



MARINE OMRÅDER 2007

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Faglig rapport fra DMU nr. 707 2009



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



[Tom side]

MARINE OMRÅDER 2007

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

Faglig rapport fra DMU nr. 707 2009

Redaktion:
Karsten Dahl
Alf B. Josefson



Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 707
Titel:	Marine områder 2007
Undertitel:	NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten
Forfattere:	Karsten Dahl & Alf B. Josefson (red.)
Afdeling:	Afdeling for Marin Økologi
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	April 2009
Redaktion afsluttet:	Marts 2009
Faglig kommentering:	Benni W. Hansen, Roskilde Universitet; Miljøcentrene; Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariatet (DMU); By- og Landskabsstyrelsen; øvrige fagdatacentre
Finansiell støtte:	Ingen ekstern finansiering
Bedes citeret:	Dahl, K. & Josefson, A.B. (red.) 2009: Marine områder 2007. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 113 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 707. http://www.dmu.dk/Pub/FR707.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	I lighed med konklusionen fra sidste års rapport må det konkluderes, at miljøtilstanden i 2007 ikke var særlig god på trods af de store reduktioner i udledningen af næringsstoffer til hav- og kystområderne, som har fundet sted fortrinsvis i 1990'erne. En årsag til dette er en klimatisk betinget stor afstrømning i foråret 2007, der efterfølgende medførte høje klorofylkoncentrationer. Relativt kraftige vindhændelser hen over sommerperioden forhindrede udviklingen af en forventet alvorlig iltsvindshændelse i sommer- og sensommerperioden. Generelt har der ikke været forbedring af vandets sigtbarhed i de danske farvande, siden vandmiljøplanen blev iværksat, og det afspejler sig også i manglende forbedringer af tangskovenes dybdeudbredelse og tæthed. En sandsynlig årsag til manglende forbedring af specielt iltforhold er den igangværende opvarmning af havet som følge af den globale opvarmning, og som i 2007 var særlig udtalt. Opvarmningen har øget iltforbruget og mindsket vandets evne til at indeholde ilt og kan også mindske transporten af ilt fra havoverfladen til bundvandet. Artsrigdom af bundfauna i de åbne dele af Kattegat er reduceret til det laveste niveau siden midt i 1990'erne. For miljøfarlige stoffer er det fortsat TBT fulgt af enkelte PCB'er og PAH'er, som udviser forhøjede niveauer i sediment og dyr. Et udtryk for dette er mindsket lysosomal membranstabilitet hos blåmuslinger i flere af de undersøgte kystområder. Undersøgelser af enzymaktivitet og embryonale misdannelser hos ålekvabbe indikerer en kobling til øget belastning af organiske miljøfarlige stoffer og tungmetaller.
Emneord:	Vandmiljøplan, marin, hav, fjord, miljøtilstand, eutrofiering, overvågning, iltsvind, miljøfremmede stoffer, tungmetaller, stenrev, marine ecology, assessment, eutrophication, monitoring, environmental quality, boulder reefs
Layout:	Anne van Acker
Illustrationer:	Forfatterne/Anne van Acker
Forsidefoto:	Brunalger med epifytter - foto: Karsten Dahl
ISBN:	978-87-7073-086-0
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	113
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/FR707.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 8

1 Indledning 10

Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande 14

2 Klimatiske forhold 15

3 Stoftilførsler fra land 19

4 Atmosfærisk kvælstofdeposition 21

5 Stoftransport til og fra tilstødende farvande 23

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten 26

6 Næringsstofkoncentrationer 27

7 Pelagisk produktion og sigtdybde 32

8 Iltforhold 37

9 Bundvegetation: ålegræs og makroalger 41

10 Bundfauna 49

11 Metaller i muslinger, fisk og sediment 53

12 Miljøfarlige stoffer i muslinger og fisk 57

13 Biologisk effektmonitoring 62

Del 3 – Fokusrapportering 64

14 Kystnære fiskesamfund 65

15 Stenrevsfaunaens biogeografi 69

16 Den globale opvarmnings indflydelse på fremtidens iltforhold i de indre danske farvande 81

Del 4 – Sammenfattende diskussion 90

17 Tilstand og udvikling 91

18 Ordliste 97

19 Referencer 104

Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer 109

Bilag 2 Dataanalyser - bundvegetation 113

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

[tom side]

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet som 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 effekter 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 Miljøundersø-

gelser 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), Skov- og Naturstyrelsen (SN), 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 2007', som udgives af Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og By- og Landskabsstyrelsen.

Sammenfatning

Karsten Dahl & Alf Josefson

I lighed med konklusionen fra sidste års rapport må det konkluderes, at miljøtilstanden i 2007 ikke er forbedret på trods af de betragtelige reduktioner i tilledning af næringsstoffer til hav- og kystområderne, som har fundet sted i de foregående år. Klimaet og vejrforholdene i 2007 bevirkede, at ferskvandsafstrømningen og næringsstofftilførslen i forårshalvåret var væsentlig forøget sammenlignet med tidligere år. De store tilførsler medførte høje koncentrationer af næringsstoffer og klorofylkoncentrationer i foråret 2007. Der var ingen forbedringer i iltforholdene. En sandsynlig årsag til den manglende forbedring af iltforholdene er stigninger i temperaturen i forbindelse med den globale opvarmning. Temperaturforhøjelse af havvandet omkring Danmark har øget iltforbrug og mindsket vandets evne til at indeholde ilt. Den landsdækkende status for havmiljøet i 2007 kan sammenfattes i nedenstående hovedpunkter.

Vejrforhold og hydrografi

- Årsmiddeltemperaturen i de danske farvande er steget ca. 1° C i de sidste 40 år, og i 2007 var temperaturen den hidtil varmeste i både overflade- og bundvand. Bundvandet i de åbne farvande var ca. 2° C højere igennem hele året i forhold til normalen for perioden 1961 - 1990.
- Ferskvandsafstrømningen til de indre farvande var væsentligt over normalen i årets tre første måneder samt i juli. Tilsvarende var afstrømningen i november og december 2006 også rekordstor. Som en konsekvens af den øgede afstrømning var tilførslerne af kvælstof fra ferskvandskilder væsentligt højere end normalen i den samme periode.

Næringsstofftilførsler og -koncentrationer

- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen faldet ca. 40% og fosforudledningen ca. 75% fra 1989 til 2000, med en efterfølgende stabilisering for begge næringsstoffer.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne i danske farvande udviser faldende tendenser siden 1989. Faldet viser en tendens til stagnation for fosfor efter 1997 og er mindsket for kvælstof siden 2002. Denne udvikling tilskrives i stor udstrækning Vandmiljøplan I for fosfor og Vandmiljøplan I og II for kvælstof. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats.

Planktonalger og sigtgybde

- Den store udledning af næringsstoffer i vinteren 06-07 og i juni måned afstedkom en usædvanlig høj forårsopblomstring i marts måned og en mindre opblomstring igen i juli. Klorofylkoncentrationerne i åbne farvande var de højeste, der er målt siden overvågningen begyndte i 1989, men også i fjordene var værdierne meget høje.
- Sigtgybden var hele året usædvanlig lav i alle farvande, og den ringeste siden vandmiljøplanernes start i 1989. På trods af generelt faldende koncentrationer af næringssalte er der ingen tegn på forbedringer i sigtgybden siden 1989.
- Høje koncentrationer af den fisketoksiske flagellat *Chattonella* sp. blev observeret i Kattegat og Lillebæltsområdet i marts 2007, uden at der dog blev observeret effekter på fisk. Der blev ligeledes konstateret høje koncentrationer af de potentielt toksiske *Dinophysis* og *Pseudo-nitzschia* i nogle farvandsafsnit i 2007.

Iltsvind

- Iltforholdene i 2007 var knap så dårlige i kystområderne og i de lukkede fjorde sammenlignet med tidligere års observationer, sandsynligvis på grund af hyppigt forekommende kraftige vindhændelser, der kunne opblande vandsøjlen og ilte bundvandet i disse områder. De åbne farvande var ramt af udbredt iltsvind igennem længere tid, men iltkoncentrationerne nåede kun ned i det mest kritiske område under 2 mg O₂ l⁻¹ enkelte steder.

Bundvegetation og bunddyr

- Bundvegetationen udviste ingen signifikant forandring sammenlignet med tidligere år.
- Den lokale artsrigdom af bundfauna i de åbne dele af Kattegat og Bælthavsområdet er gradvist blevet reduceret siden starten af 1990'erne og har de sidste 4 år været kun ca. halvdelen af niveauet i midten af 1990. I 2007 var artsrigdommen den næstlaveste, der er registreret. Samtidig var tætheden af dyr faldet med 50%. Bundfaunaens status målt ved DKI-indekset var i 2007 ændret fra god til moderat økologisk tilstand.

Miljøfarlige stoffer

- For miljøfarlige stoffer er det fortsat tributyltin (TBT) fulgt af enkelte PCB'er (klorerede stoffer) og PAH'er (tjærestoffer som anthracen), som giver anledning til overskridelser af foreslåede miljø-

kvalitetskriterier. I de tilfælde hvor der findes data, der beskriver en tidlig udvikling for organiske forureninger, er koncentrationen generelt faldende. TBT er stadig et problem med klassifikationen *meget stærkt forurenet* i alle områder. Der var ingen overskridelser af fødevarekrav for dioxin, furaner og bestemte PCB-forbindelser i muslinger. PAH-niveauet i muslinger og fisk var acceptabelt mange steder i forhold til OSPARs internationale miljøkriterier (OSPAR 2008), men op til *markant forurenet* efter de norske miljøkriterier (SFT 1997).

- Undersøgelser af en biomarkør på celleniveau i blåmuslinger viste, at muslinger i 39% af de un-

dersøgte kystnære områder var påvirket af miljøfarlige stoffer. De fundne effekter kan især sammenkædes med forhøjede niveauer af organiske miljøgifte som PAH og PCB.

- Undersøgelserne af ålekvabbe viste betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem områder, både mht. en biomarkør i form af en specifik enzymaktivitet og med forekomst af misdannede unger. For enzymaktiviteten (CYP1A) forekom de højeste effektniveauer oftest i kystnære områder, hvor der generelt er en øget belastning med organiske miljøfarlige stoffer, bl.a. PAH og PCB, men også tungmetaller.

Summary

Colin Stedmon

Despite notable reductions in the supply of nutrients to Danish coastal waters in recent years, the environmental condition in these waters in 2007 has not improved. Weather conditions resulted in a large supply of nutrients from land during winter 2006 to spring 2007, in comparison to previous years. This resulted in higher nutrient concentrations and consequently also higher chlorophyll concentrations during spring. Bottom water oxygen conditions have not improved in general, despite the fact that there were only a limited number of severe oxygen depletion events as a result of strong winds during summer. A possible explanation for the limited improvement in oxygen conditions may be that the water temperatures are increasing as a result of global warming, leading to increased respiration and decreased solubility of oxygen in sea water.

The following points summarise the environmental conditions for 2007.

Meteorology and hydrography

- The annual mean water temperature has increased by approximately 1° C during the last 40 years and both surface and bottom water temperatures in 2007 were the warmest on record. Bottom water temperatures off-shore were 2° C higher than normal (1961 - 1990) throughout the year.
- Freshwater discharge to the inner Danish waters was considerably above average between November 2006 and March 2007 as well as in July 2007. As a result, the freshwater nitrogen loading was high.

Nutrient loading and concentrations

- The flow corrected freshwater nutrient discharge has decreased by approximately 40% and 75% for nitrogen and phosphorus, respectively, from 1989 to 2000. From 2000 and onwards the levels have remained stable.
- Sea water nutrient concentrations have gradually decreased since 1989. Phosphorus concentrations have now remained stable since 1997 while nitrogen concentrations continue to decrease slightly since 2002. This is mainly due to the effects of the national water quality directives (Vandmiljøplan I and II).

Phytoplankton and water clarity

- The large supply of nutrients in the winter months of 2006 and early 2007 resulted in an exceptionally large spring phytoplankton bloom in March. Additionally, the increased run-off in July resulted in a new bloom. Chlorophyll concentrations in the off shore waters were among the highest recorded since the start of the monitoring program in 1989. Concentrations in the fjords were also in the high end.
- Water clarity (Secchi depth) was exceptionally poor for the whole year in all waters, representing the worst conditions since the start of the monitoring program.
- High concentrations of the flagellate *Chattonella* sp., which is toxic for fish, were recorded in the Kattegat and Little Belt in March 2007. However, no effects on fish were observed. Additionally high concentrations of potentially toxic *Dinophysis* and *Pseudo-nitzschia* were measured in some areas.

Oxygen depletion

- Oxygen conditions in 2007 were better than previous years for the coastal waters and enclosed fjords, and better than expected due to the large phytoplankton blooms in spring and July. This is most likely due to the frequent strong winds in summer which were capable of mixing the water column and hereby supplying oxygen to bottom waters. The offshore bottom waters experienced widespread low oxygen concentrations for a longer period; however concentrations were only below the critical level of 2 mg O₂ l⁻¹ in isolated places.

Benthic vegetation and fauna

- No significant changes for benthic vegetation were recorded, compared to last year, and the general lack of improvement since the 90s is consistent with the lack of change in water clarity.
- Local species richness of benthic fauna in the off-shore waters of the Kattegat and Belt Sea region has gradually decreased since the start of the 1990s and for the last four years has been at a level which is half that from 1990. Richness in 2007 was the second poorest on record, and the fauna density has fallen by 50%. Benthic fauna status measured using the DKI index for ecological status with respect to the Water Frame-

work Directive, has changed from "good" to "moderate" in 2007.

Environmentally hazardous substances

- TBT, PCB and the PAH anthracene are still the only substances that exceed OSPAR's Ecotoxicological Assessment Criteria (EAC) (2008). For the localities where there are enough data for a time series analysis, the concentrations of some organic contaminants are decreasing. All regions can still be classified as "very polluted" with respect to TBT. Levels of dioxin, furans and coplanar-PCBs are all below the thresholds for food quality, and PAH concentrations in fish and mussels are generally acceptable with regard to OSPAR's EACs. However, compared to the Norwegian criteria some localities can be

classified as markedly contaminated with respect to PAH criteria.

- Investigations of lysosomal membrane stability in blue mussels indicate that mussels from ~40% of the coastal sites are affected by environmentally hazardous substances. The observed effects are mainly correlated to elevated concentrations of organic contaminants such as PCBs and PAHs.
- Measurements on the fish viviparous blenny (*Zoarces viviparus*) show differences in effect levels between sites, with regard to CYP1A enzyme activity and larvae deformities. The greatest effects on CYP1A are in coastal waters where there is generally a greater loading of organic contaminants such as PAH and PCBs.

1 Indledning

Karsten Dahl & Martin M. Larsen

Folketinget vedtog i foråret 1987 Vandmiljøplan I. Baggrunden var de voldsomme iltsvind i 1980'erne, specielt i 1981 og 1986. Formålet med planen var at forbedre vandmiljøet i Danmark ved at reducere udledningerne af kvælstof og fosfor fra landbrug, rensesanlæg og industrier med hhv. 50% og 80%. For fosfors vedkommende omfattede landbrugsdelen dog alene gårdbidraget, da der var usikkerhed om omfanget af udvaskningen af fosfor fra markerne. Reduktionsmålene i 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.

For at følge effekterne af Vandmiljøplan I vedtog Folketinget, at der samtidig skulle etableres et landsdækkende overvågningsprogram for en række fysiske, kemiske og biologiske variable (indikatorer), 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. Med NOVA-2003 blev miljøfarlige stoffers forekomst, effekter og skæbne i vandmiljøet en del af det nationale overvågningsprogram. På det marine område blev desuden målehyppigheden intensiveret på bl.a. en række kystnære stationer i de åbne farvande, 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.

Formålet med overvågningen

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

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

- Opfylde Danmarks forpligtigelser i henhold til EU-lovgivning
- Dokumentere effekten af vandmiljøplanerne og anden landbrugsregulering
- Opfylde Danmarks forpligtigelser i henhold til internationale konventioner og aftaler
- Bidrage til at styrke det faglige grundlag for forvaltning og for fremtidige nationale og internationale initiativer, ikke mindst i EU.

I forlængelse af de overordnede formål er det besluttet, at overvågningen skal kunne:

1. beskrive den kvantitative udvikling i en række væsentlige fysiske, kemiske og biologiske variable. Disse variable omfatter bl.a. plankton, makroalger, bundfauna, fisk, vandkemi og sedimenters indhold af miljøfarlige stoffer og forekomst og effekt af miljøfarlige stoffer.
2. belyse kvantitative sammenhænge mellem tilførsler af næringsstoffer og biologiske effekter, herunder at gøre rede for betydningen af variationer i klima og biologisk struktur.
3. give aktuel information om iltsvind.
4. beskrive transporten af næringsstoffer til og gennem de åbne danske farvande, bl.a. med henblik på udarbejdelse af budgetter for disse stoffer.
5. vurdere langsigtede ændringer pga. menneskelige aktiviteter, herunder ændret klima og habitatkvalitet.
6. derudover er der for kystvande et delformål om på sigt at etablere kvantitative sammenhænge mellem udledninger, koncentrationer og effekter af udvalgte miljøfarlige stoffer i biota i udvalgte områder.

Områder og prøvetagningsprogram

I NOVANA er kystvande for eutrofieringsundersøgelser opdelt i to niveauer: E2 (repræsentative områder) og E2+ (typeområder), hvor der i E2+-områder suppleres med målinger af flere variable. I åbne farvande betegner E2+ stationer med høj målefrekvens (intensivstationer), mens E2 betegner statio-

ner (ekstensivstationer) anvendt til kortlægning af vinternæringssalte, iltvind, bundfauna og pigmenter i sedimentet. Også undersøgelser af biodiversitet/naturtyper og miljøfarlige stoffer er opdelt i to niveauer, hvor niveau 1 (B1 og MFS1) betegner lokaliteter, hvor der kun foretages undersøgelser 1 til 3 gange i en 6-årig periode, mens niveau 2 lokaliteter (B2 og MFS2) undersøges hvert år. Overvågning har i perioden 2004-2007 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 bobleref (B1)
- 7 fiskelokaliteter (B1)
- 845 bundfaunastationer (B1)
- 12 stenrev (B2)

Miljøfarlige stoffer:

- 50 sediment-, 26 muslinge- og 27 bioeffektlokaliteter (MFS1)
- 31 muslinge-, 5 fiske- og 6-7 bioeffektlokaliteter (MFS2)

Overvågning i de forskellige områder og på de forskellige stationstyper er koncentreret om følgende 4 overordnede elementer: i) fysiske og kemiske forhold i vandsøjlen, ii) biologiske forhold i vandsøjlen, iii) hydrografi og massebalance og iv) biologiske forhold på bunden. Overvågningen af miljøfarlige stoffer finder sted i både biota og sedimenter. *Figur 1.1A-D* viser placeringen af stationer, hvor de forskellige typer målinger, som ligger til grund for årets rapport, er foretaget.

Dataoverførsel og rapportering

På grund af systemskift i den danske overvågning er der optrådt en række problemer med overførsel af bundfaunadata fra de regionale enheder til DMU i perioden 2006 - 2007. Derfor bliver kun bundfaunadata fra de åbne indre farvande behandlet i denne rapport. Der arbejdes på en løsning af problemet, så alle bundfaunadata fra NOVANA kan indgå i den næste rapport.

Foruden data fra det danske overvågningsprogram indgår svenske og norske vandkemiske data fra de fælles havområder i denne rapportering. Disse data er ikke offentligt tilgængelige fra den nationale marine database, MADS.

De marine data vurderes og rapporteres i nærværende landsdækkende havrapport om tilstand og udvikling i miljø- og naturforholdene i de danske farvande. De overordnede resultater og konklusioner fra de forskellige NOVANA-delfprogrammer indgår i den faglige sammenfatning 'Vandmiljø og natur 2007' (*Jensen m.fl. 2009*).

Formålet med rapporteringen

Den landsdækkende havrapport har til formål: i) at beskrive tilstanden og udviklingen i miljø- og naturforholdene, ii) at gøre rede for transporterne af næringsstoffer i de danske farvande og iii) at vurdere, om de fastsatte kvalitetsmål for vandmiljøet er opfyldt.

Naturtilstanden og udviklingen i de danske farvande er vurderet i årsrapporter siden 1990. Indikatorerne for den aktuelle tilstand og udviklingen i rapporterne har i stort omfang været de samme gennem årene, da de vurderes at have den fornødne robusthed. Indikatorerne fokuserer på forekomst og effekter af forurenende stoffer, først og fremmest på næringsstoffer og miljøfarlige stoffer.

Kendskab til udvekslingen af vand, salt og næringsstoffer mellem Skagerrak og Østersøen gennem de indre danske havområder er vigtig for at kunne vurdere betydningen af danske tilførsler af næringssalte i forhold til eksterne kilder. Disse aktiviteter er forsat i NOVANA-programmet med beregning af vand- og næringsstoftransporter i hvert af årene 2004 til 2007.

