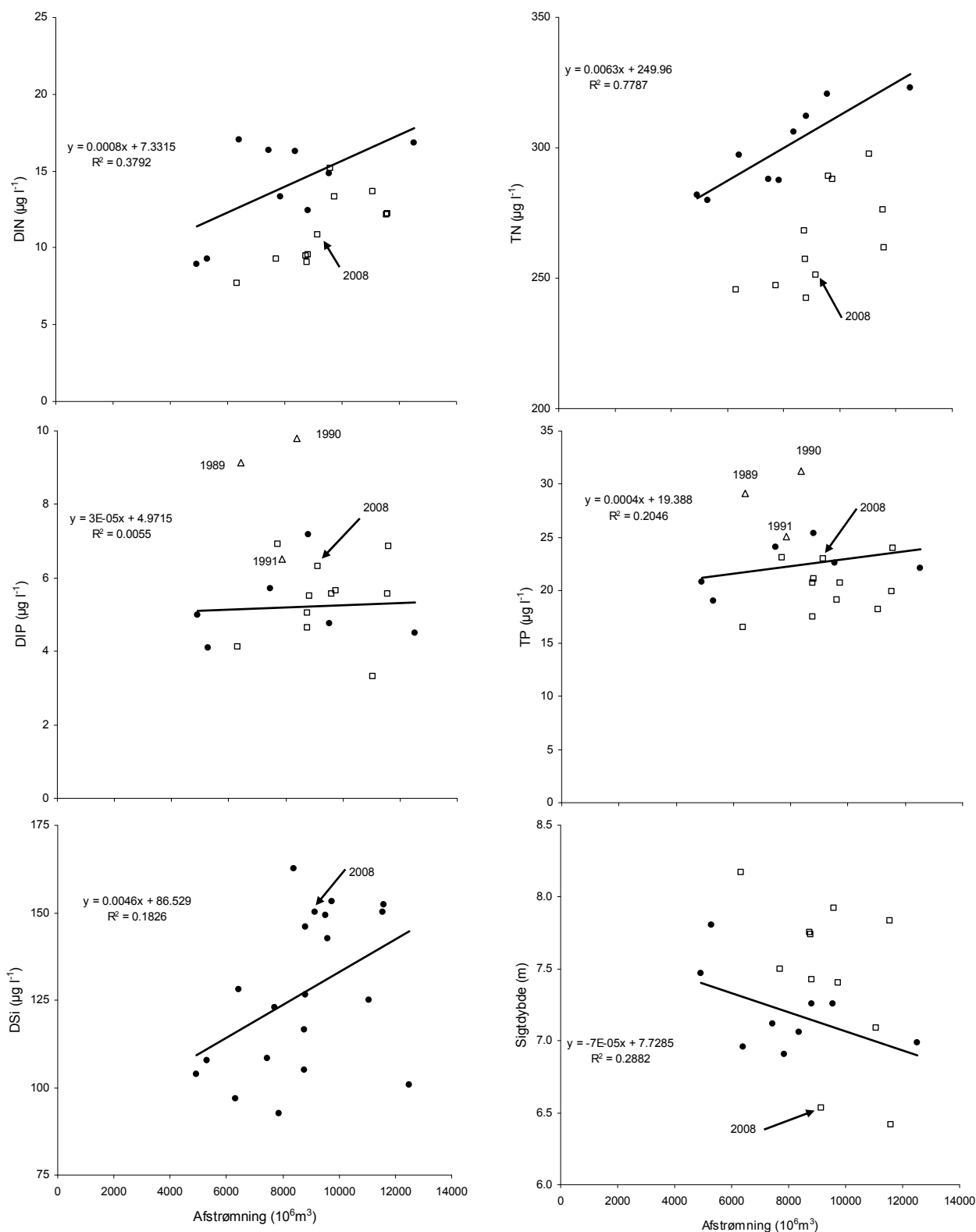
Ferskvandsafstrømningen er den vigtigste klimatiske faktor som påvirker næringsstofkoncentrationerne, og afstrømningen blev derfor anvendt til at korrigere for klimatiske variationer.

Relationen mellem afstrømning og middelkoncentrationerne af DIN og TN på basis af årene 1989-97 var særdeles gode (*figur B1.1*), hvilket er forventeligt, idet størstedelen af kvælstoftilførslen stammer fra diffuse kilder og dermed afstrømningen. For DIP og TP blev årene 1998-2004 udeladt af samme årsag som for kvælstof sammen med årene 1989-1991, hvor punktkildebidraget var relativt stort. Det markante skift omkring 1998 er ikke observeret for DSi, men til gengæld er 1989 og 1990 udeladt, da detektionsgrænserne for mange af målingerne på amtsstationerne var meget høje.