Den danske miljøforvaltning er midt i en omstillingsproces, hvor det tidligere regionale amtslige målsætningssystem er ved at blive afløst af et nyt system, der tager udgangspunkt i EU's habitat- og vandrammedirektiv.

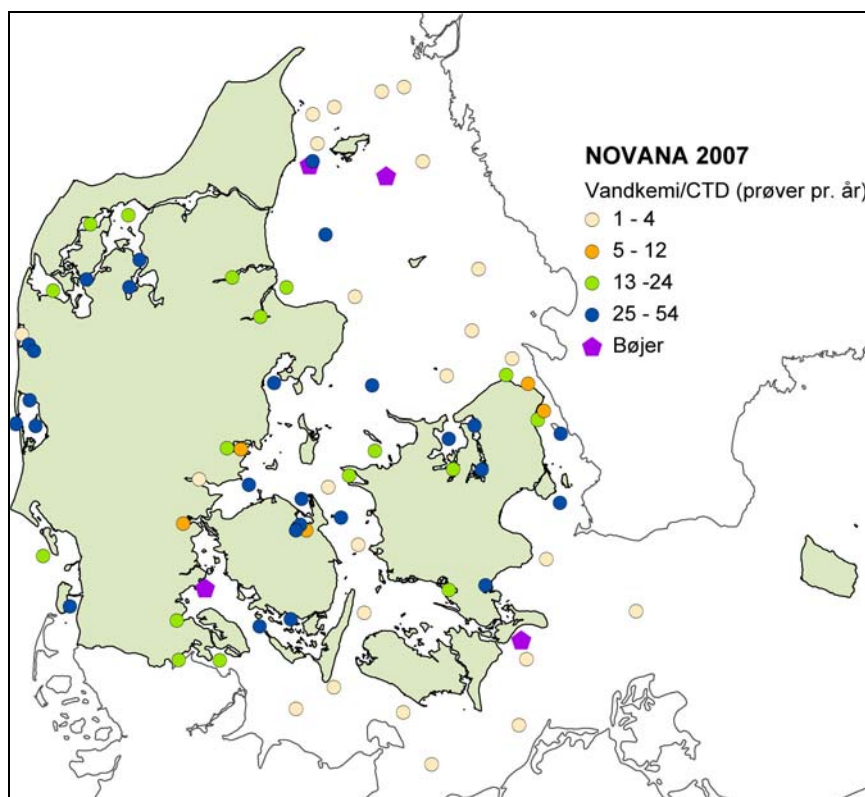
I disse år foregår der et stort internationalt arbejde med at interkalibrere og fastlægge miljøkvalitetsmål for vandområder i henhold til vandrammedirektivet. Der foreligger endnu kun fastlagte målsætninger for enkelte tilstandsvariable i enkelte interkalibreringsområder. Bundfaunaen i Kattegat er en af de variable, der er kalibreret (*Carletti m.fl. 2008*).

I denne rapport har vi valgt at præsentere resultater fra analyser for nogle af de kvalitetselementer, der arbejdes med at interkalibrere. For de pågældende tilstandsvariable er der beskrevet scenarier, hvor mulige målsætninger er anvendt for at eksemplificere deres anvendelighed.

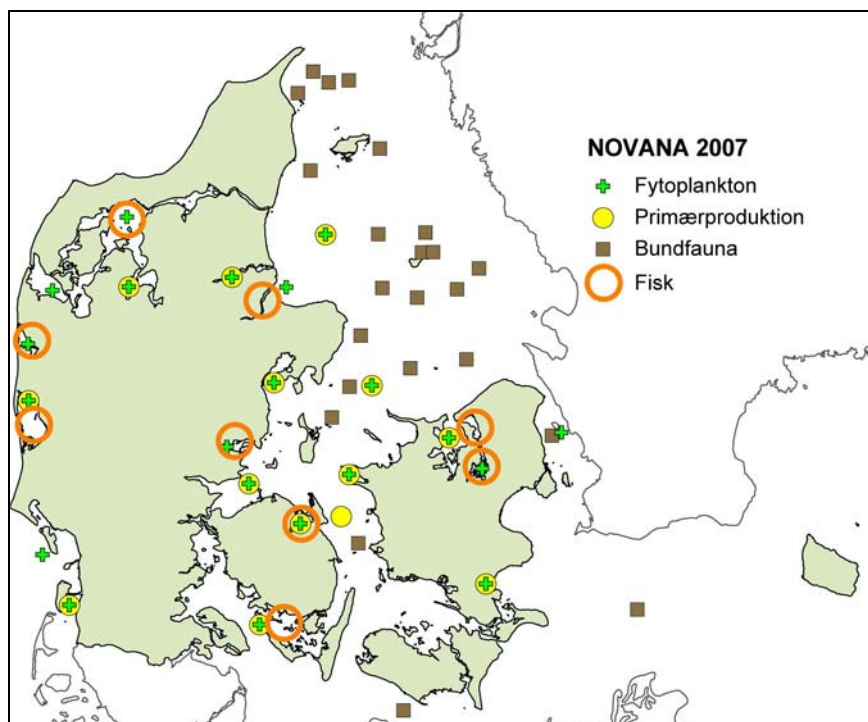
Som følge af de generelt manglende målsætninger og fortsat manglende metoder til at udarbejde samlede tilstandsvurderinger i 1) habitatområder, i 2) vandområder i henhold til vandrammedirektivet og i 3)

åbne farvande, som fremover vil være dækket af det nye marine strategidirektiv, er denne rapport's beskrivelse af havmiljøets status holdt i mere generelle vendinger.

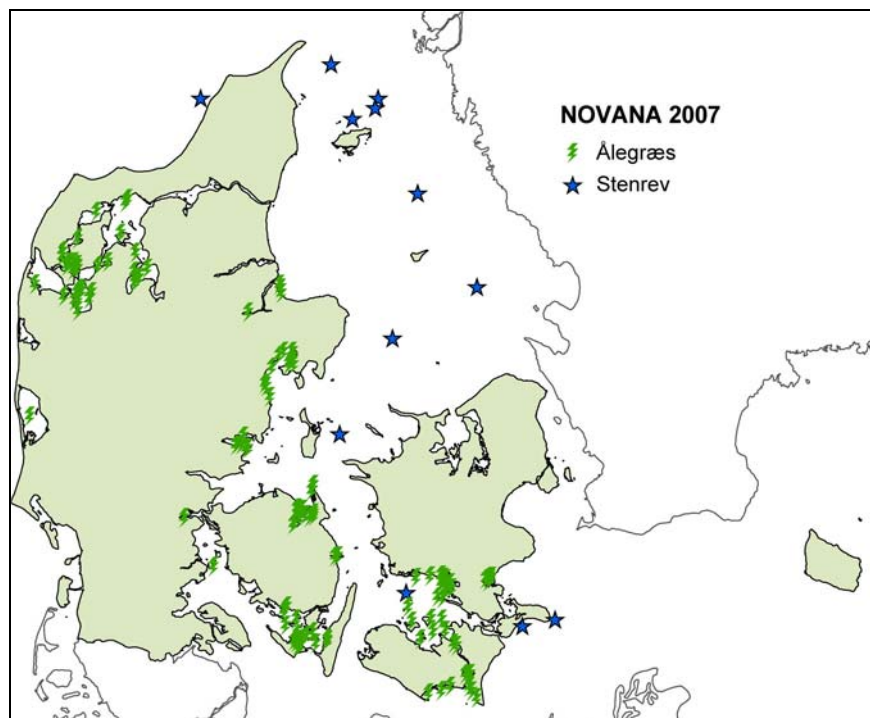
Figur 1.1A. Prøvetagningsstationer for vandkemi og CTD i 2007, som er anvendt i denne rapportering. Bøjestationer, hvis data også er anvendt, er ligeledes vist på figuren.



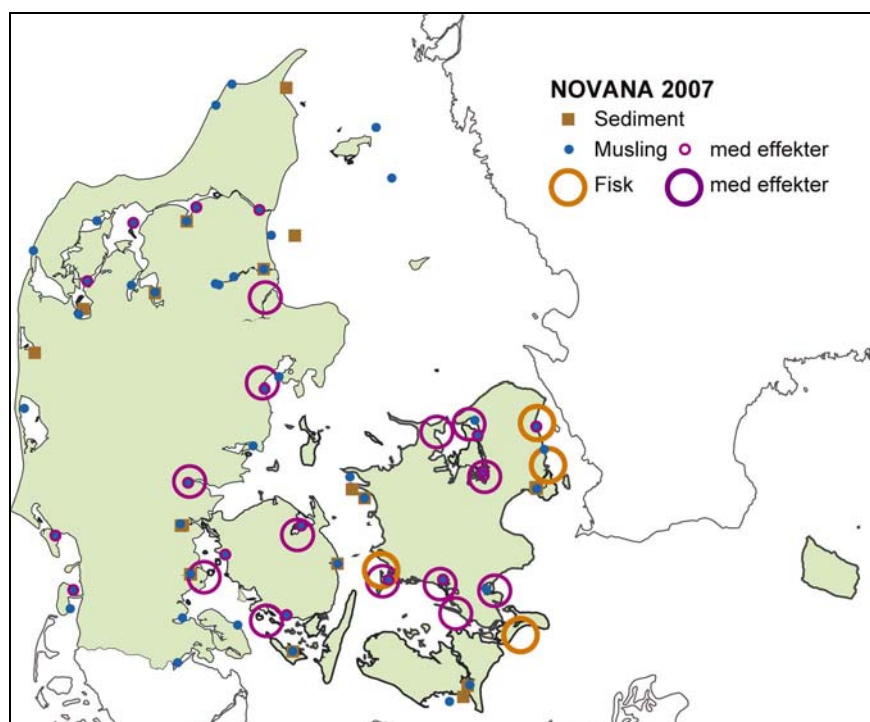
Figur 1.1B. Prøvetagningsstationer for fytoplankton, primærproduktion, bundfauna og fisk indsamlet i 2007, som er anvendt i denne rapportering.



Figur 1.1C. Prøvetagningsstationer og områder med ålegræs og makroalgevegetation på stenrev i Natura 2000-områder, indsamlet i 2007 og anvendt i denne rapportering.



Figur 1.1D. Prøvetagningsstationer og områder, hvorfra data for tungmetaller, miljøfremmede stoffer og biologiske effekter er anvendt i denne rapport. Data indsamlet for at beskrive biologiske effekter af miljøfarlige stoffer er fordelt på 2 typer: lysosomal stabilitet i blåmuslinger (røde cirkler om blå stationer) og ålekvabeyngel (store røde cirkler).



Del 1 – Påvirkninger af de danske farvande

Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er betinget af naturlige og af menneskeskabte 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 menneskeskabte 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. kan spille en rolle lige som indførsel af fremmede arter.

Der er også år til år variationer 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.

Ved vurdering af tilstand og udvikling i miljø- og naturforholdene i de enkelte farvande er det derfor nødvendigt at inddrage variationerne i de naturlige og menneskeskabte påvirkninger for at bestemme, om målsætningen er opfyldt, eller den generelle udvikling går i den ønskede retning.

Mængden af næringsstoffer i havet 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 forbruger ilt til at nedbryde algerne. Hvis vandsøjlen er lagdelt, og der ikke tilføres tilstrækkeligt med ny ilt til bunden, kan der opstå iltsvind, så bunddyr og planter dør, og fisk må flygte væk.

Øget eutrofiering kan også øge risikoen for opblomstring af skadelige 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 og derved bevirke, 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 kan på anden måde have betydning for deres overlevelse. I en række kystvande og for visse stoffer også i åbne danske farvande forekommer forhøjede niveauer af en række metaller og organiske forbindelser, og de kan dermed udgøre en potentiel risiko for økosystemet. I visse tilfælde kan stofferne kobles til specifikke biologiske effekter, fx TBT og ændringer af køns karakterer (imposex/intersex) hos havsnegle.

2 Klimatiske forhold

Jacob Carstensen

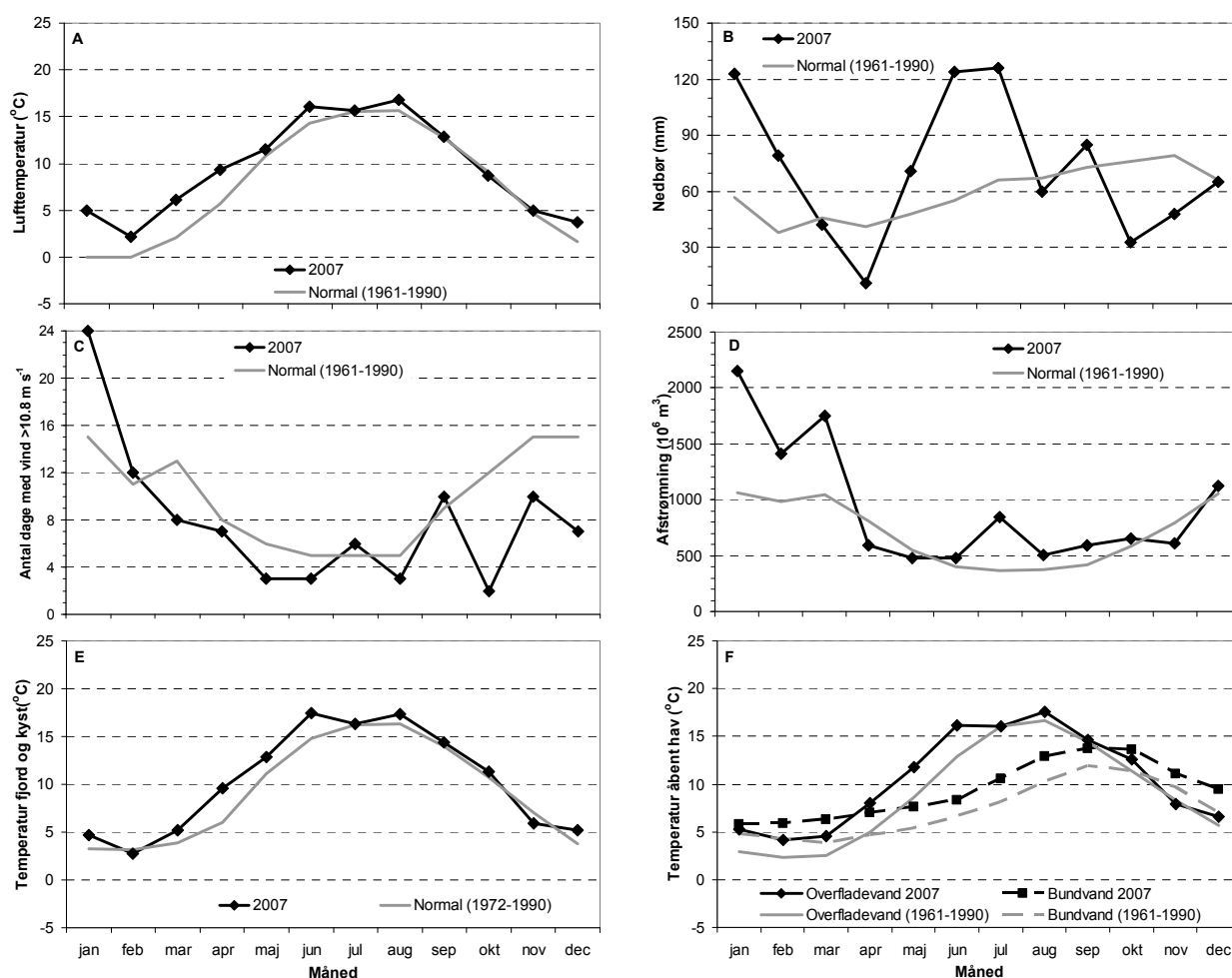
Miljøtilstanden i de marine områder er kraftigt påvirket af de klimatiske forhold. Temperaturen påvirker de biologiske processer foruden lagdeling og opløseligheden af ilt i vandet. Vinden påvirker opblanding af vand i overfladen og den advective transport. Nedbør og afstrømning har betydning for den mængde næringssalte, som udvaskes fra jorden. Der kan være store år til år variationer i disse klimatiske forhold, som kan medvirke til at forklare den tidsmæssige udvikling i den marine miljøtilstand.

De klimatiske forhold i Danmark i år 2007 beskrives med arealvægtede gennemsnit af temperatur, nedbør og vind for Jylland og øerne fra Danmarks Meteorologiske Instituts klimarapport for 2007 (Cappelen 2008), afstrømningsdata sammensat af opgørelser fra Hedeselskabet (1942 - 1989) og DMU (1990 -

2007) 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 - 2007) (Afdelingen for Vind-energi, Risø), H.C. Ørsted Institut i København (1993 - 2007) og Højbakkegård ved Høje Taastrup (1974 - 2000). De meteorologiske tidsserier er sat sammen ved interkalibrering af overlappende perioder.

Vinter (januar - februar)

Vinteren 2007 havde usædvanlig høje temperaturer (4°C over normalen og dermed den hidtil varmeste) med dobbelt så meget nedbør som normalt (figur 2.1). Specielt januar var meget blæsende med 3 kraf-



Figur 2.1. Årsvariation i 2007 sammenholdt med standardperioden 1961 - 1990 for A) lufttemperatur, B) nedbør, C) hyppighed af vindhændelser med døgnmiddelvind over $10,8\text{ m s}^{-1}$, 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 amterne.

tige lavtrykspassager fra vest, hvorimod februar kortvarigt var domineret af kraftige vinde fra øst (figur 2.3). Vinterafstrømningen var 74% højere end normalen grundet den store nedbør. Havtemperaturerne var også høje i januar ($1 - 3^{\circ}\text{C}$ over normalen), både for overflade- og bundvand, men en kortvarig kuldeperiode i februar fik temperaturerne i fjordene ned på normalt niveau.

Forår (marts - maj)

Foråret gav anledning til endnu en varmere rekord med temperaturer $2,8^{\circ}\text{C}$ over normalen, specielt marts og april var varme. Nedbørsmængden var normal med marts og april som relativt tørre og maj relativt våd. Afstrømningen var høj i marts (67% over normalen) men faldt til under normalen i april og maj. Vinden var lidt svagere end normalt med færre kraftige vindhændelser. Temperaturen i havet var fortsat høj ($2 - 3^{\circ}\text{C}$ over normalen).

Sommer (juni - august)

Vejret ændrede karakter midt i juni med masser af regn, men temperaturen og vinden var som i en gen-

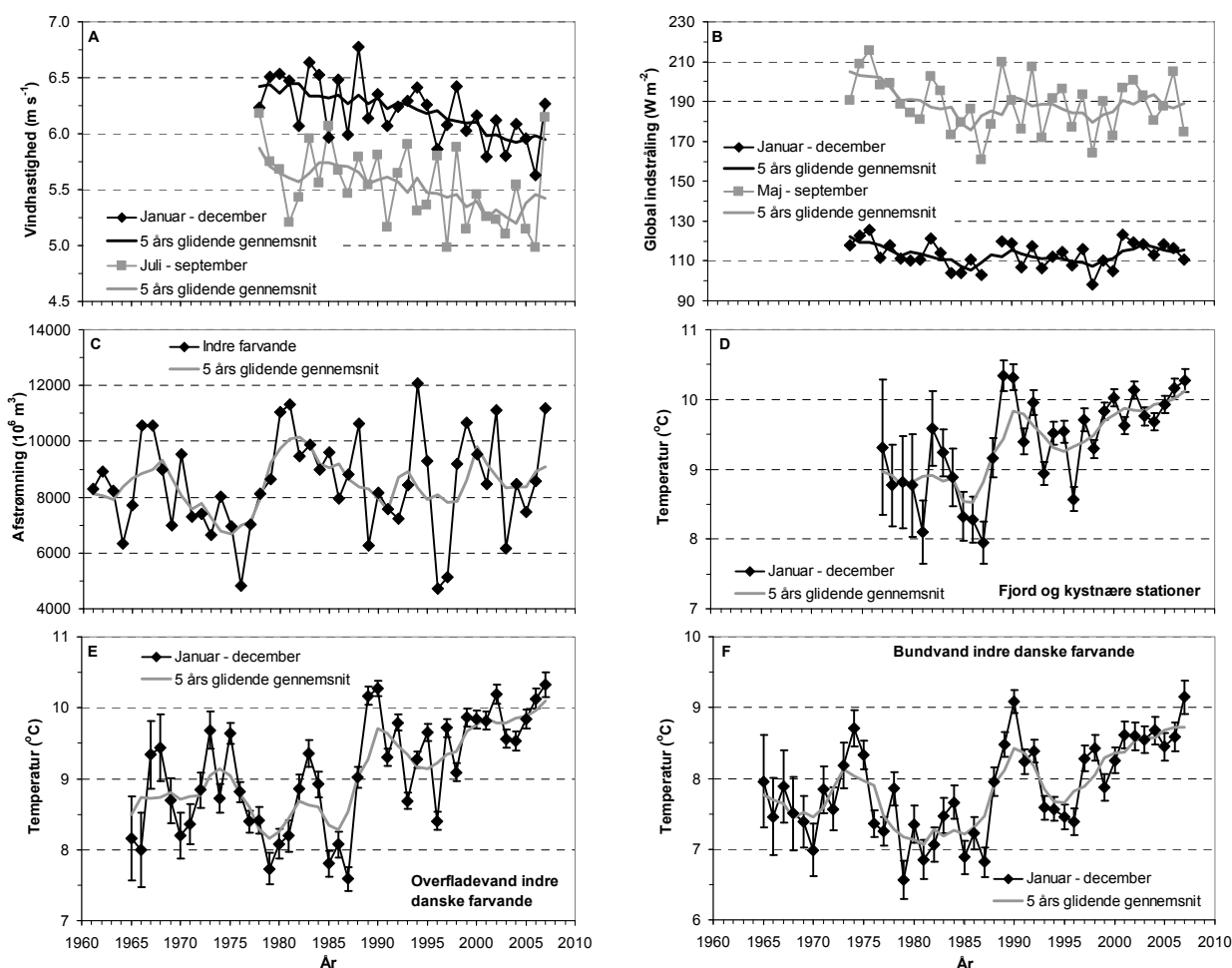
nemsnitssommer. Sommeren blev den tredje vådeste registreret, og det resulterede i mere end dobbelt så stor afstrømning i juli, og 59% højere afstrømning for sommeren som helhed. Overfladetemperaturen i havet var stadig høj i juni, men faldt til normalen i juli og august. Bundvandet var derimod stadig omkring 2°C varmere end normalt.