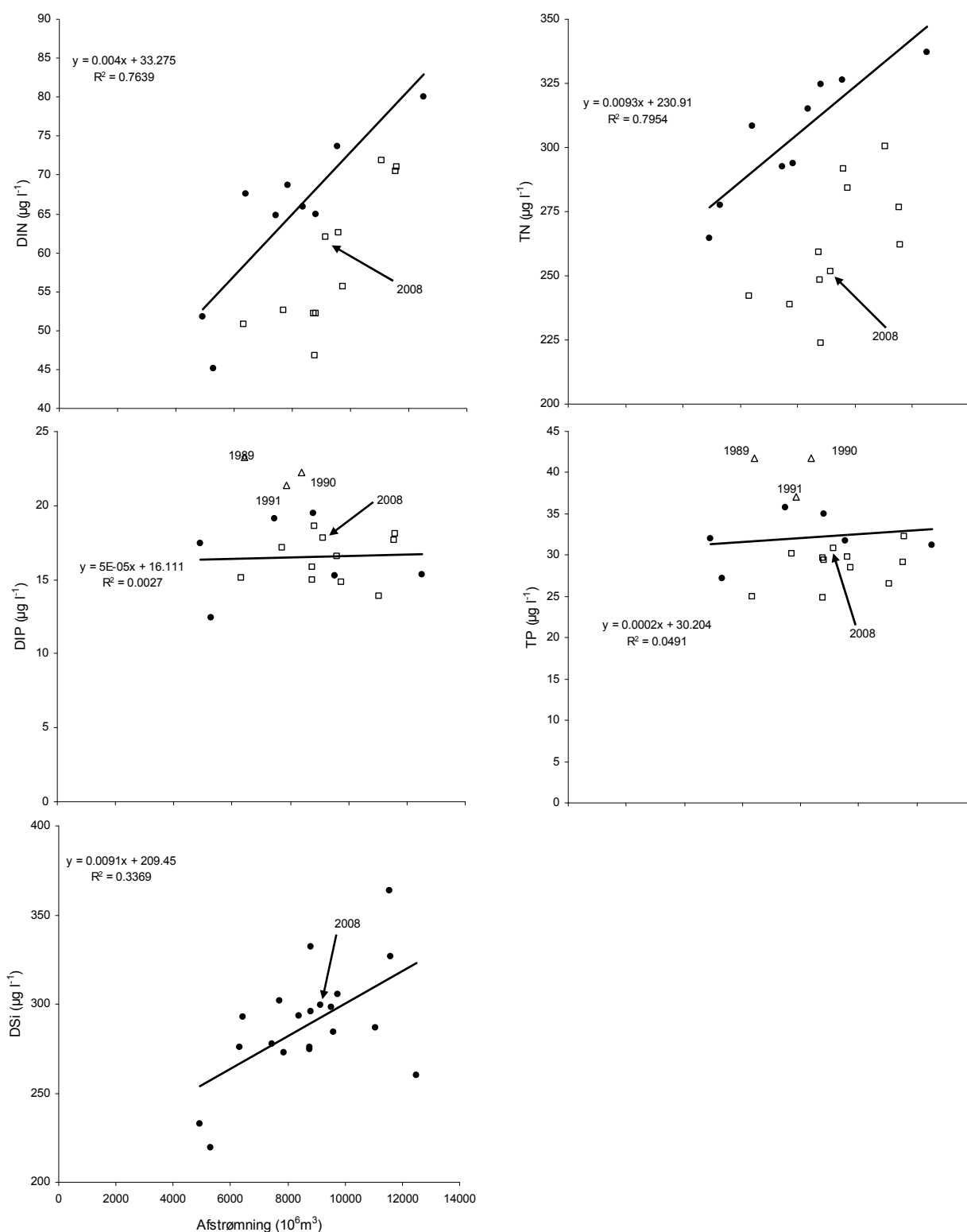
Figur B0.1. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSI og sigtgybde i fjorde og kystnære områder mod afstrømning. Årene 1998-2008 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP, TP og sigtgybde. For DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter, og for DSI er årene 1989 og 1990 markeret med trekanter.