Efterår (september - december)

Efteråret 2007 kan næsten betegnes som normalt i forhold til standardperioden, dog med lidt mindre nedbør, lidt mere afstrømning og lidt svagere vind uden store storme. September var dog forholdsvis blæsende. Kun bundvandet havde fortsat høje temperaturer med ca. 2°C over normalen.

Året som helhed

Det mest karakteristiske ved 2007 var, at varmeperioden fra 2006 fortsatte frem til juni måned, hvor kraftig nedbør og lavere temperaturer satte ind. Sensommeren og efteråret var næsten normalt. Afstrømningen i vintermånederne og juli var meget store. Temperaturen i de øvre vandmasser fulgte



Figur 2.2. Tidlig udvikling for A) vindhastighed, B) global indstråling, C) afstrømning til de indre farvande, D) vandtemperatur i fjorde og kystnære områder, E) overfladevandtemperatur i de 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. Middeltemperaturer er angivet med 95% konfidensgrænser.

tendenserne for lufttemperaturen, hvorimod bundvandet var omkring 2° C varmere end normalt gennem hele året. Vinden var lidt mere vestlig end normalt, men ikke usædvanligt i forhold til andre år (figur 2.3).

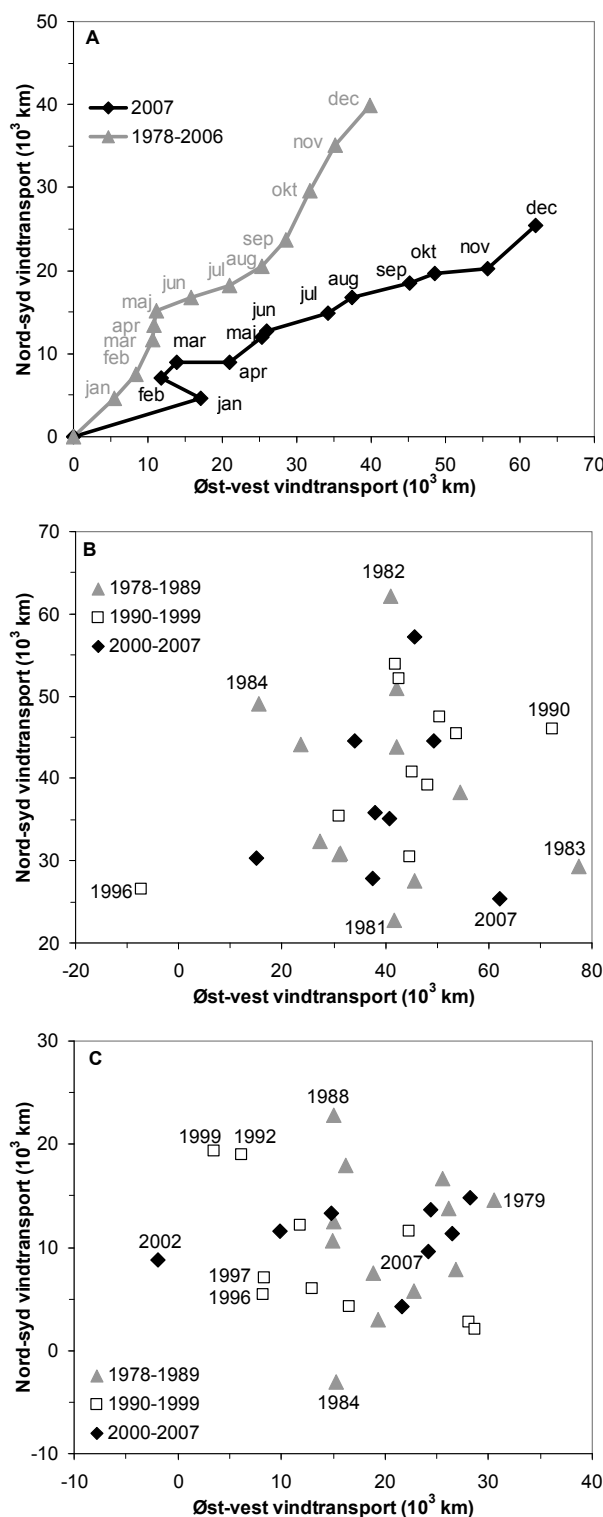
Tidslig udvikling

Den årlige middel vindhastighed er aftaget fra 6,4 m s⁻¹ i 1980'erne til under 6,0 m s⁻¹ i de senere år, selvom 2007 var mere blæsende end de seneste 8 år (figur 2.2A). I 2007 var middel vindhastigheden fra juli til september, hvor iltsvind i lavvandede områder hyppigt optræder, den næsthøjeste i de seneste 30 år, hvor der generelt har været en faldende tendens. Selvom vinden er blevet svagere, er der ingen indikationer af, at vindretningen generelt har ændret sig siden 1978 (figur 2.3). Den dominerede vindretning er stadig fra sydvest, men i 2007 var tendensen mere vestlig end sydlig (figur 2.3B). Vindtransporten i maj - september, som kan være afgørende for transporten og opblandingen af bundvand i de indre farvande, var lidt mere fra vest end normalt.

Indstrålingen var i 2007 på niveau med tidligere år for året som helhed, hvorimod indstrålingen i de varme måneder var blandt de lavere (7,5% under middel) i de 33 år med data (figur 2.2B). 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. m³ om året, hvilket faldt til 7.500 mio. m³ i de relativt tørre 1970'ere, hvorefter niveauet steg til 9.400 mio. m³ i de våde 1980'ere. Siden 1990 har afstrømningen i middel været på niveau med standardperioden (1961 - 1990), om end det karakteristiske ved denne periode er de store variationer mellem årene. 2007 havde den fjerde største afstrømning i perioden 1942 - 2007.

Temperaturen i de danske farvande er steget med ca. 1° C i løbet af de sidste 40 år, og 2007 var det hidtil varmeste år for både overflade- og bundvand i de indre danske farvande (figur 2.2D - F). I fjerde og kystvande var 2007 det tredje varmeste år efter 1989 og 1990. Tendenserne er de samme for fjerde, kystnære områder, 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 op imod 1,5° C.



Figur 2.3. Den retningsbestemte vindtransport beregnet som vektorsummen af den øst-vest og nord-syd hastigheds-komponent. A) årsvariationen 2007 sammenholdt med tidligere år, B) den årlige vindtransport og C) vindtransporten i månederne maj til september. Datakilder: Sund og Bælt Holding, Forskningscenter Risø, H.C. Ørsted Institutttet.

Sammenfatning

- Året 2007 var meget regnfuldt og det medførte store afstrømninger fra land, specielt i vintermånederne og juli.
- Vinden var generelt mere vestlig end normalt, men varierede meget fra måned til måned. Specielt sensommeren og efteråret var domineret af vestlig vind.
- Det var relativt varmt i 2007 frem til juli måned, hvor en længere varmeperiode blev afbrudt af mere gennemsnitlige temperaturer.
- Temperaturen er steget med ca. 1° C i løbet af de sidste 40 år.
- Indstrålingen i sommermånederne var relativ lav, men på middelniveau for året som helhed.

3 Stoffilførsler fra land

Jens Bøgestrand, Niels Bering Ovesen, Alf Josefson & Karsten Dahl

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 iltvind, så bunddyr og planter dør. Eutrofiering ændrer således struktur og funktion af hele det marine økosystem.

Datagrundlag

Gennem det landsdækkende overvågningsprogram er der etableret tidsserier for månedlige udledninger af ferskvand, kvælstof og fosfor fra Danmark til de 9 hovedfarvande for perioden 1990 - 2007.

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

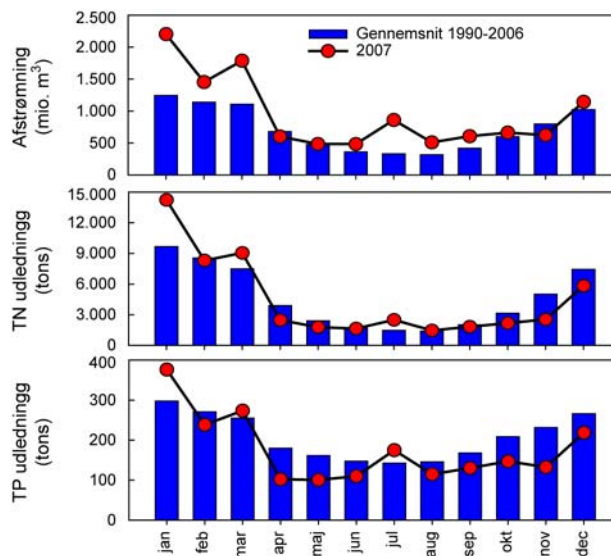
For den umålte del af landet er vandafstrømningen modelleret med DK-modellen som grundlag. Modellen er korrigeret til målte data fra vandløb, hvorefter de modellerede data er aggregeret i GIS.

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

Stoffilførsler i 2007

Ferskvandsafstrømningen til de indre farvande var ca. 34% højere i 2007 end gennemsnittet 1990 - 2006. Afstrømningen var specielt stor i det første kvartal og i juli (figur 3.1).

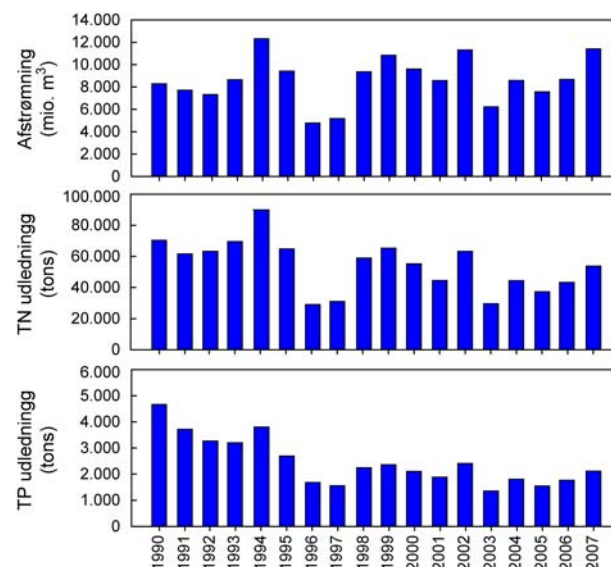
I 2007 blev der i alt tilført ca. 80.000 tons N og ca. 2.800 tons P til de ni farvandsområder i Danmark. Tilførslen til indre danske farvande var på ca. 54.000 tons N og 2.100 tons P. Kvælstoftilførslen til indre danske farvande svarede til gennemsnittet for perioden 1990 - 2006. Tilførslen var større end i de 4 foregående år, hvilket hovedsageligt skyldes den store ferskvandsafstrømning (figur 3.1).



Figur 3.1. Månedstilførsel af ferskvand, kvælstof (TN) og fosfor (TP) via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de indre farvande med tilstødende fjorde i 2007 sammenlignet med middelværdierne for perioden 1990 - 2006.

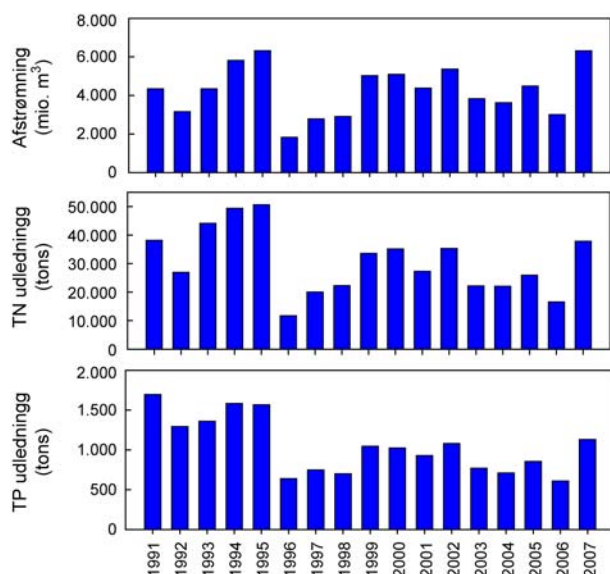
Udvikling i stoffilførsler

Ferskvandsafstrømningen udviste i perioden 1990 - 2007 store variationer fra år til år uden nogen overordnet tendens. Afstrømningen til indre danske farvande er vist i figur 3.2. Udviklingen i kvælstoftilførslen viste tilsvarende stor år til år variation, men samtidig en faldende tendens. Fosforudledningen viste et klart signifikant fald fra 1990 frem til midten af 1990'erne (figur 3.2).



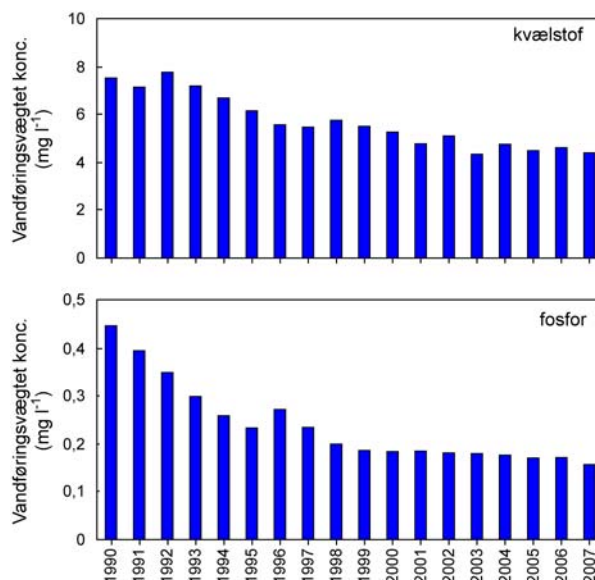
Figur 3.2. Ferskvandsafstrømningen og den samlede tilførsel af kvælstof og fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de indre farvande med tilstødende fjorde i perioden 1990 til 2007.

Tilsvarende udvikling for indre danske farvande af vinterværdier (november - februar) af afstrømning og stoftilførsler er vist på figur 3.3. Afstrømningen var i 2006/2007 på niveau med rekorden i 1995 for den undersøgte periode fra 1990 til 2007. Kvælstof- og fosfortilførslerne i 2006/2007 var estimeret til de højeste værdier siden 1995.



Figur 3.3. Vinterværdier (november - februar) af ferskvandsafstrømningen og den samlede tilførsel af kvælstof og fosfor via vandløb og direkte spildevandsudledninger til de indre farvande med tilstødende fjorde i perioden 1991 til 2007.

År til år variationerne skyldes variationer i nedbør og afstrømning. Det gælder især for kvælstof. Tager man højde for variationer i vandafstrømningen ved at regne på vandføringsvægtede koncentrationer, er kvælstofudledningerne til fjorde og kystvande fra 1990 til 2007 reduceret med 48% og fosforudledningerne med 68% (figur 3.4) for hele Danmark. For de indre danske farvande er de tilsvarende tal henholdsvis 50% og 73%. Reduktionen i fosforudledningen er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og skyldes primært forbedret spildevandsrensning.



Figur 3.4. Vandføringsvægtede koncentrationer af total kvælstof og total fosfor 1990 - 2007 for hele Danmark.

Sammenfatning

- Ferskvandsafstrømningen har varieret kraftigt fra år til år og var i 2007 relativt høj. Ferskvandsafstrømningen til de indre farvande var således ca. 34% højere i 2007 end gennemsnittet 1990 - 2006. Afstrømningen var specielt stor i det første kvartal af 2007 samt i juli.
- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen for hele Danmark faldet 48% og fosforudledningen 68% fra 1990 til 2007.
- Reduktionen i fosforudledningen er især sket frem til sidste halvdel af 1990'erne og skyldes primært forbedret spildevandsrensning.

4 Atmosfærisk kvælstofdeposition

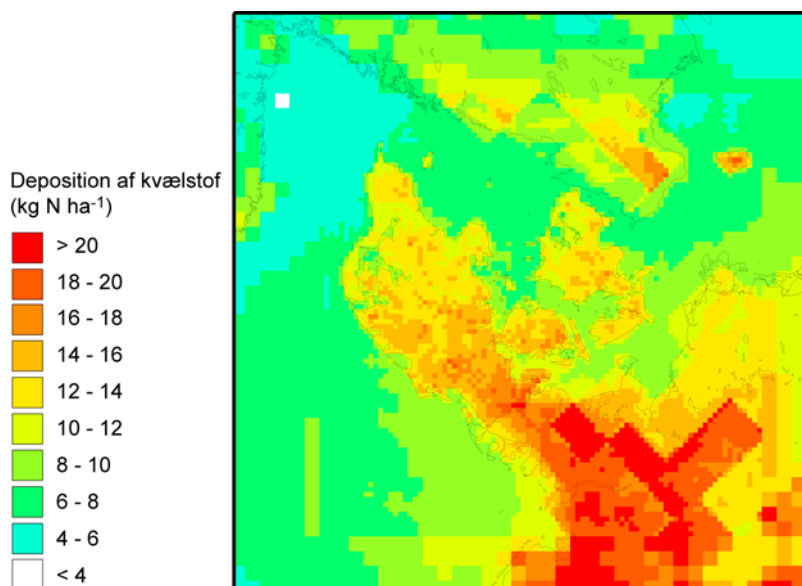
Thomas Ellermann

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 Danmark til de samme områder. Udledningen af næringsstoffer fra land sker til fjorde og kystvande og fortrinsvis om vinteren. Kvælstofdepositionen er langt mere ligelig fordelt, både arealmæssigt og over året. 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. 2009). 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 2006 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 2007. 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.

Tabel 4.1. Kvælstofdeposition til de danske hovedfarvande (+ svensk del af Øresund og Kattegat) i 2007.

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	6,1	29,0	35,1	7,2	48.754	9
2	Skagerrak – Alle danske områder	1,0	4,9	5,9	5,7	10.329	16
3	Kattegat – Svenske områder	0,6	4,0	4,6	6,9	6.743	15
3	Kattegat – Alle danske områder	2,6	9,6	12,2	7,3	16.830	25
4	Nordlige Bælthav	0,8	2,4	3,2	8,1	3.909	28
5	Lillebælt	0,7	1,7	2,3	10,8	2.170	28
6	Storebælt	0,9	3,1	4,0	9,0	4.519	22
7	Øresund – Alle danske områder	0,2	0,8	1,0	7,3	1.336	21
79	Øresund – Svenske områder	0,1	0,6	0,7	7,4	950	17
8	Sydlig Bælthav	0,5	1,8	2,3	9,1	2.547	11
9	Østersøen – Alle danske områder	2,3	8,6	10,9	7,3	14.926	10
	Alle danske farvandsområder	15,0	61,9	76,9	7,3	105.320	14

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:

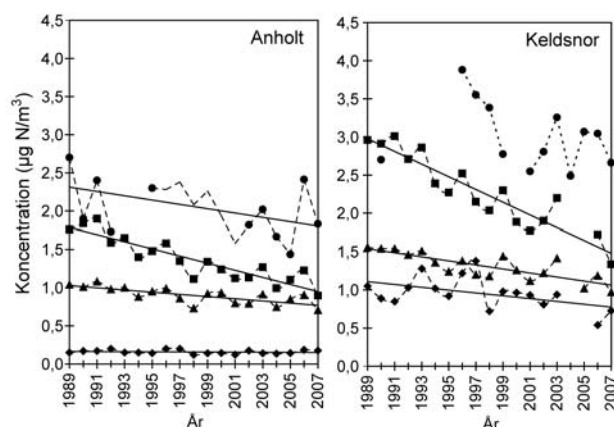
<http://www.dmu.dk/Luft/Luftforurenings-modeller/Deposition/>

Den beregnede totale kvælstofdeposition var i 2007 på 77.000 tons, hvilket er 21% lavere end rapporteret for 2006. Siden rapporteringen for 2006 er der foretaget en nødvendig opdatering af modellen, hvilket har givet en mere nøjagtig beregning af tørdepositionen af kvælstof. Denne modelændring har medført en reduktion i den beregnede tørdepositionen og dermed en ca. 8% lavere samlet deposition af kvælstof. Det resterende fald skyldes et fald i våddepositionen grundet ændringer i de meteorologiske forhold fra 2006 til 2007.