Da næringsstofkoncentrationerne 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 B0.2. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP, DSi og sigtdybde i overfladevand for åbne havområder (0-10 m) mod afstrømning. Årene 1998-2008 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 ($\geq 15 \text{ m}$) 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: 1989-2004). 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 B0.3. Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP og TP for bundvand (≥ 15 m) i åbne indre havområder mod afstrømning. Årene 1998-2008 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP og TP, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter.

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 lavere end 1,5 meter, 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.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet.	På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.	Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, conferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser Frederiksborgvej 399 Postboks 358 4000 Roskilde Tlf.: 4630 1200 Fax: 4630 1114	Administration Afdeling for Arktisk Miljø Afdeling for Atmosfærisk Miljø Afdeling for Marin Økologi (hovedadresse) Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Systemanalyse (hovedadresse)
---	--

Danmarks Miljøundersøgelser Vejlsøvej 25 Postboks 314 8600 Silkeborg Tlf.: 8920 1400 Fax: 8920 1414	Afdeling for Ferskvandsøkologi Afdeling for Marin Økologi Afdeling for Terrestrisk Økologi
--	--

Danmarks Miljøundersøgelser Grenåvej 14, Kalø 8410 Rønde Tlf.: 8920 1700 Fax: 8920 1514	Afdeling for Systemanalyse Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet
---	--

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. 2009

- 744 Danish Emission Inventories for Stationary Combustion Plants. Inventories until year 2007.
By Nielsen, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. & Hjelgaard, K. 216 pp.
- 742 Vildtbestande og jagttider i Danmark: Det biologiske grundlag for jagttidsrevisionen 2010.
Af Noer, H., Asferg, T., Clausen, P., Olesen, C.R., Bregnballe, T., Laursen, K., Kahlert, J., Teilmann, J., Christensen, T.K. & Haugaard, L. 288 s.
- 741 Biodiversity at the Ecosystem Level – Patterns and Processes.
Proceedings of the 2nd DanBIF conference, 26-27 April 2009.
By Balslev, H. & Skov, F. (eds.). 44 pp.
- 739 Emission Inventory for Fugitive Emissions in Denmark.
By Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K. & Nielsen, M. 47 pp.
- 738 Økologisk risikovurdering af genmodificerede planter i 2008.
Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsføringssager.
Af Kjellsson, G., Damgaard, C., Strandberg, M., Simonsen, V. & Krogh, P.H. 48 s.
- 737 Environmental monitoring at the former lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland, in 2008.
By Schiedek, D., Asmund, G., Johansen, P., Rigét, F., Johansen, K., Strand J., & Mølvig, S. 70. pp.
- 736 Naturtilstand på terrestriske naturarealer – besigtigelser af § 3-arealer.
Af Fredshavn, J.R., Nygaard, B. & Ejrnæs, R. 46 s.
- 735 Naturtilstand i habitatområderne. Habitatdirektivets lysåbne naturtyper.
Af Fredshavn, J.R. & Ejrnæs, R. 76 s.
- 734 Undervandsplanter som indikatorer for vandkvalitet i søer.
Af Søndergaard, M., Johansson, L.S., Jørgensen, T.B. & Lauridsen, T.L. 48 s.
- 732 Lokal kvælstofdeposition og kvælstofindhold i lav.
Af Andersen, H.V., Nielsen, K.E., Degn, H.J., Geels, C., Løfstrøm, P., Damgaard, C. & Christensen, J.H. 46 s.
- 731 Anvendelse af en feltbaseret metode til bedømmelse af biologisk vandløbskvalitet i danske vandløb.
Af Skriver, J., Hansen, F.G., Jensen, P.B., Larsen, L.K. & Larsen, S.E. 42 s.
- 730 Metodeafprøvning af passive diffusionsopsamlere til koncentrationsbestemmelse af ammoniak.
Af Andersen, H.V., Løfstrøm, P., Moseholm, L., Ellerman, T. & Nielsen, K.E. 31 s.
- 729 Biologiske beskyttelsesområder i Nationalparkområdet, Nord- og Østgrønland.
Af Aastrup, P. & Boertmann, D. 90 s.
- 728 Danske plantesamfund i moser og enge – vegetation, økologi, sårbarhed og beskyttelse.
Af Nygaard, B., Ejrnæs, R., Baattrup-Pedersen, A. & Fredshavn, J.R. 144 s.
- 727 Overdrev, enge og moser.
Håndbog i naturtypernes karakteristik og udvikling samt forvaltningen af deres biodiversitet.
Af Ejrnæs, R., Nygaard, B. & Fredshavn, J.R. 76 s.
- 726 Klimatilpasning og den sociale faktor. 2009.
Af Petersen, L.K., Jensen, A. & Nielsen, S.S. 52 s.
- 724 Denmark 's National Inventory Report 2009. Emission Inventories 1990-2007
– Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
By Nielsen, O.-K., Lyck, E., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Winther, M., Nielsen, M., Fauser, P., Thomsen, M., Plejdrup, M.S., Albrechtsen, R., Hjelgaard, K., Vesterdal, L., Møller, I.S. & Baunbæk, L. 826 pp.
- 723 Guidelines to environmental impact assessment of seismic activities in Greenland waters.
By Boertmann, D., Tougaard, J., Johansen, K. & Mosbech, A. 38 pp.
- 722 Grønne kommuner. Indikatorer til belysning af kommunernes indsats på natur- og miljøområdet.
Af Levin, G., Münier, B., Fuglsang, M. & Frederiksen, P. 177 s.
- 721 Seabirds and marine mammals in Northeast Greenland.
Aerial surveys in spring and summer 2008.
By Boertmann, D., Olsen, K. & Nielsen, R.D. 50 pp.
- 720 The eastern Baffin Bay. A preliminary strategic environmental impact assessment of hydrocarbon activities in the KANUMAS West area.
By Boertmann, D., Mosbech, A., Schiedek, D. & Johansen, K. (eds). 238 pp.