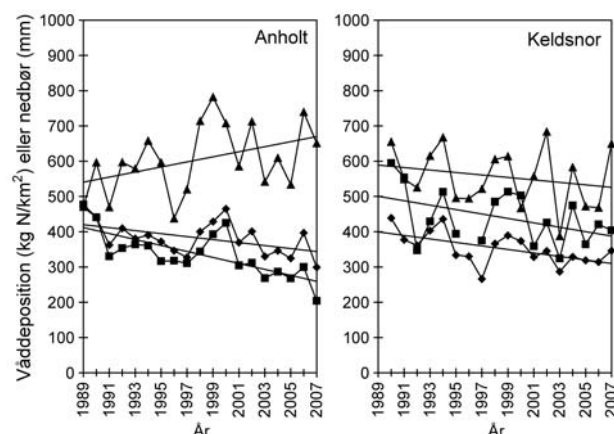
Den samlede deposition af kvælstof til vandoverflader ved målestationen på Anholt og ved Keldsnor kan bestemmes ud fra målingerne af våddepositionen og en tørdeposition beregnet ud fra målinger af luftens indhold af kvælstofforbindelser. Disse beregninger viser, at den samlede kvælstofdeposition i gennemsnit var omkring 6% lavere i 2007 set i forhold til 2006.

Den danske andel af depositionen er i modelberegningerne vurderet til ca. 14%, men varierer fra 28% i Lillebælt og det nordlige Bælthav til 9 - 11% 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 målestationer, og ved midling over alle målestationer 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. 26% for perioden 1989-2007. Der er store variationer mellem årene på grund af variationerne i de meteorologiske forhold. Navnlig 1998 og 1999 ud-



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 - 2007 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 nedbørsmængde (▲) på målestationerne på Anholt og ved Keldsnor i perioden 1989 - 2007. Målingerne ved Keldsnor er middel af målingerne ved Bagenkop og Føllesbjerg. 1.000 kg N km⁻² svarer til 10 kg N ha⁻¹.

mærkede sig ved høj våddeposition, hvilket skyldtes store nedbørsmængder i disse år.

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

Jørgen Bendtsen

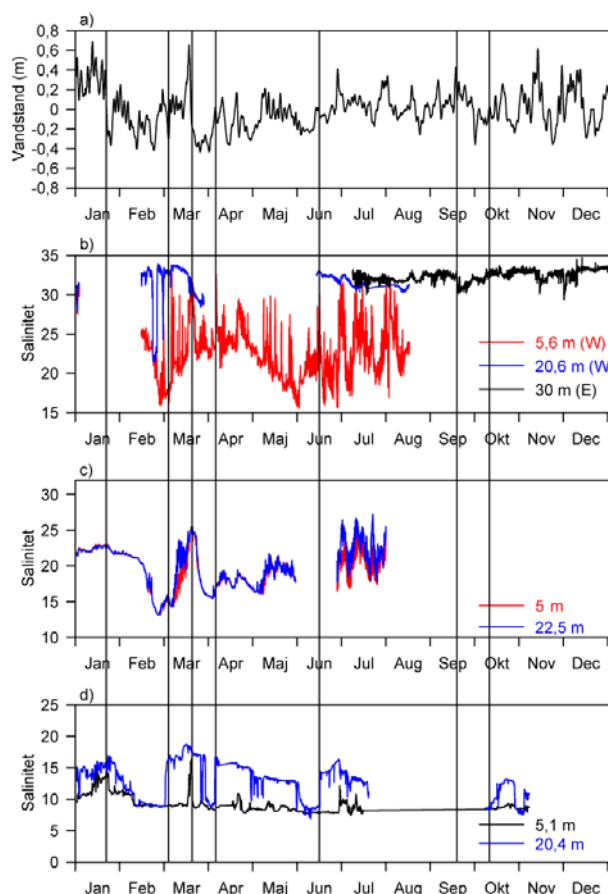
Introduktion

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 transportere kan være betydelige i forhold til den øvrige tilførsel af stoffer fra land, atmosfæren og fra den interne belastning, er der blevet udført modelberegninger af disse igennem hele NOVANA-perioden. Derudover giver bøjemålinger fra det nordlige Kattegat, Lillebælt samt fra Hjelm Bugt direkte observationer af variationen i de hydrografiske forhold gennem året. 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 bøjedata og modelresultater downloades direkte, og derudover er årsrapporter tilgængelige med modelresultater af temperatur, salinitet, strøm og stoftransporter for 2007 (af DHI - Institut for Vand og Miljø) samt en tilhørende evalueringsrapport af modelleringen for 2007 (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).

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, der i mange tilfælde også reflekteres i bøjemålinger af salinitet ved Læsø øst, i Lillebælt og i Hjelm Bugt ud for Møn (figur 5.1). Perioder med stigende vandstand i Skagerrak, pga. vindstuvning, medfører generelt en indstrømning af vand fra Skagerrak med en høj sa-

linitet, 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.



Figur 5.1. Oversigt over hydrografi i de danske farvande 2007. a) Vandstandsmålinger ved Skagen er lowpass-filtret, så kun variationer med perioder længere end en dag er vist. b) Bøjemålinger ved Læsø Øst (E) og i Læsø Rende (W), c) Lillebælt og d) Hjelm Bugt af overflade- og bundsaliniteter. Lodrette hjælpelinjer er markeret ved markante ændringer i forholdene. For bøjemålingerne er der længere perioder, hvor målingerne ikke blev foretaget på grund af driftsforstyrrelser.

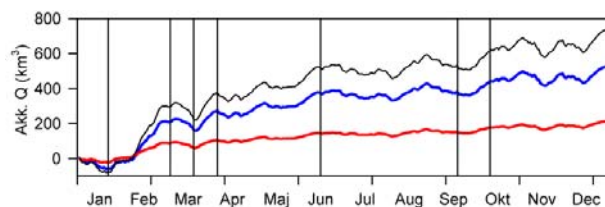
Forholdene i starten af 2007 var præget af indstrømmende vand og høj salinitet i de sydlige dele af de indre danske farvande. Fra sidst i januar (se vertikal hjælpelinje den 21/1 i figur 5.1) var der en generel udstrømning fra Østersøen, der medførte et længerevarende fald i vandstand og i bundsaliniteten først ved Hjelm Bugt og senere ved Lillebælt. Det lavsaline vand forblev i området indtil starten af marts (den 4/3), hvorefter indstrømning af vand fra Skagerrak

fik saliniteten til at øges i området, så den toppede omkring den 20/3 ved målebøjen i Lillebælt. Herfra og frem til midten af juni var der generelt en aftagende salinitet i området afbrudt af mindre indstrømningshændelser fra Skagerrak, der kortvarigt øgede bundsaliniteten. Et eksempel ses omkring den 5/4, hvor vandstanden ved Skagen steg, og efterfølgende var der en kortvarig stigning i saliniteten i Lillebælt, og vandsøjlen blev igen tydeligt lagdelt ved Hjelmsø Bugt. I juni og juli øgedes bundsaliniteten ved Lillebælt igen til niveauet fra marts måned, og målinger fra Læsø øst bøjlen viste en generel høj salinitet. I midten af september ses et fald i saliniteten ved Læsø øst bøjlen, som tyder på en generel svag indstrømning indtil midten af oktober. Ud fra de begrænsede målinger i resten af året, ses der ingen bemærkelsesværdige begivenheder, og dette støttes af modelresultater, som er beskrevet i årsrapporten for havmodellen.

Beregninger af akkumulerede stoftransporter

Modelberegninger fra NOVANA-havmodellen for 2007 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 Hasenøre (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 671 km³ i 2007 er betydeligt større, mens at gennemsnitstransporten i 2004 - 2007 ligger lidt over middel (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 afstrømning i starten af det efterfølgende år. Derfor kan en del af den store udstrømning i 2007 tilskrives en større indstrømning til Østersøen i slutningen af 2006, som også var årsag til den relativt lille transport opgjort for 2006 (tabel 5.1). Transporterne afspejler generelt den variation, der ses fra bøjemålingerne i figur 5.1. Den generelle indstrømning i starten af januar medførte, at vand akkumulerede i Østersøen frem mod den 21/1, hvor den første større udstrømning fandt sted. Efterfølgende strømmede der omkring 300 km³ vand ud af Østersøen frem mod midten af februar i overensstemmelse med bøjemålingernes registreringer af lavere salinitet. Tilsvarende betyder indstrømning i starten af marts, at den akkumulerede transport blev reduceret frem mod starten af april. I resten af året ses der ikke større

ind- og udstrømningshændelser. Middeltransporten i modellen i perioden 2004 - 2007 er 520 km³, hvilket er ca. 10% 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 2007 henover et snit i det sydlige Kattegat fra Griben til Hasenøre (blå), det nordlige Øresund (rød) og den samlede transport igennem de to snit (sort).

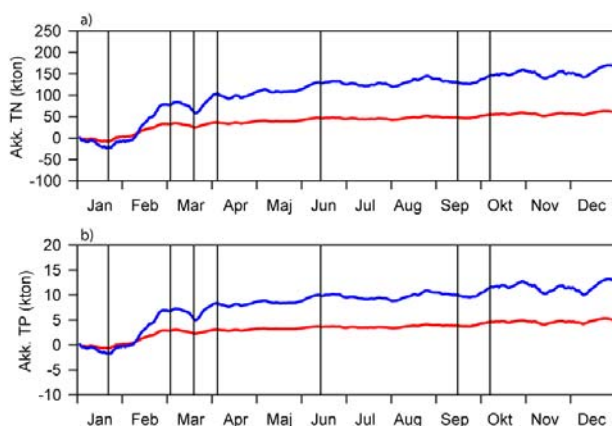
Tabel 5.1. Den årlige akkumulerede transport af TN, TP og vandtransport (Q) henover Gribensnittet og Øresundssnittet. Transporterne er beregnet på basis af observerede TN-S og TP-S relationer, som sammenholdes med modelberegninger af volumenfluks og salinitet. Værdierne er bestemt ud fra observerede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

	2004	2005	2006	2007	Middel 2004 - 2007
	TN (1.000 t)	TN (kton)	TN (kton)	TN (kton)	TN (kton)
Øresund	36	42	33	60	43
Griben	99	180	75	166	130
Total TN	135	222	108	226	173
	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)	TP (kton)
Øresund	1,7	4,0	2,3	4,8	3
Griben	3,6	15,1	4,9	12,6	9
Total TP	5,3	19,1	7,2	17,4	12
	Q (km³)	Q (km³)	Q (km³)	Q (km³)	Q (km³)
Øresund	118	146	102	198	141
Griben	387	448	209	473	379
Total Q	505	594	311	671	520

Beregninger af stoftransporter af TN og TP

Transporterne af TN og TP gennem de to snit er vist for 2007 (figur 5.3). 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 266 og 17,4 kton i 2007, hvilket er over middelværdien for perioden, der ligger på henholdsvis 172 og 13 kton for TN og TP. Den relativt høje værdi kan tilskrives de relativt store vand-

transporter igennem snittene i 2007. Transporterne igennem Gribensnippet var omkring 3 gange større end transporterne igennem Øresund. En sammenstilling af de årlige akkumulerede værdier er vist i tabel 5.1, og generelt ses en sammenhæng mellem den årlige udstrømning og den samlede transport af TN og TP, således at store årlige vandtransporter også giver store transport af TN og TP.



Figur 5.3. Den årlige akkumulerede stoftransport i 2007 af a) TN og b) TP igennem de to snit for henholdsvis Gribensnippet (blå) og Øresundssnittet (rød).

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 volumenfluxene 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 volumenflux 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. Dette er ikke en specifik del af NOVANA-modelleringen, og derfor er usikkerhedsbestemmelserne 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 volumenflux (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.

Del 2 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

NOVANA-programmet skal kunne dokumentere udviklingen i miljø- og naturkvaliteten i de danske farvande. Forvaltningen af det danske havmiljø 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 af afgørende betydning, at den påvirkning, som menneskets adfærd afstedkommer, kan identificeres og tolkes så sikkert som muligt.

Mange af de indikatorer, som indgår i overvågningsprogrammet, påvirkes i større eller mindre grad af de klimatiske forhold. 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. Miljø- og naturforholdene i de danske farvande er desuden påvirket af temperaturen, lysindstrålingen, vandudvekslingen og vindforholdene.

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 underlagt en naturlig variation, som så at sige slører den påvirkning, som

vi mennesker er skyld i. 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 klimakorrectionen, men for planktonalgebiomasse indgår også vind og solindstråling.

Analyserne anvender 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 vi ved reagerer forskelligt på næringsstoftilførsler.

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

Som noget nyt indeholder denne rapport eksempler på nyudviklede tilstandsvurderingsværktøjer, som vil kunne anvendes i forbindelse med den fremtidige vurdering af vandområdernes tilstand i relation til vandrammedirektivet og revområdernes bevaringstilstand i relation til habitatdirektivet.

6 Næringsstofkoncentrationer

Jacob Carstensen

Næringssaltkoncentrationer er tilstandsvariable for vandkvaliteten i de marine områder, idet høje niveauer generelt medfører øget primærproduktion med de deraf afledte effekter. 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. Lavere værdier (N:P < 10:1) indikerer kvælstofbegrænsning og højere værdier (N:P > 20:1) indikerer fosforbegrænsning af primærproduktionen.

Årsmidler af næringssaltkoncentrationer i fjorde og kystnære områder samt i de åbne havområder blev 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 blev 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 – 2007

Da både kvælstof- og fosforkoncentrationerne har været faldende siden midten af 1990'erne, ville niveauerne for 2007 forventelig være lavere end langtidsmidlerne (1989 - 2006).

Den store afstrømning i vintermånederne medførte imidlertid, at kvælstofkoncentrationerne var højere end langtidsmidlerne i årets 3 første måneder for fjorde og kystnære områder (ca. 30 - 40% for DIN og ca. 10 - 15% for TN) og for åbne farvande var kvælstofkoncentrationerne i overfladelaget på niveau med langtidsmidlen.

Fosforkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var også høje i de første 3 måneder af 2007 (ca.

10 - 20% over middel) men faldt derefter til under niveauet for tidligere år. I de åbne farvande var fosforkoncentrationerne i 2007 derimod på niveau med gennemsnittet for 1989 - 2006.

DIP-niveauet i fjorde og kystnære områder var kun 40% højere end niveauet i overfladelaget for de åbne farvande, hvilket er betydeligt mindre end tidligere. Iltforholdene ved bunden var i 2007 bedre end tidligere år, hvilket har betydet en mindre intern belastning med DIP fra sedimentet i sensommer- og efterårsmånederne. DSi-koncentrationerne i overfladevandet var generelt høje i 2007.

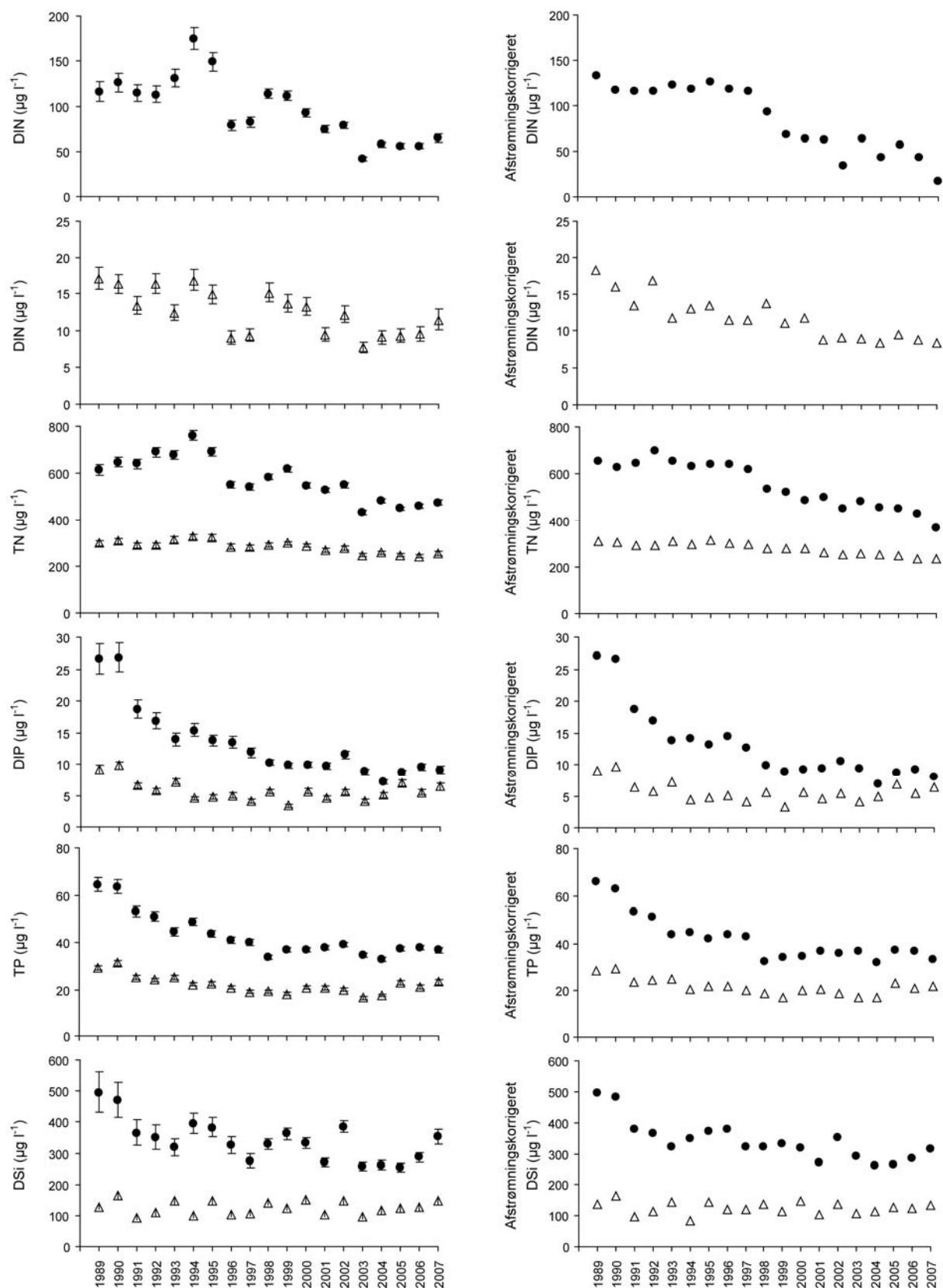
I de åbne farvandes bundvand var DIN-koncentrationerne normale i forhold til tidligere år, hvorimod DIP var højere i sensommer og efterår, og DSi var generelt højere. Dette betyder, at den interne P-belastning har fået relativt større betydning, i forhold til belastningen fra land og atmosfære, for koncentrationerne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

Året 2007 var præget af store afstrømninger i vinter- og sommermånederne, og de store nedbørsmængder betød en øget belastning med næringssalte i forhold til de seneste 5 år.

På DMU's februar togt blev der målt DIN-koncentrationer over 150 $\mu\text{g l}^{-1}$ og salinitet på 32 i bundvandet i Læsø Rende, og normale koncentrationer øst for Læsø (120 - 140 $\mu\text{g l}^{-1}$ og salinitet på 33 - 34). Det kan derfor ikke afvises, at der i 2007 har været indtrængende bundvand, som stammer fra Den jyske Kyststrøm. Den jyske Kyststrøm optræder som et mellemlag i de indre danske farvande ovenover det tungere Skagerrakvand og det lettere udstrømmende Østersøvand, og det kan tydeligst ses som en "forhøjning" på et blandingsdiagram mellem salinitet og DIN.

Udvikling i fjorde og andre kystnære områder

Afstrømningen i 2007 var 34% højere end gennemsnittet for de tidligere år (1990 - 2006). DIN-niveauet var det højeste siden 2002 og TN-niveauet var lidt højere end de seneste par år. Årsmidlerne for DIN og TN har siden det tørre år i 2003 haft et stabilt niveau omkring 55 og 460 $\mu\text{g l}^{-1}$ (*figur 6.1*), hvilket er 50% og 74% af middelniveauet for 1989 - 2002.



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). Middelkoncentrationerne 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.

Korrigeres der for år til år variationerne i afstrømningen, var niveauet i 2007 endog meget lavt. Dette skyldes den relativt store afstrømning i juni og juli, som ikke bevirkede forhøjede koncentrationer i fjorde og kystnære områder. Dette har formentligt betydet en for stor afstrømningskorrektion i 2007, specielt for DIN.

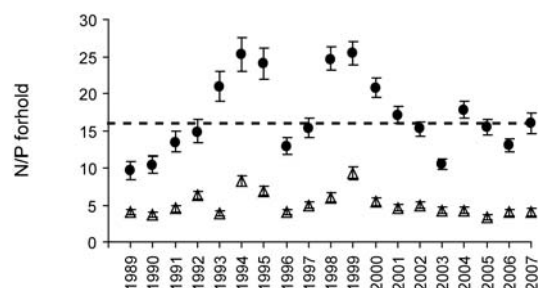
Middelniveauet for DIP og TP har ligget stabilt omkring henholdsvis $10 \mu\text{g l}^{-1}$ og $35 \mu\text{g l}^{-1}$ efter reduktionerne i punktkildebelastningen i starten af 1990'erne, og niveauerne i 2007 svarede til middelniveauet for de sidste 10 år. I forhold til 1989 var fosforkoncentrationerne i 2007 dog reduceret betragteligt med 66% for DIP og 43% for TP.

DSi-niveauerne har været stabile omkring 250 - 400 $\mu\text{g l}^{-1}$ siden starten af 1990'erne og 2007 havde relativt høje DSi-koncentrationer på grund af den store afstrømning. Korrigeres der for afstrømningen, var DSi-niveauet 14% højere end 2003 - 2006, men 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 (jf. kapitel 7).

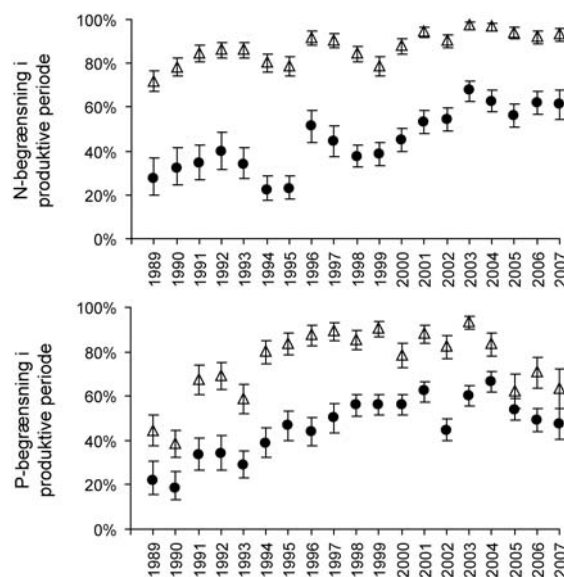
Tendensen med faldende DIP-koncentrationer i starten af 1990'erne efterfulgt af stabilisering og faldende DIN-koncentrationer fra midten af 1990'erne til omkring 2003 efterfulgt af stabilisering viser sig tydeligt i forholdet mellem de to koncentrationer, som toppede i 1999 men i de senere år har stabiliseret sig omkring Redfield-forholdet 16:1 (figur 6.2). 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 3 år, hvilket kan skyldes øget kvælstofbegrænsning og stigende koncentrationer i de åbne farvande (se nedenfor). 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 - 2007.

Udvikling i åbne havområder

Årsmidlen for DIN i 2007 var den højeste siden 2002, hvorimod TN i 2007 kun var lidt højere end de foregående år (3%). Sammenholdt med perioden 1989 -



Figur 6.2. Forholdet mellem opløst uorganisk kvælstof og opløst uorganisk fosfor i overfladevandet (0 - 10 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. Potentielt 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.

2006 var kvælstofkoncentrationerne i 2007 ca. 10% lavere (figur 6.1).

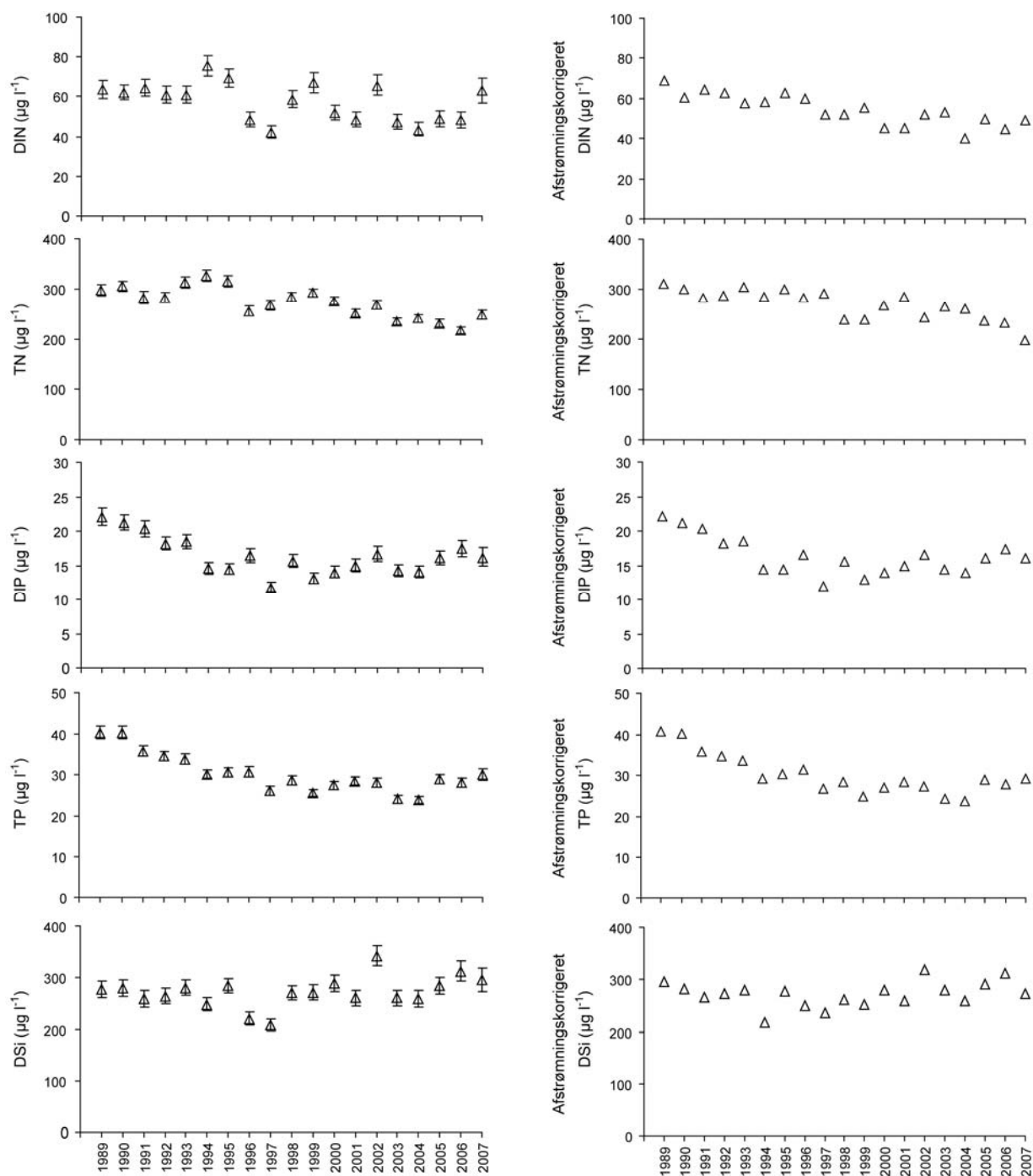
TN nåede i 2007 det hidtil laveste niveau, når der korrigeres for afstrømning, og DIN det næstlaveste. De afstrømningskorrigerede kvælstofniveauer har været faldende stort set siden 1989, dog med en tendens til stagnation for DIN i de senere år, hvilket for DIN og TN har resulteret i et forventet niveau på omkring henholdsvis $9 \mu\text{g l}^{-1}$ og $230 \mu\text{g l}^{-1}$ for et år med middel afstrømning. For henholdsvis DIP og

TP har niveauerne stabiliseret sig omkring $6 \mu\text{g l}^{-1}$ og $20 \mu\text{g l}^{-1}$, dog med en stigende tendens for DIP i de senere år, hvilket skyldes stigende DIP-niveauer i Østersøen og faldende P-begrænsning i kystzonen.

DSi-niveauet har i hele perioden ligget stabilt mellem $100 - 150 \mu\text{g l}^{-1}$. 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 6.2).

De faldende koncentrationer af næringsstoffer i vandet har resulteret i stigende potentiel næringssaltbegrænsning. Væksten af planteplankton er i de seneste 7 år potentielt begrænset i $> 90\%$ af den produktive periode for kvælstof, hvorimod den potentielle fosforbegrænsning i 2007 var på niveau med starten af 1990'erne og har været faldende de seneste 5 år (figur 6.3).



Figur 6.4. Årsmiddelkoncentrationer af DIN, TN, DIP, TP og DSi i bundvandet ($\geq 15 \text{ m}$) 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.

Signifikant faldende niveauer er observeret 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

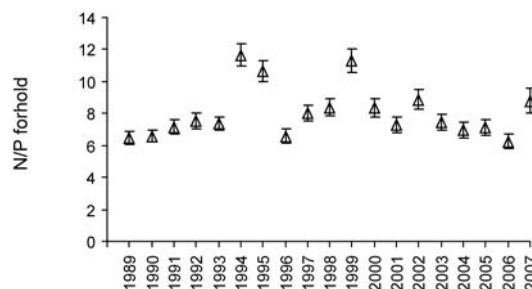
DIN- og TN-koncentrationerne i 2007 var de højeste siden 2002, og efter afstrømningskorrektur var DIN-niveauet stadig lidt højere end de seneste år (figur 6.4), hvilket kunne indikere en svag påvirkning af indstrømningen fra Den jyske Kyststrøm.

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 $17 \mu\text{g l}^{-1}$, hvilket skal ses i relation til generelt stigende iltsvind i perioden og øgede DIP-koncentrationer i Østersøen. I 2007 var DIP-niveauet ikke specielt højt i forhold til de seneste år, hvilket skyldes de relativt gode iltforhold i 2007.

TP-koncentrationen i 2007 var den højeste i de seneste 10 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, men ligesom DIP har der været en faldende tendens frem til 1997 efterfulgt af stigende koncentrationer, idet 2007 havde det tredje højeste niveau kun overgået af 2002 og 2006. 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, men var dog relativt højt i 2007 (figur 6.5).

Koncentrationerne af TN og TP er faldet signifikant gennem hele perioden, og de afstrømningskorrigerede næringssalte var alle signifikant faldende ($P < 0,05$) med undtagelse af DSi.



Figur 6.5. Forholdet mellem opløst uorganisk kvælstof og opløst uorganisk fosfor for bundvandet (≥ 15 m) i de indre danske farvande beregnet ved tresidet variansanalyse (se Bilag 1) efter log-transformation.

Sammenfatning

- Kvælstofkoncentrationerne i vinteren 2007 var høje grundet den store afstrømning fra land. Den store afstrømning i sommermånederne havde en mindre effekt på kvælstofkoncentrationerne.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne udviser klare faldende tendenser siden 1989, især når der tages højde for år til år variationerne i ferskvandsafstrømningen, dog med en tendens til stagnation for fosfor efter 1997 og et mindre fald for kvælstof siden 2002.
- Disse resultater tilskrives i stor udstrækning Vandmiljøplan I for fosfor og Vandmiljøplan I og II for kvælstof. 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.
- 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 Nordsøen.

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 spise 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 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 fra SMHI), er benyttet til at beskrive udviklingen fra 1989 og frem til og med 2007. 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 et al. 2005*). Metoden inddrager således ikke andre klimatiske forklaringsvariable.

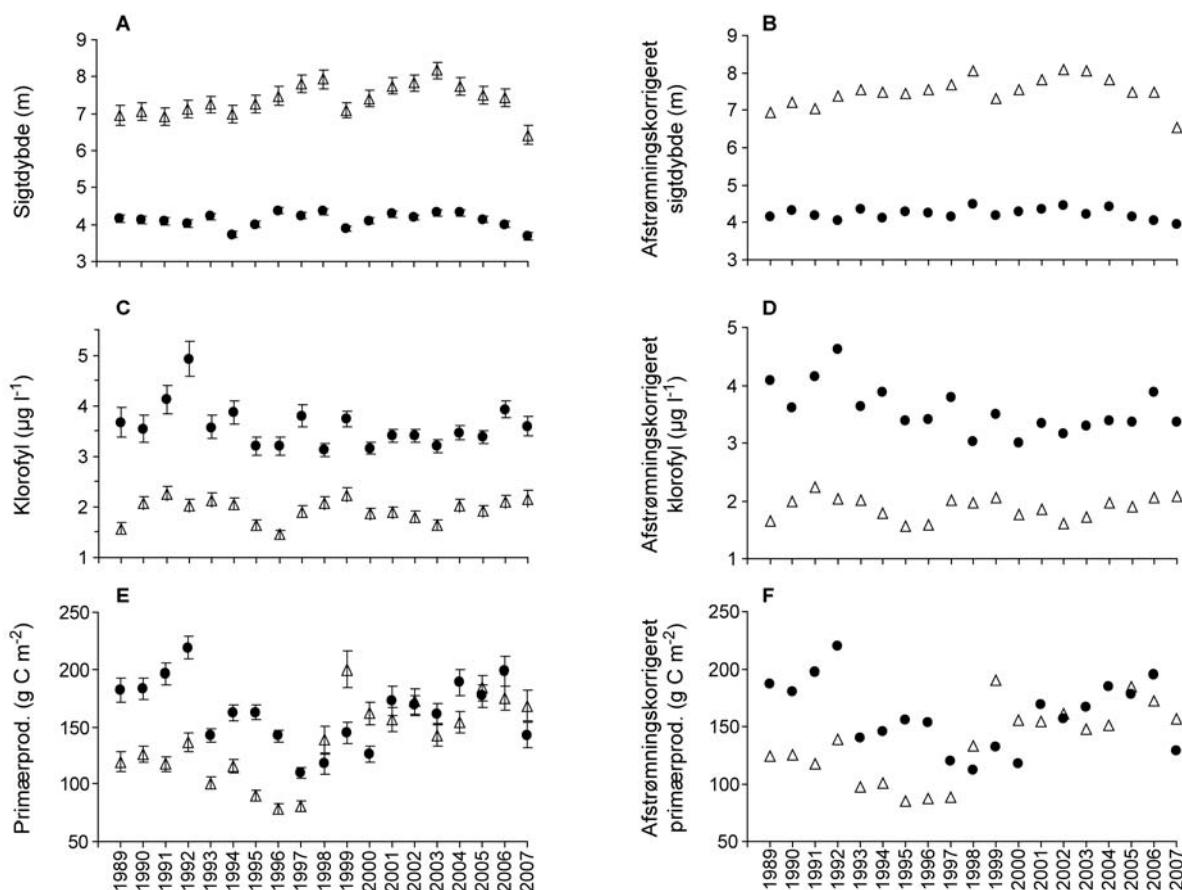
Udviklingen i biomassen af kiselalger og forholdet mellem kiselalger og dinoflagellater er beskrevet ud fra indeks, beregnet som beskrevet i *Bilag 1*. Indeks for kulstofbiomassen af planktonalger er beregnet ud fra årsbiomasser. Indeksverdierne blev korrigeret for klimatiske variationer ved multipel regressionsanalyse med inddragelse af afstrømning, vind (månedlig gennemsnit af vindhastighed³) og lysindstråling (års- eller sommergennemsnit) som klimatiske parametre.

Sigtddybde, klorofyl og primærproduktion

For den samlede periode 1989 - 2007 er der ikke sket en signifikant ændring i sigtddybden, hverken med eller uden klimakorrektion. Klimakorrigeret middelsigtddybde var 7,5 m for de åbne farvande hhv. 4,2 m i fjordene (*figur 7.1A og B*).

Siden 2001 er den klimakorrigerede sigtddybde imidlertid faldet signifikant ($P < 0,05$) både i åbne farvande og i fjordene. Sigtdybden i de åbne farvande var på sit højeste i 2004 og er herefter faldet fra 7,8 m til 6,4 m i 2007 ($P < 0,05$) med et kraftigt fald på 1,1 m i forhold til 2006, som havde en gennemsnitlig sigtddybde på 7,5 m.

I fjordene ses et tilsvarende fald fra ca. 4,3 m i 2004 til 3,7 m i 2007 (*figur 7.1A*). Den gennemsnitlige klimakorrigerede sigtddybde for hele perioden er 4,2 m, og der har været en stor år til år variation, som ikke viser nogen signifikant tendens (*figur 7.1B*).



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

2007 havde det laveste årsgennemsnit for sigtedybde siden vandmiljøplanernes start.

Klorofyl

Koncentrationerne har varieret en del over årene, og der er ikke signifikante fald eller stigninger i de klimakorrigerede værdier. Middelkoncentrationen for hele perioden er uændret $1,9 \mu\text{g l}^{-1}$. Klorofylkoncentrationen på $2,1 \mu\text{g l}^{-1}$ i de åbne farvande i 2007 lå lidt over middelkoncentrationen for hele perioden fra 1988 (figur 7.1C og D).

I fjordene er situationen tilsvarende, men klorofylkoncentrationerne er ca. en faktor to højere. I 2007 var koncentrationen lige knap $3,6 \mu\text{g l}^{-1}$, hvilket svarer til middelkoncentrationen for hele perioden, men siden 1995 er niveauet faldet til en klorofylkoncentration på $3,4 \mu\text{g l}^{-1}$.

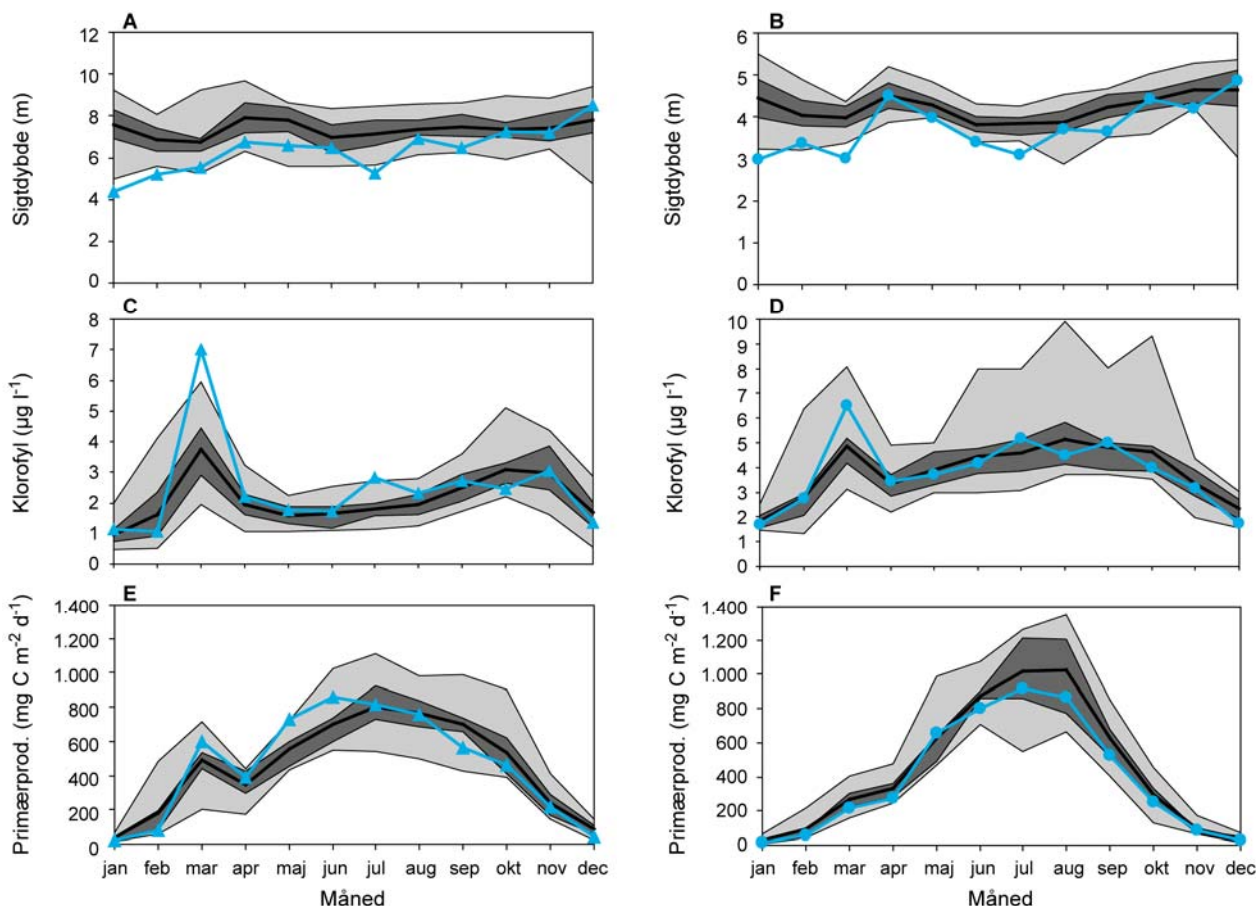
Primærproduktion

Det er stadig et problem, at metodeskift til beregning af primærproduktion i 1998 medfører et spring i data set over årene, tydeligst i de åbne farvande, som beskrevet i *Ærtebjerg (2007)*. Det er et problem,

at data i MADS-databasen ikke indeholder rådata, som danner baggrund for beregning af arealproduktion. Disse data skulle ikke indrapporteres før 1998, så derfor kan man ikke genberegne alle data på samme måde. Den her benyttede beregningsmetode er det nærmeste man kommer, og det er tydeligvis ikke tilstrækkeligt. Forhåbentlig kan den fortsatte udvikling af ODA-databasen inkludere primærproduktion som et samlet emne inklusive rådata. Herved kan data kvalitetssikres, fx som det er implementeret for vandkemidata i ODA, og det bliver muligt at genberegne arealproduktionen ensartet for alle år.