[Tom side]

MARINE OMRÅDER 2008

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Miljøtilstanden i 2008 er ikke forbedret på trods af betragtelige reduktioner i udledning af næringsstoffer til hav- og kystområderne og fald i næringssaltkoncentrationer i vandet. Årsagerne til denne uventede mangel på respons er endnu ikke kendt, men de igangværende klimaændringer har en række effekter, der ikke kan kvantificeres i det nuværende NOVANA-program.

Nogle af effekterne er dog kendte. Således påvirkes iltforbruget ved stigende temperaturer og vandet indeholder mindre ilt, hvilket kan forklare, at der ikke er sket forbedringer i iltforholdene. Andre effekter omfatter, at vandets sigtbarhed er faldet sammenlignet med tidligere år, og dybdegrænsen for ålegræs er blevet mindre i fjordene. Makroalgenes dækning på de dybere dele af stenrev er også blevet yderligere forringet. Årsagerne til disse negative ændringer kendes ikke, men muligvis kan øget resuspension og/eller forekomst af andre skyggende organiske stoffer i vandet have bidraget.

Faldet af artsrigdom i bundfauna fortsatte i 2008 i de åbne farvande og forekom også i de kystnære områder og i fjorde og kan ikke tilskrives iltvind. Ederfugle-bestanden er på retur i Danmark af ukendte årsager, men ændringer i kvaliteten af deres fødeemner, øget prædation fra ræve og sygdomsepidemier menes at spille en rolle. Bestandene af spættet sæl har været i fremgang siden jagt blev forbudt i 1977, men der er tegn på, at de er ved at nå deres bæreevnekapacitet. Grå sæl forekommer kun regelmæssigt på få lokaliteter i Kattegat, Østersøen og Vadehavet. Viden om tilstandene hos danske tandhvaler er stærkt begrænset, men undersøgelser af marsvin viser en alarmerende tilbagegang på næsten 40%. Metaller i sediment (As, Ni, Zn, Pb, Cu og Cr) var forhøjede i en stor del af prøverne (20-40%) og indholdet af Cd og Hg var forhøjet i 70% af sedimentprøverne. Næsten alle fiskeprøver (85-95%) og 40% af muslingeprøverne overholdt ikke EU's miljøkvalitetskriterium for Hg. Forurening med TBT og PAH'er udgør de største problemer i marine miljøer blandt øvrige miljøfarlige stoffer med generelt utilfredsstillende niveauer i de indre farvande. Dette gælder også for visse PAH'er i muslinger.

Sammenfattende er de marine økosystemer under kraftig forandring. En del af de observerede ændringer er overraskende og negative for miljøkvaliteten og viser, at de marine økosystemer ikke nødvendigvis vender tilbage til en oprindelig tilstand. Trods reduktioner i udledning af næringsstoffer til havet kan forbedringer i miljøkvaliteten tage mange år og disse processer påvirkes af en række klimabetingede forandringer, som man i dag ikke kender effekterne af.