Primærproduktionen beskrives som den daglige arealproduktion ($\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) og angives for årsværdierne med enheden $\text{g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$.

Siden 1998 er der observeret en svag stigning i primærproduktionen, der dog kun er signifikant for fjordene ($P < 0,05$) (figur 7.1E og F). Det skyldes især de meget høje værdier fra 2004 - 2006. I 2007 ses et kraftigt fald i den årlige gennemsnitlige primærproduktion i forhold til 2006 i fjordene. Primærproduk-



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

tionen var i 2007 ca. 20 g C m^{-2} under middelværdien for perioden fra 1998.

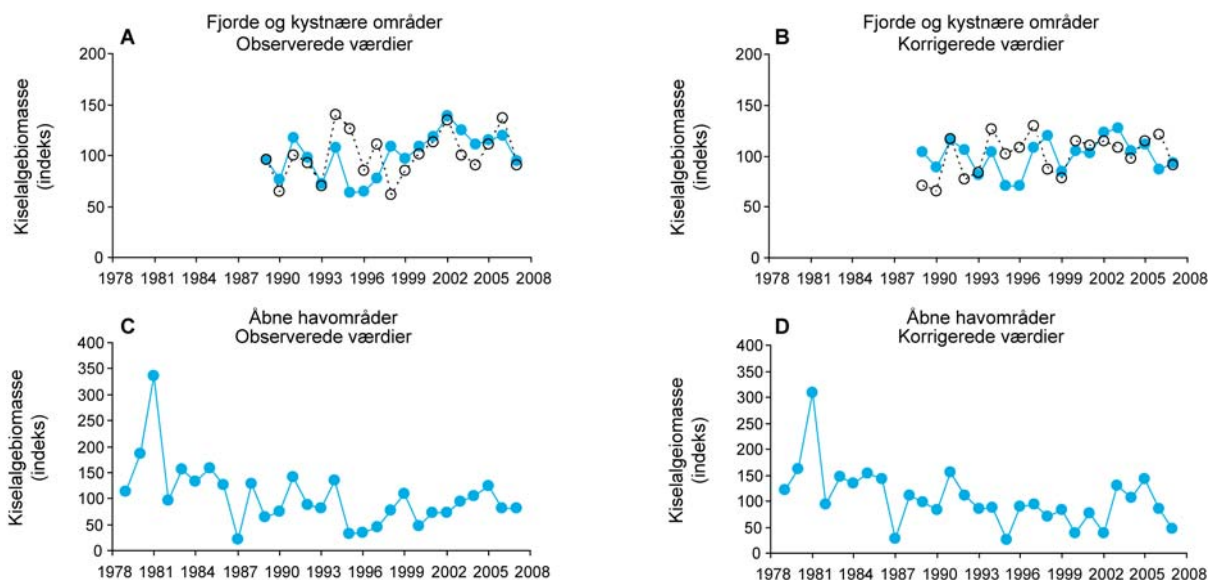
I de åbne farvande var primærproduktionen på niveau med 1998 - 2006.

I de åbne farvande faldt årsproduktionen fra ca. 175 g C m^{-2} i 2006 til 168 g C m^{-2} i 2007. I fjordene ses et meget stort fald fra 2006 til 2007 på 56 g C m^{-2} . I 2007 var årsproduktionen i fjordene ca. 143 g C m^{-2} .

Sæsonfordelingen i primærproduktionen er vist på figur 7.2E og F. I de åbne farvande var primærproduktionen i årets to første måneder under normalen. I foråret og forsommeren var produktionen til gengæld markant højere end den gennemsnitlige månedsværdi, hvorimod efteråret var kendetegnet ved en lavere produktion end den gennemsnitlige. I fjordene var primærproduktionen derimod lavere i næsten alle årets måneder. Derfor var årsproduktionen i de åbne farvande på niveau med tidligere år og lavere end normalt for fjordene (figur 7.1E og F).

Forholdene i 2007

Foråret 2007 var præget af rekordhøje temperaturer i januar og marts/april og ekstremt meget nedbør og derved afstrømning i de tre første måneder. Afstrømningen i denne periode har tilført store mængder af uorganiske næringsstoffer til vandmasserne (ref. kapitel 3). Antallet af soltimer lå til gengæld meget lavt de første to måneder, hvorefter der var næsten dobbelt så mange soltimer i marts og april som normalt, men sommerperioden var derimod solfattig. Der var for hele landet lavere vindhastigheder end normalt fra februar og resten af året. Disse klimaforhold samt næringsstoffertilførslerne muliggjorde en usædvanlig høj forårsopblomstring i marts måned både i fjordene og de åbne farvande (figur 7.2C og D). I marts måned nåede klorofylkoncentrationerne flere steder niveauer, der ikke tidligere er registreret i overvågningsperioden - op til $44 - 50 \text{ µg l}^{-1}$ i det åbne sydlige Lillebælt, 35 µg l^{-1} i det nordlige Lillebælt, 29 µg l^{-1} i Storebælt, 26 µg l^{-1} i det Sydfynske Øhav og 72 µg l^{-1} i Odense Fjord.



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). Figurene A og C viser udviklingen i biomasseindeks, og figurene B og D viser de tilsvarende indeks korrigeret for klimatiske variationer.

Det varme og tørre vejr fortsatte ind i begyndelsen af juni 2007, hvorefter der kom store mængder nedbør, som bl.a. medførte oversvømmelser flere steder. Denne klimatiske situation kunne have stimuleret primærproduktionen og øget klorofylkoncentrationen i juli, men på trods af den megen nedbør var den ekstra tilførsel af kvælstof ikke så omfattende (figur 3.1) og den biologiske effekt derfor mindre (figur 7.2 E og F). Den gennemsnitlige vindhastighed var lavere i alle måneder bortset fra januar. Det har betydning for omrøring af vandsøjlen og transport af bundvand, som er vigtige parametre i forbindelse med iltsvind, hvor primærproduktionen er nedsat.

De sidste par år er klorofylkoncentrationen hvert år steget en smule i de åbne farvande på trods af reducerede næringsstoffertilførsler, som burde have ført til lavere koncentrationer. Dette kan fx skyldes en forøget vandtemperatur, der medfører en forhøjet omsætningshastighed af de tilgængelige næringsstoffer. En anden årsag kan være, at algerne simpelthen ikke bliver græsset af zooplankton i samme grad som tidligere. Der har bl.a. i Limfjorden været observeret store kolonier af vandmænd og ribbegopler de senere år, som kan fjerne det meste af zooplanktonbiomassen fra vandfasen på meget kort tid. Herved fjernes en af begrænsningerne for algernes vækst, og den høje algekoncentration medfører lavere sigtdybde.

Biomasse af kiselalger

Betragtes samtlige fjorde under ét, bortset fra Ringkøbing Fjord, hvor der midt i 1990'erne skete et mar-

kant 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. Men der er markante regionale forskelle, for i de østjyske fjorde og kystnære områder er biomassen af kiselalger steget signifikant ($P < 0,05$) siden 1989 (figur 7.3A).

På det samlede datasæt for fjorde og kystområder hang kiselalgebiomassen i perioden 1989 - 2007 signifikant ($P < 0,05$) sammen med afstrømningen og sommerindstråling. Også her gjorde regionale forskelle sig gældende, 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. sommerindstråling eller vindhastighed³) viste kiselalgeindekserne stadig år til år variationer, men uden overordnet tendens til fald eller stigning siden 1989 (figur 7.3B).

I de åbne havområder er biomassen af kiselalger faldet fra 1979 til 2007 (figur 7.3C). Mest markant var faldet i perioden indtil midt i 1980'erne. Biomassen af kiselalger har siden 1979 korreleret med afstrømning. Både den observerede og den klimakorrigerede kiselalgebiomasse (figur 7.3D) er faldet signifikant siden 1979 ($P < 0,05$ for begge indeks). For perioden efter 1986 er der dog ikke tale om signifikante fald i biomassen, men indekset var relativt lavt i 2007.

Forekomst af potentielt toksiske arter i 2007

I forbindelse med forårsopblomstringen forekom den fisketoksiske flagellat *Chattonella* sp. (= *Verrucophora farcimen*) i store mængder i Kattegat og Lillebæltsområdet. De højeste koncentrationer på > 7 mio. celler l⁻¹ blev fundet i Lillebælt og Odense Fjord sidst i marts. Denne art har siden 1998 næsten hvert år dannet store opblomstringer i forårsmånederne, nogle år med massiv fiskedød til følge. I 2007 gik det ud over Musholm Lax, hvor 48 ud af 101 tons fisk døde, og i Hjarnø og Hundshage Havbrug døde 20 tons fisk. Tabene blev gjort op til omkring 6,4 millioner kr. fordelt på tab pga. fiskedød samt tab forårsaget af forsinket udsætning af fisk som følge af opblomstringen. I Lillebælt blev der samtidig i marts registreret op til > 26 mio. celler l⁻¹ af den ligeledes fisketoksiske slægt *Chrysochromulina*.

Dinoflagellater af slægten *Dinophysis* danner giftstoffer, der ophobes i muslinger og forårsager DSP (diarre-fremkaldende skaldyrsforgiftning). Der er sat grænseværdier for tilladelige koncentrationer af *Dinophysis* ved kommerciel fangst af muslinger (500 celler l⁻¹ for *D. acuminata*, 100 celler l⁻¹ for *D. acuta* og 1.000 celler l⁻¹ for øvrige arter). *Dinophysis acuminata* forekom i perioden fra april til december gentagne gange i koncentrationer højere end grænseværdien i Lillebæltsområdet, Århus Bugt, Mariager Fjord og Limfjorden. Både *D. acuta* og *D. norvegica* blev også ved flere lejligheder fundet i koncentrationer højere end grænseværdierne i det vestlige Kattegat, Århus Bugt, Lillebælt og Mariager Fjord. Den højeste koncentration var 14.200 celler l⁻¹ af *D. norvegica* i Mariager Fjord i august.

Nogle arter af kiselalgeslægten *Pseudo-nitzschia* kan producere domoinsyre, der kan akkumuleres i muslinger og forårsage ASP (amnesisk skaldyrsforgiftning). *Pseudo-nitzschia* arter fra "delicatissima-gruppen" forekom i koncentrationer højere end 1 mio. celler l⁻¹ i juni - juli i Skive Fjord, Løgstør Bredning og ved den jyske vestkyst (Hjerting).

Sammenfatning

- Klorofylkoncentrationen i de åbne farvande er steget de sidste to år trods reducerede næringsstoftilførsler.
- 2007 havde det laveste årsgennemsnit for sigtdybde siden vandmiljøplanernes start, hvilket kan skyldes de høje klorofylkoncentrationer.
- I foråret sås den højeste klorofylkoncentration i de åbne farvande for hele perioden.
- Primærproduktionen i fjordene var lav i 2007 og faldt kraftigt i forhold til 2006, hvorimod primærproduktionen i de åbne farvande var på niveau med 1998 - 2006.
- Biomassen af kiselalger i fjorde og kystnære områder har siden 1989 varieret fra år til år uden en overordnet tendens til stigning eller fald for samtlige områder betragtet under et. I de østjyske fjorde og kystnære områder er biomassen af kiselalger derimod steget signifikant siden 1989. Efter korrektion af biomasseindeksene for fjorde og kystnære områder for klimatiske variationer viste kiselalgeindeksene stadig år til år variationer, men uden overordnet tendens til fald eller stigning siden 1989.
- I de åbne havområder har biomassen af kiselalger korreleret med afstrømningen. Biomassen er faldet fra 1979 til 2007. Både den observerede og den klimakorrigerede kiselalgebiomasse er faldet signifikant siden 1979. For perioden efter 1986 er der dog ikke tale om signifikante fald i biomassen.
- I de åbne havområder er biomassen af dinoflagellater faldet signifikant siden slutningen af 1980'erne. Faldet har været mere markant end faldet i biomassen af kiselalger, hvilket har resulteret i en signifikant stigning i forholdet mellem kiselalge- og dinoflagellatbiomasse.
- Marts 2007 var præget af store koncentrationer af den fisketoksiske flagellat *Chattonella* sp. (= *Verrucophora farcimen*) i store mængder i Kattegat og Lillebæltsområdet.

8 Iltforhold

Ditte L. Jansen Petersen, Cordula Göke & Jacob Carstensen

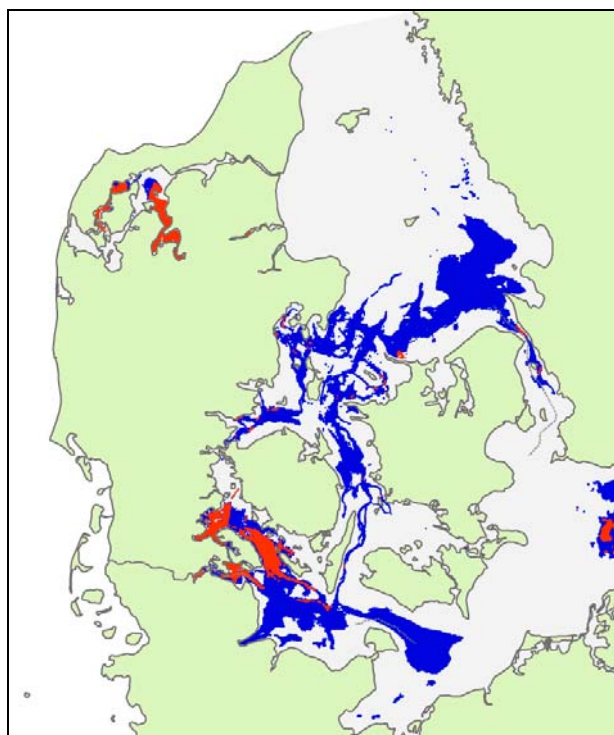
Reduktion af iltkoncentrationen ved bunden er delvist en sekundær effekt af eutrofiering. Øget næringsstofftilførsel giver øget planktonalgeproduktion, som fører til øget iltforbrug ved mikrobiel omsætning af denne produktion og eventuelt til udvikling af iltsvind ved bunden. Definitionen på iltsvind 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 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 Femer Bælt i maj - september. Yderligere er der en signifikant 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 2007

Generelt var udbredelsen af kraftigt iltsvind i 2007 mindre end i de foregående år, og iltforholdene i de lavvandede fjorde og kystvandene var knapt så dårlige sammenlignet med tidligere års observationer. Derimod var der et usædvanligt udbredt iltsvind i det sydlige Kattegat (figur 8.1), og Øresund var ramt af et usædvanligt langvarigt iltsvind. Klimatisk set

var 2007 specielt ved, at både vinter- og sommernedbøren var meget stor, at temperaturen i bundvandet var 2° C højere end normalen hele året, og at middelvindhastigheden i sommeren og sensommeren var den næsthøjeste i 30 år. Der tilførtes dog farvande mindre kvælstof, end det ville have været tilfældet under samme nedbørs- og afstrømningsforhold før vandmiljøplanerne.



Figur 8.1. Det samlede areal berørt af iltsvind i august og september 2007. Udbredelsen er modelleret på baggrund af målinger udført den 13. - 23. august og den 17. - 21. september. I Limfjorden er udbredelsen modelleret ud fra målinger udført i perioden juni (uge 24) til august (uge 35). Blå farve indikerer iltsvind (< 4 mg O₂ l⁻¹), og rød farve indikerer kraftigt iltsvind (< 2 mg O₂ l⁻¹).

De høje nitratkoncentrationer i foråret 2007 medførte meget store planktonopblomstringer i marts, der efterfølgende medførte et stort iltforbrug i bundvandet. Dette kombineret med vandtemperaturer, der var højere end normalt, varslede, at året ville byde på udbredte og kraftige iltsvind.

Iltkoncentrationen i de dybe, lagdelte dele af de indre farvande faldt da også hurtigt gennem april og betød, at der i maj og juni var usædvanligt lave iltkoncentrationer i Øresund, Bælthavet og østlige Kattegat.

Limfjorden, der er lavvandet og ikke permanent lagdelt, blev ramt af iltsvind allerede i starten af juni. Iltsvindet udviklede sig gennem de følgende relativt vindstille 3 uger til at dække 14% af fjordens areal, hvoraf 8% var dækket af kraftigt iltsvind. I juli var der kun sporadisk iltsvind. Hård vind fra vest i starten af juli opblandede vandmasserne i fjorden, men sidst i juli opstod igen lagdeling pga. indtrængning af bundvand. Midt i august var der igen iltsvind, der denne gang dækkede ca. 13% af fjordens areal, men kun få områder var berørt af kraftigt iltsvind.

Perioder med stærk blæst i sommeren førte ny ilt til bundvandet – ikke bare til Limfjorden men også til de øvrige lavvandede fjorde og kystvande, således at iltforholdene i august var på samme niveau, som de seneste år.

I september blev det sydlige Kattegat, Øresund og nordlige Bælthav (inklusive Århus Bugt) ramt af et usædvanligt udbredt iltsvind. I disse områder har den kraftige vind i september ikke medført tilførsel af ny ilt som i de lavvandede fjorde og kystvande, idet ny ilt i de dybere og permanent lagdelte farvande hovedsageligt tilføres ved indstrømninger af iltrigt bundvand fra Skagerrak.

I Mariager Fjord var iltforholdene gennem sommeren og efteråret bedre end normalt pga. af hyppigt blæsevejr. Mængden af svovlbrinte i den dybe del af fjorden var dog høj fra september og frem, hvilket indikerer, at der har været en usædvanlig stor omsætning af organisk materiale i 2007.

På grund af rolige vejrforhold i oktober aftog styrken og udbredelsen af iltsvind kun lidt, så der midt i oktober stadig var udbredte iltsvind i Øresund og Bælthavet. I nogle kystvande var iltforholdene dog forbedrede, således at iltsvind var ophørt i fx det Sydfynske Øhav og Sejerø Bugt, og kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) var mindsket til iltsvind ($2 - 4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) i fx Sønderborg Bugt og Als Sund.

I de sønderjyske fjorde, farvandet nord for Als og i Ærøbassinet var det kraftige iltsvind på niveau med eller værre end middel for perioden 1988 - 2006. I disse områder skal ny ilt også tilføres ved indstrømning af iltrigt bundvand fra nord.

Øresund oplevede det længstvarende iltsvind nogensinde, og midt i november, hvor iltsvindet havde varet ca. 6 måneder, var iltkoncentrationen i bundvandet i det dybe område syd for Ven stadig kun $2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$.

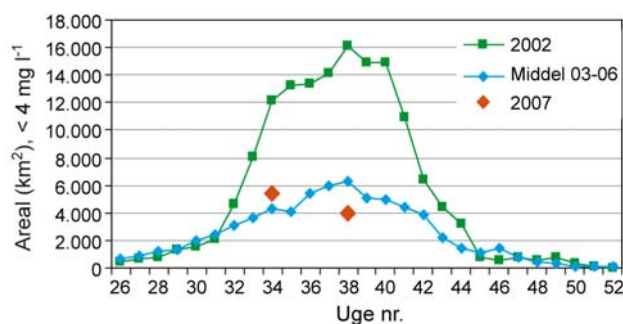
Hård vind i starten af november betød, at der midt i november ikke længere var iltsvind i den centrale del af Århus Bugt, i det sydvestlige Kattegat, sydlige Lillebælt, i Storebælt og i det nordlige Bælthav, men iltindholdet var stadig lavt for årstiden.

Vinden fjernede også iltsvindet i de sønderjyske fjorde, hvor iltsvindet generelt ophørte tidligere end normalt. I disse områder er det ikke usædvanligt, at iltsvindet strækker sig gennem november og ind i december. Midt i november var der dog fortsat usædvanligt udbredte iltsvind i Øresund og Øresundstragten, vestlige Århus Bugt og Kalø Vig, langs Sjællands nordkyst og i Laholmsbukten.

Skæbnen af sommerens og sensommerens udbredte iltsvind i de åbne, dybe dele af det sydlige Kattegat kendes ikke, da der ikke længere udføres målinger her i oktober og november pga. reduktionen i det nationale overvågningsprogram. Svenske målinger fra det åbne østlige Kattegat påviste fortsat iltsvind i slutningen af september, og ligeledes var de tilstødende farvande (sydvestlige Kattegat, Århus Bugt-området og Øresund) ramt af iltsvind. Dette, sammenholdt med de svage vinde i oktober, gør det derfor overvejende sandsynligt, at der stadig var iltsvind i de dybe dele af det sydlige Kattegat midt i oktober.

Udbredelsen af iltsvind var midt i august på ca. 5.400 km^2 , hvilket svarede til den gennemsnitlige udbredelse på samme tid de seneste 4 år, dog var udbredelsen af kraftigt iltsvind på ca. 575 km^2 noget mindre end den foregående 4 års periode (figur 8.2).

Udbredelsen af iltsvind midt i september (uge 38) var knapt 4.000 km^2 , hvilket er lidt mindre end middel for samme årstid de seneste 4 år, og udbredelsen af kraftigt iltsvind – 310 km^2 – var den laveste for årstiden i de seneste 7 år



Figur 8.2. Areal dækket af iltsvind ($< 4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) uge for uge i sidste halvdel af 2002 og i middel for årene 2003 - 2006, samt midt i august og midt i september i 2007.

Tabel 8.1. Trendanalyser for 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 fjorde- 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	16	5	1989 - 2007	0,8025	0,001 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Limfjorden	28	9	1980 - 2007	0,0586	-0,019 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Østjyske fjorde	35	11	1972 - 2007	0,0337	-0,018 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Fynske fjorde og det Sydfynske Øhav	30	3	1977 - 2007	0,0062	-0,026 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Sjællandske fjorde og Smålandsfarvandet	22	11	1985 - 2007	0,0989	0,029 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Kattegat	42	19	1966 - 2007	< 0,0001	-0,026 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Nordlige Bælthav og Storebælt	36	9	1970 - 2007	< 0,0001	-0,031 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Lillebælt og Femer Bælt	42	6	1965 - 2007	0,0058	-0,023 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Øresund	41	4	1967 - 2007	0,0006	-0,020 mg l ⁻¹ år ⁻¹
Østersøen	40	9	1966 - 2007	< 0,0001	-0,036 mg l ⁻¹ år ⁻¹

Langtidsudviklingen i iltforhold

Trendanalyser af middelkoncentrationen 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).

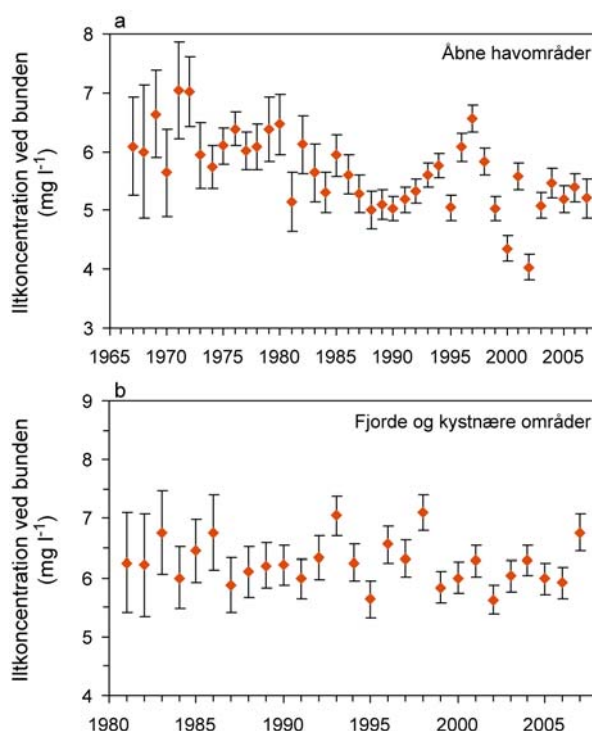
Udviklingen i iltkoncentrationen i bundvandet i juli - november i Østersøen, Kattegat, Øresund og det nordlige Bælthav samt Storebælt har i perioden 1966 - 2007 været signifikant negativ med et fald i koncentrationer varierende mellem 0,02 til 0,036 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹.

I de lavvandede vestjyske fjorde og kystvande skete der i perioden 1992 - 2006 et fald i iltkoncentrationen i bundvandet på 0,027 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹, mens trendanalyser for perioden 1989 - 2007 viser en meget svag positiv udvikling på 0,001 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹.

Ligeledes har der været en positiv udvikling i iltkoncentrationen i de sjællandske fjorde og i Smålandsfarvandet i perioden 1985 - 2007 på 0,029 mg O₂ l⁻¹ år⁻¹. Ingen af de nævnte positive trends er dog signifikante. 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 - 2007. Dog lå middelkoncentrationen relativt højt fra 1996 - 1998 og relativt lavt fra 1999 - 2006 (figur 8.3). I 2007 var iltkoncentrationen i fjorde og kystvande på niveau med 1996 - 1998. 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 2007 var koncentrationerne på niveau med de seneste 4 år.



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 åbne havstationer). Middelværdierne er korrigeret for forskelle mellem stationer, måneder og prøvetagningsdybder ved empirisk model. Usikkerheden er faldet med tiden pga. flere målepunkter og hyppigere målinger.

Sammenfatning

- Iltforholdene i 2007 var relativt gode i fjordene og kystvandene bl.a. pga. hyppigt blæsevejr gennem sommeren.
- Stor vinterafstrømning og høje temperaturer i bundvandet betød udbredte iltvind i de dybe og permanent lagdelte farvande, hvor ny ilt hovedsageligt tilføres bundvandet ved indstrømninger af iltrigt bundvand fra Skagerrak.
- Der opstod iltvind i Limfjorden usædvanligt tidligt pga. den meget våde vinter og de høje vandtemperaturer.
- I Mariager Fjord var iltforholdene i sommeren og efteråret 2007 bedre end normalt pga. de blæsende sommermåneder.
- De dybe dele af Øresund syd for Ven var ramt af det længstvarende iltvind nogensinde (6 måneder).
- Udbredelsen af kraftigt iltvind ($< 2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) var væsentligt mindre end i de seneste år.
- Iltindholdet i bundvandet i sommer og efterår i fjorde og kystvande afhænger af den totale kvælstoftilførsel fra juli året før til juni samme år og vindstyrken i juli til september.
- Iltindholdet i bundvandet i sommer og efterår i de åbne farvande afhænger af den totale kvælstoftilførsel fra juli året før til juni samme år, indstrømning af bundvand maj - september og temperaturen i Skagerrak januar til april.

9 Bundvegetation: ålegræs og makroalger

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

Havbundens samfund af ålegræs og makroalger kan være meget produktive under de rette forhold og samfundene udgør vigtige habitater for en lang række organismer. Særligt ålegræsenge kan også beskytte kysterne mod erosion, fordi de dæmper bølgerne og holder på havbundens sedimenter.

Både ålegræs og makroalger indgår som væsentlige indikatorer for den økologiske kvalitet i kystnære vandområder i henhold til EU's vandrammedirektiv. Ålegræs og makroalger bidrager også til vurdering af bevaringstilstanden i habitatdirektivets marine naturtyper såsom "stenrev", "boblerev", "sandbanker" og "lavvandede bugter og vige".

Baggrunden for at anvende forskellige elementer af den bentiske vegetation som indikatorer er både, at vegetationen afspejler vandkvaliteten integreret over et længere tidsrum, men også at vegetationen direkte afspejler kvaliteten i en række naturtypers struktur og funktion.

Et fald i tilførslen af næringssalte fører til færre planktonalger i vandsøjlen og dermed mere lys ved bunden. Det giver ålegræs og makroalger bedre vækstforhold og mulighed for at 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 - 2007. Analyserne omfatter parametrene "dybdegrænsen for ålegræssets maksimale udbredelse", "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.

Forekomsten af nyligt tilkomne invasive arter i Kattegat er også omtalt i kapitlet. Arterne kan på sigt vise sig at påvirke den eksisterende vegetation og dermed naturkvaliteten i habitatområder.

Endelig præsenterer kapitlet nye værktøjer til at vurdere miljøtilstanden på stenrev samt i fjord- og kystområder baseret på makroalgernes forekomst.

Ålegræssets dybdegrænse

I analysen af udviklingstendenser for ålegræs har vi behandlet Limfjorden separat, fordi den opfører sig markant anderledes end de øvrige fjorde. Alle øvrige områder er behandlet samlet inden for 'åbne områder', 'yderfjorde' og 'inderfjorde'.

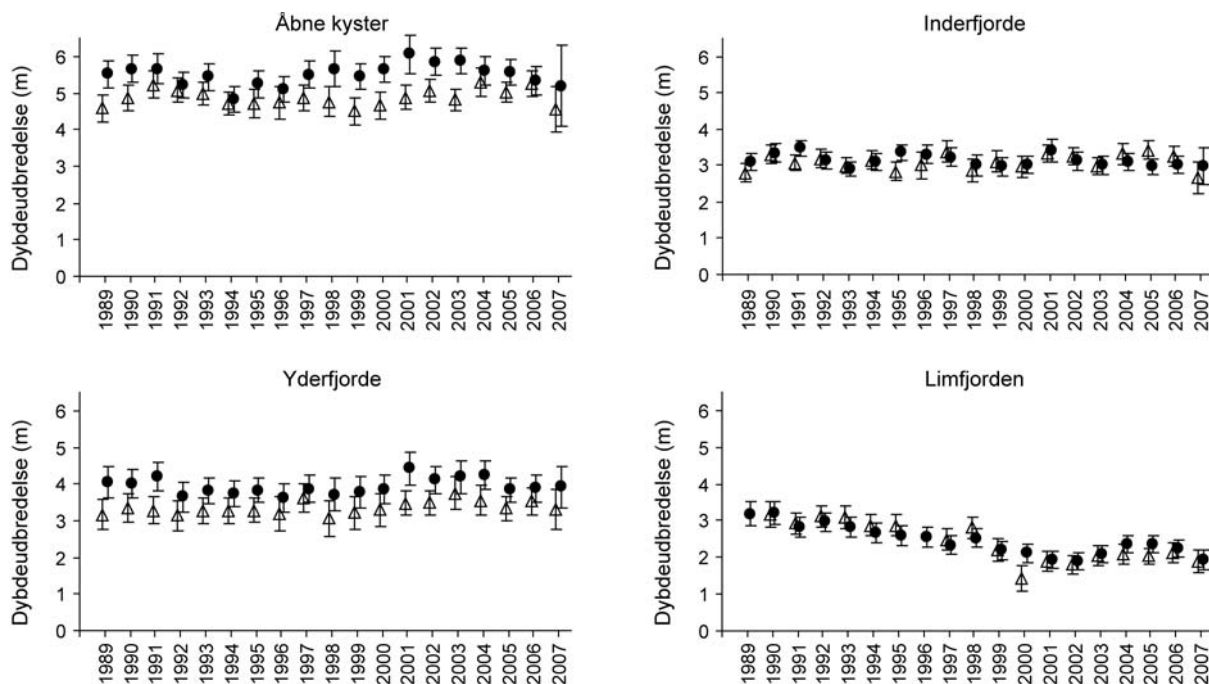
Ålegræssets maksimale dybdegrænse (årsmiddelværdier) var størst langs de åbne kyster (4,3 - 6,1 m), lidt mindre i yderfjordene (3,6 - 4,4 m) og mindst i inderfjordene (2,9 - 3,5 m) og Limfjorden (2,1 - 3,3 m) i 1989 - 2007. Dybdegrænsen for hovedudbredelsen (årsmiddelværdier) fulgte samme mønster med dybeste udbredelse langs de åbne kyster (4,5 - 5,3 m), mindre dybdeudbredelse i yderfjordene (3,1 - 3,8 m) og mindste dybdeudbredelse i inderfjordene (2,7 - 3,4 m) og Limfjorden (1,4 - 3,2 m).

Langs de åbne kyster viste hverken den maksimale dybdegrænse eller dybdegrænsen for hovedudbredelsen en signifikant udviklingstendens gennem perioden 1989 - 2007 (lineær regression, $p = 0,395$ og $0,555$) (figur 9.1).

Den ydre del af fjordene viste en signifikant stigning i hovedudbredelsen, men ikke i den maksimale dybdeudbredelse (lineær regression, $p = 0,030$ og $0,426$) (figur 9.1).

Den indre del af fjordene viste ingen signifikant udviklingstendens i hverken ålegræssets maksimale dybdegrænse eller dybdegrænsen for hovedudbredelsen gennem perioden 1989 - 2007 (lineær regression, $p = 0,066$ og $0,555$) (figur 9.1).

En separat analyse af Limfjorden viste, at både den maksimale dybdegrænse og dybdegrænsen for hovedudbredelsen er faldet markant gennem overvågningsperioden (lineær regression, $p < 0,0001$ i begge tilfælde) (figur 9.1). Faldet skete i perioden 1989 - 2000, og siden har dybdegrænsen været konstant lav.



Figur 9.1. Udvikling i dybdegrænsen for ålegræssets maksimale udbredelse (●) og hovedudbredelse (Δ) ($\pm$ 95% konfidensintervaller) gennem perioden 1989 - 2007. Udviklingen er vist for åbne kyster, for yder- og inderfjorde (ekskl. Limfjorden) samt separat for 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 mere klart siden 1989 - hverken i de åbne farvande eller i fjordene, og 2007 havde den ringeste sigtdybde for perioden 1989 - 2007 (se kapitel 3). I Limfjorden er sigtdybden faktisk reduceret ca. $\frac{1}{2}$ meter fra 1989 til 2007 på trods af reduktioner i belastningen, og her er ålegræssets dybdeudbredelse tilsvarende reduceret.

Disse generelle udviklingstendenser for ålegræssets dybdegrænse i åbne kyster, yder- og inderfjorde dækker over store forskelle mellem områder. Områder som Køge Bugt og Fakse Bugt er i fremgang, mens eksempelvis Horsens Fjord, ligesom Limfjordsbassinerne, har oplevet en reduktion i ålegræssets udbredelse, og endnu andre fjordområder har haft relativt konstant ålegræsudbredelse gennem overvågningsperioden.

Denne mangfoldighed i økosystemers respons på reduceret næringsbelastning er en stor udfordring i forhold til at forudsige effekter af ændret belastning i det enkelte økosystem. Generelle relationer mellem næringsbelastning og ålegræssets respons (fx Nielsen *m.fl.* 2002) er velegnede til at beskrive overordnede tendenser i ålegræssets respons, men til brug for præcisering af forudsigelser af udviklingen for konkrete fjorde er der behov for at videreudvikle disse relationer. Mangfoldigheden i økosystemernes re-

spons udtrykker også, at sammenhængen mellem belastning og økosystemrespons ikke nødvendigvis følger samme forløb under oligotrofiering som under eutrofiering; der kan være tale om regimeskift og/eller ændrede referenceforhold, der forsinke/forhindrer reetablering (Duarte *m.fl.* 2009). Eksempelvis er en bar fjordbund langt mere udsat for resuspension end en plantedækket bund, og øget resuspension skaber dårligere lysforhold. Endelig kan ålegræssets rekolonisering også være en langsom og proces med tidshorisonter på år-årtier (Olesen & Sand-Jensen 1994, Duarte 1995).

Nye analyser af sammenhænge mellem næringsstofbelastning, næringsstofkoncentration og ålegræsrespons udgør et første forsøg på at tage højde for områdespecifikke forskelle i effekter af næringsstofbelastning i individuelle økosystemer (Carstensen & Krause-Jensen *in press*).

Men for at forstå mangfoldigheden i ålegræssets respons, og dermed forbedre muligheden for at forudsige udviklingsforløb og forvalte kystområderne, er der behov for at analysere ålegræssets respons på mulige regulerende faktorer i lokalområder. Herved vil man kunne identificere, om det er dårlige lysforhold, der forhindrer rekolonisering og i givet fald, hvad der skaber de dårlige lysforhold, eller om det er sandsynligt, at andre faktorer, såsom iltsvind (Holmer & Bondgaard 2001, Greve *m.fl.* 2003) eller evt. muslingeskrab (Dyckjær & Hoffmann 1999) bidrager til at begrænse ålegræssets udbredelse.

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 sigt

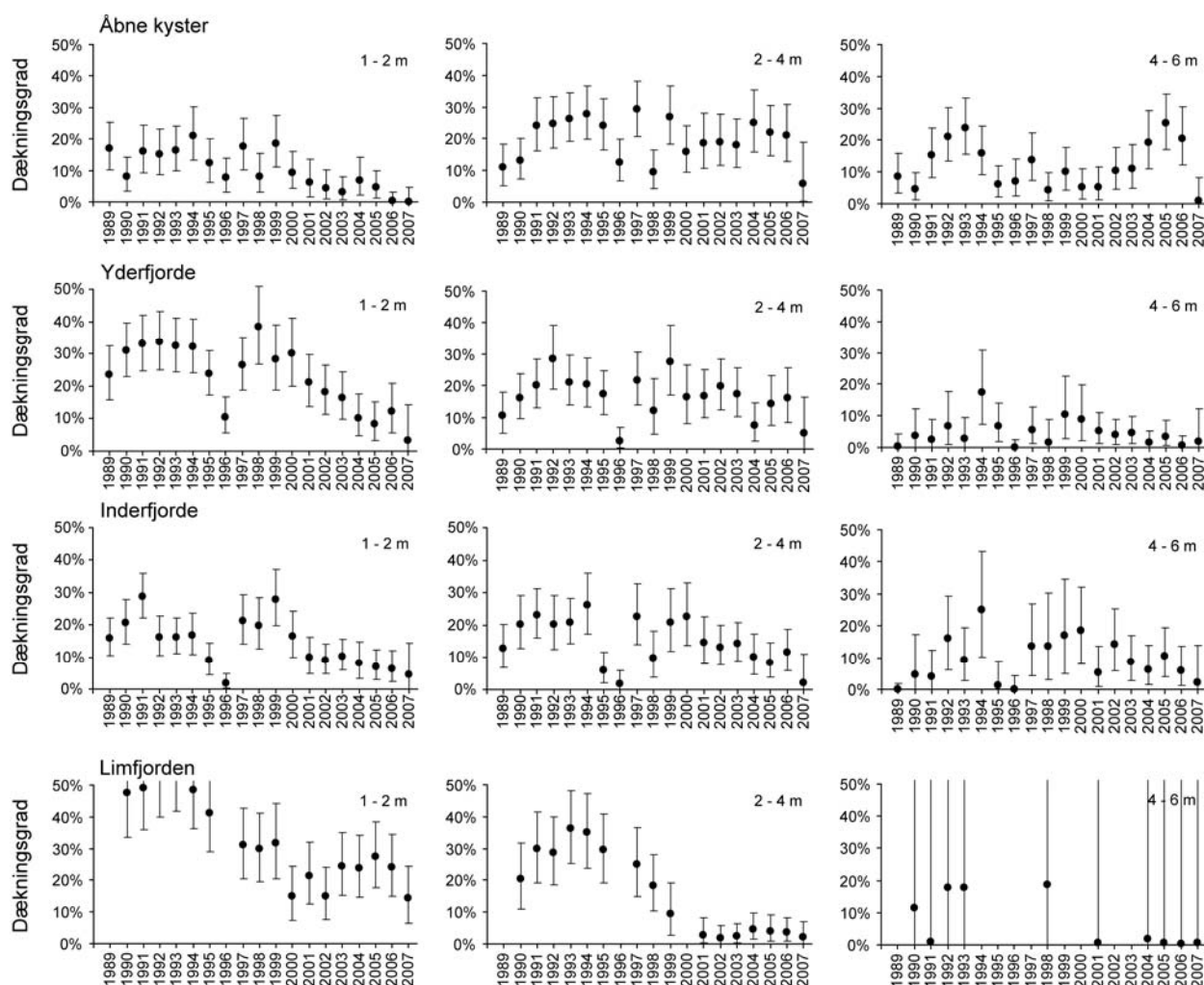
dybde. Klorofylkoncentration er ved at blive færdigudviklet til brug under vandrammedirektivet.

Alegræssets dækning i dybdeintervaller

Udviklingen i ålegræssets dækning er analyseret for 1 - 2, 2 - 4 og 4 - 6 meters dybde (figur 9.2). Analyser for helt lavt vand (0 - 1 m) er udeladt, fordi dækningen her primært er reguleret af bølge- og vindeksponering samt evt. isskruning og derfor kun i min-

dre grad afspejler ændringer i næringssaltbelastningen.

Ålegræssets dækning 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 6 - 29% af bunden langs de åbne kysters ålegræstransektorer, 0 - 20% i yderfjordene, 2 - 28% i inderfjordene og 2 - 36% i Limfjorden gennem perioden 1989 - 2007. Der var generelt tendens til, at ålegræssets dækning faldt gennem perioden 1989 - 2007. Langs de åbne kyster og yderfjordene faldt dækning på 1 - 2 meters dybde, mens dækningen i inderfjordene og Limfjorden faldt på 1 - 4 meters dybde (lineær regression, $p < 0,05$) (figur 9.2).



Figur 9.2. Udvikling i ålegræssets dækning ($\pm$ 95% konfidensintervaller) gennem perioden 1989 - 2007. Udviklingen er vist for åbne kyster, for yder- og inderfjorde (ekskl. Limfjorden) samt separat for 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).

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. Overvågningen finder sted i Natura 2000-områder. I 2007 var det kun planlagt at indsamle data på revlokaliteter med intensive stationer samt på den ekstensive revlokalitet Bøchers Grund i Hjelm Bugt. Dårligt vejr samt problemer med undersøgelsesfartøjet forhindrede imidlertid den planlagte indsamling på to lokaliteter, Schultz's Grund og Broen. Til gengæld var det muligt at supplere overvågningsprogrammet med data fra Lønstrup Rødgrund i Skagerrak, et rev der ellers indgår i det ekstensive program.

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 stenrene 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 algerne samlede dækning til et enkelt lag oprette alger, der ikke dækker hele substratet. De oprette algers dækning aftager med stigende dybde, hvorimod skorpeformede algebelægninger 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 Middelgrund på 12 m's dybde i 2007, hvor vegetationen var reduceret fra normalt 70 - 80% dækning til blot 20%.

Fra andre dele af verdenen er masseforekomst af søpindsvin sat i forbindelse med reduceret prædationspres fra havodder 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 regi-

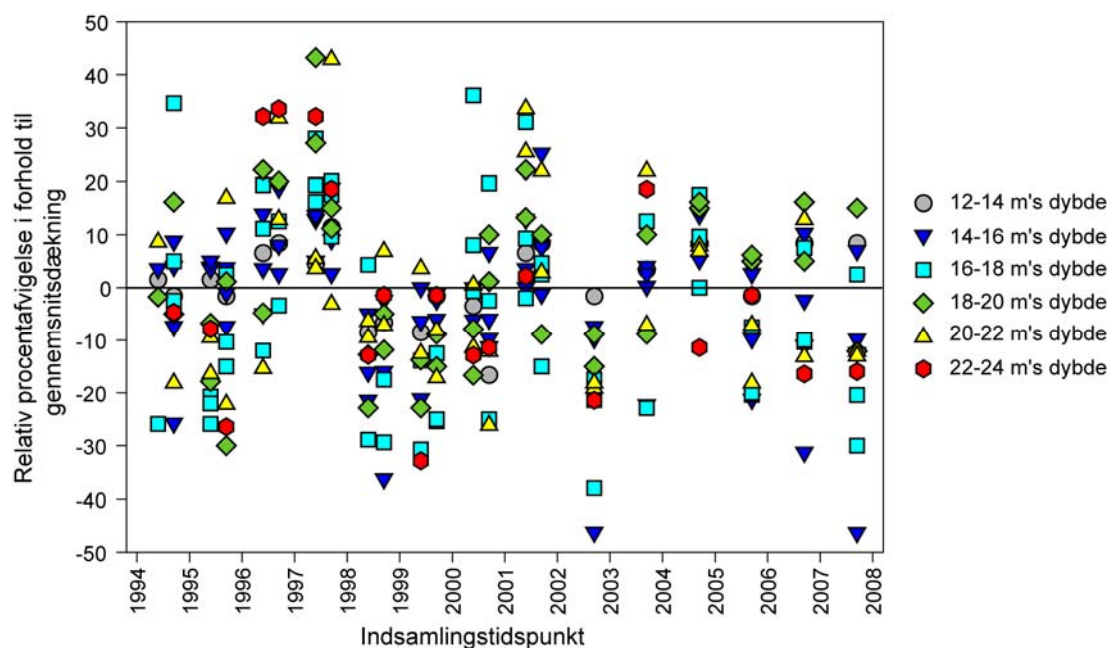
meskift fra tangskov til nedgræsset stensbund, som er observeret på flere danske stenrev.

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 & Carstensen 2005). Jævnlig forstyrrelse 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.

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.

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

Under-søgel-sesår	Måned	Antal obser-vationer	Samlet vegeta-tionsdækning 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.



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. Afvigelseerne er angivet pr. 2 m's dybdeintervaller. Stationer, hvor algevegetationens udbredelse er begrænset af andre faktorer end lyset, fx søpindsvin eller substratets beskaffenhed, er udeladt. På grund af mindre metodeændringer i 1994, er tidligere undersøgelser ikke medtaget i sammenligningen.

Den generelle udvikling i den oprettede algevegetations dækning på 5 stenrev på større vanddybder i indre danske farvande er fulgt gennem en lang tidsperiode. I 2007 var der en overvægt af stationer, hvor algerne dækning var dårligere end gennemsnittet for den enkelte station beregnet for perioden 1994 - 2001 (figur 9.3 og tabel 9.1). Variationen i algerne dækning i forhold til gennemsnittet var i 2007 noget større end normalt. Vegetationsforholdene var bedst på Kim's Top i det centrale Kattegat og under gennemsnit på hovedparten af de undersøgte stationer på rev i det nordlige og sydlige Kattegat.

Nye arter i danske farvande

Gennem de seneste år er der observeret en række invasive makroalgearter i danske farvande, og der er eksempler på, at algerne fortrænger indfødte arter og dermed ændrer økosystemerne (Thomsen m.fl. 2007, Pedersen m.fl. 2005). De to nyeste registrerede invasive makroalgearter, *Gracilaria vermiculophylla* og *Heterosiphonia japonica* har inden for en kort år-række spredt sig i danske farvande og kan nu træffes med større udbredelse på visse lokaliteter.

G. vermiculophylla blev første gang observeret i Horsens Fjord i 2003. I 2005 blev den fundet i Vejle Fjord. Siden 2006 har *G. vermiculophylla* også spredt sig til Holckenhavn Fjord syd for Nyborg, Fællesstrand ved Fyns Hoved, hvor den blev observeret i 2007 og senest til Odense Fjord i 2008. Arten er også observeret i Nibe og Gjøl Bredninger i Limfjorden i 2006,

2007 og 2008. Arten blev først observeret i svenske farvande i 2003 og findes nu også i Kiel Bugt.

H. japonica blev første gang registreret i Europa ved den hollandske kyst i 1994. Den spredte sig hurtigt til den norske vestkyst, hvor den blev registreret i 1996 og blev senere i 2001 fundet ved den svenske Skagerrakkyst i Kosterfjorden. I 2004 blev *H. japonica* registreret af Ruth Nielsen fra Botanisk Museum fra en algeprøve taget på et boblerev, der indgår i overvågningsprogrammet ud for Frederikshavn samt i Limfjorden, hvor der blev konstateret relativt veludviklede bestande nordvest for Mors, i Nisum og Løgstør Bredninger samt i Skive Fjord.

I 2006 blev *H. japonica* registreret på Per Nilen nord for Læsø på 11 m's dybde. Året efter blev den fundet på alle undersøgelsesdybder på Per Nilen samt på Herthas Flak ud for Skagen og Kim's Top i det centrale Kattegat. Populationen på 11 m's dybde på Per Nilen havde udviklet sig fra enkelte planter til en bestand med 8% dækning på et år.

Neosiphonia (Polysiphonia) elongella blev først identificeret på Kim's Top i 2004 på 3 stationer og efterfølgende på 10 stationer fordelt på 4 revlokaliteter i 2006. I 2007 blev arten kun registreret en gang på Herthas Flak. Ifølge Maggs & Hommersand (1993) er artens hidtidige kendte nordligste udbredelsesområde Irland og sydvest England. *N. elongella* er først for nyligt identificeret, idet den let forveksles med

andre *Polysiphonia*-arter, især *P. elongata*. Det kan derfor ikke udelukkes, at den har været i danske farvande i længere tid.

Udvikling af værktøjer til natur og miljøtilstandsvurdering baseret på makroalgevegetation

Vandrammedirektivet kræver 'god økologisk tilstand' i alle overfladevande, og habitatdirektivet kræver 'gunstig bevaringsstatus' i alle habitatområder, og disse to målsætninger for miljøtilstand kan med god vilje sættes lig hinanden. Begge direktiver lægger desuden vægt på, at flora og fauna indgår i områdernes vurdering af miljømål og miljøtilstand. Da der mangler robuste kvantitative oplysninger om makroalgevegetationens tilstand fra perioder før eutrofieringen for alvor blev et problem, må de målsætninger, der er brug for til vurdering af miljøtilstanden, findes på anden vis.

Dette afsnit viser et par eksempler på, hvordan man kan bruge makroalgесamfundets dækning og sammensætning som mål for miljøkvalitet. Kvalitetsvurderingsværktøjerne, der er udarbejdet for By- og Landskabsstyrelsen, er baseret på modeller, der beskriver sammenhængen mellem kvælstoftilførsel eller kvælstofkoncentration og dækning af makroalgесamfund på en given vanddybde.

Modelværktøjet kan også bruges til at estimere den algedækning, der repræsenterer grænsen mellem gunstig og ikke gunstig bevaringsstatus eller god og moderat miljøtilstand ud fra fastlagte grænseværdier for kvælstoftilførsel eller koncentration. Dermed kan modelværktøjet beregne miljømålsætninger for algevegetationen. På tilsvarende vis kan værktøjet benyttes til at estimere grænser mellem andre af vandrammedirektivets tilstandsklasser: høj tilstand, god tilstand, moderat tilstand, ringe tilstand og dårlig tilstand.

Det ene værktøj indgår bl.a. som det danske vurderingsredskab i forbindelse med den igangværende EU interkalibreringsproces i Østersøen i henhold til vandrammedirektivet. Når resultaterne af interkalibreringsprocessen foreligger, formentlig i 2012, må værktøjet forventes at skulle indgå i forbindelse med vurderingen af makroalgernes tilstand i det nationale overvågningsprogram.

Både makroalgernes samlede vegetationsdække og summen af de enkelte arters dækning på dybvandede stenrev i det centrale Kattegat er korreleret med tilførslen af kvælstof til Kattegat i det forudgående halvår 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 stor forklaringskraft, idet deres korrelationskoefficienter og signifikansniveauer generelt er høje ($r^2 > 0,80$, $P < 0,0001$). Der er opstillet tilsvarende modeller for stenrev i det nordlige Kattegat omkring Kattegat-Skagerrak fronten og i Storebælt, men disse har mindre forklaringskraft end modellerne for revene i det centrale Kattegat.

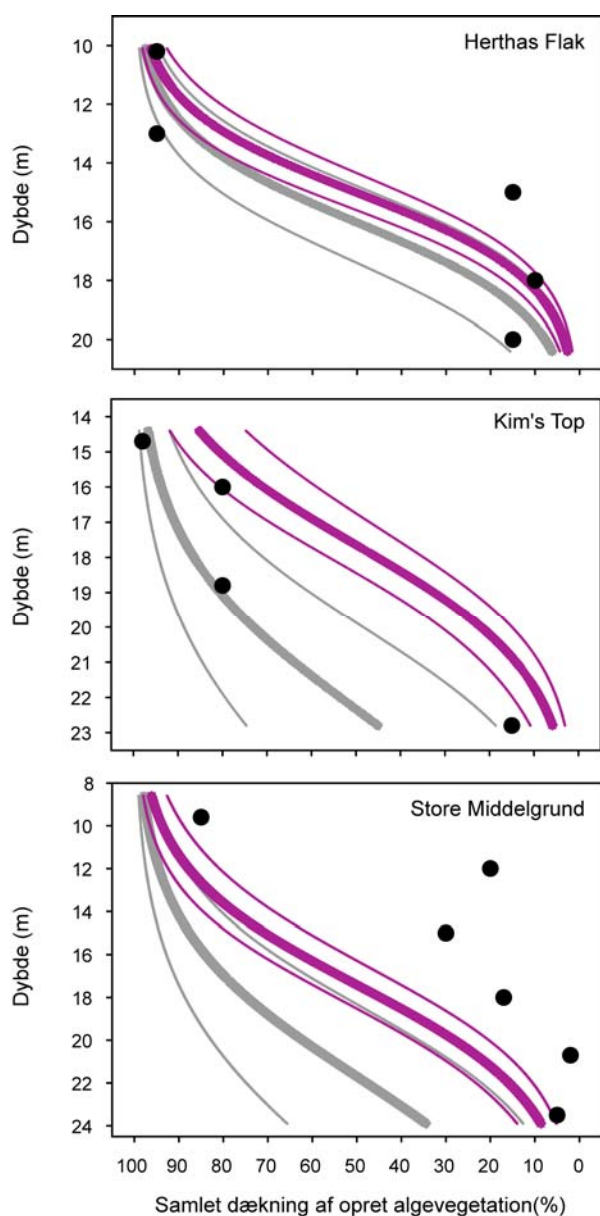
Andre modeller viser, at også sigtdybde korrelerer fint med det samlede vegetationsdække på de dybvandede stenrev i Kattegat ($r^2 = 0,67$, $P < 0,0001$, Dahl & Carstensen 2005).

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 medens klimatiske forhold og græsningstryk er konstante.

Algevegetationens dækning langs dybdegradier på tre rev i Kattegat er modelleret for to scenarier for kvælstoftilførsel (figur 9.4). Det ene scenarium repræsenterer den gennemsnitlige tilledning af næringsalte til Kattegat i perioden 1994 - 2005, mens det andet repræsenterer en referencelignende tilstand med stærkt reduceret næringsalttilledning. De observerede dækningsprocenter på de undersøgte stationer i 2007 er også vist, dog uden at data er korrigeret for variation i indstråling i forårshalvåret i 2007 og for græsning af søpindsvin.

For kystvandene er der ligeledes udviklet et sæt makroalgeindikatorer (tabel 9.2) baseret på analyser af makroalger indsamlet under NOVANA-programmet (Carstensen m.fl. 2008). Indikatorerne omfatter 1) den totale algedækning, 2) den summerede dækning af hele algesamfundet af opportunistiske arter eller af flerårige arter, 3) andel opportuniste og 4) antal flerårige arter. Indikatorerne beskriver middeltilstanden og variationen af algeobservationer ved 7 m's dybde i et givet vandområde på baggrund af en underliggende statistisk model. Empiriske relationer viser, at alle disse variable reagerer på forskelle i kvælstofkoncentration mellem områder. Generelt falder algernes dækning og artsantal, mens andelen af opportuniste stiger med øget næringsrigdom. Algernes respons afhænger dog også af saltholdighed, så det er nødvendigt at definere forskellige miljømål for brakke og mere salte områder. Selvom alle indikatorer var signifikant korreleret med vandkvaliteten ($p < 0,05$), udviste data dog også en betydelig stokastisk variation, som modellen ikke kunne forklare. 'Den totale algedækning', 'antal flerårige arter'

og 'opportunisters andel af den samlede vegetation' reagerede tydeligst på kvælstofkoncentration og udviste samtidig mindst stokastisk variation og er derfor de mest robuste og mest velegnede algeindikatorer. En forudsætning for at anvende algesamfundets samlede dækning som indikator er naturligvis, at der er substrat, dvs. sten, på vanddybder, hvor lyset for alvor er en begrænsende faktor.



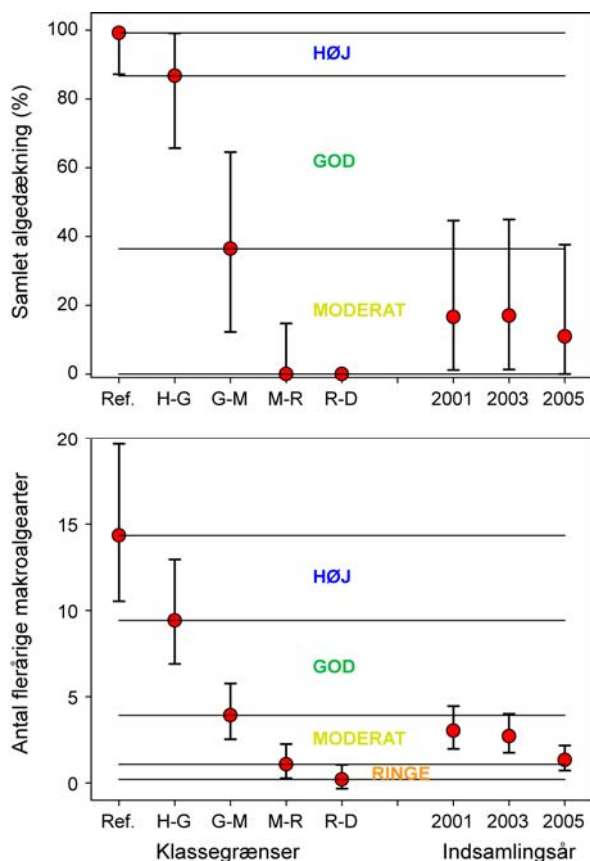
Figur 9.4. Aktuelle dækninger af den samlede oprette algevegetation på undersøgelsesstationer på 3 rev i Kattegat (sorte cirkler) og modellerede dækninger for to forskellige scenarier med kvælstoftilførsel. De røde linjer angiver henholdsvis den gennemsnitlige modellerede algedækning med tilhørende 95% konfidensintervaller svarende til den gennemsnitlige TN-tilførsel for perioden 1994 - 2006 på 48.000 tons. Det andet scenarium svarende 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.

Algemodellerne for kystområderne er benyttet til at estimere mulige grænser mellem vandrammedirektivets tilstandsklasser baseret på algevariable. Modelleringen er foretaget ved at indsætte klassegrænser for næringssaltniveauer samt områdernes saltholdighed i de empiriske relationer mellem næringssalte, saltholdighed og algevariable. Klassegrænserne for næringssalte er baseret på ekspertvurdering, med input fra By- og Landskabsstyrelsen, af de overordnede effekter af udviklingen i næringssalttilførsel til danske farvande og efterfølgende omregnet til områdespecifikke klassegrænser på baggrund af fundne relationer mellem lokale tilførsler og koncentrationer (Carstensen *m.fl.* 2008).

Tabel 9.2. Makroalgeindikatorer og de variable der signifikant bidrager til at beskrive de enkelte indikatorer med tilhørende korrelationer. TN*salinitet betyder, at effekten af TN var afhængig af saliniteten for den pågældende indikator. Pilene angiver, hvorledes TN og salinitet påvirker algeindikatoren (efter Carstensen *m.fl.* 2008).

Variabel	TN	Salinitet	TN * salinitet	R2
Samlet algedækning		↑	↓	0,68
Summeret algedækning		↑	↓	0,70
Summeret dækning af flerårige arter	↓	↑		0,71
Summeret dækning af opportuniste			↓	0,69
Opportunisters andel af den samlede vegetation	↑		↓	0,63
Antal af flerårige makroalgearter		↑	↓	0,79

Der er stor forskel mellem områder og mellem makroalgeindikatorer på hvor godt tilstandsklasserne er defineret og hvor velegnede indikatorerne dermed er til at vurdere tilstanden i et vandområde. Jo bedre klassegrænserne er adskilt og jo mere præcist de er bestemt, des mere velegnet er indikatoren i det pågældende område. Området omkring Mors i Limfjorden er et eksempel på et område, hvor det lykkedes forholdsvis godt at beskrive og adskille tilstandsklasser baseret på makroalgeindikatorer (figur 9.5).



Figur 9.5. Eksempel på miljøtilstandsvurderingsværktøjer baseret på indikatorerne "Samlet algevegetation" (øverst) og "Antal flerårige alger" (nederst) fra et område i Limfjorden. Data er normaliseret til 7 m's dybde. Figurenes venstre side viser modellerede klassegrænser for indikatorerne med tilhørende 95% konfidensintervaller i relation til vandrammedirektivets målsætningssystem. Ref = referencetilstand, H = høj miljøtilstand, G = god miljøtilstand, M = moderat tilstand, R = ringe tilstand og D = dårlig tilstand. Figurenes højre side viser indikatorernes niveau i 2001, 2003 og 2005 med tilhørende 95% konfidensintervaller. Algeindikatorerne er modelleret for en standarddybde på 7 m (efter Carstensen m.fl. 2008).

Sammenfatning

Sammenfattende viste vegetationen følgende udvikling gennem perioden 1989 - 2007:

- Der er ingen generel fremgang i ålegræssets dybdeudbredelse og dækning. Det kan hænge sammen med, at vandet ikke er blevet klarere gennem overvågningsperioden. Yderfjordene har dog oplevet en stigning i dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse. Derimod er dybdegrænsen reduceret i Limfjorden, dækningen er generelt reduceret i inderfjordene og i Limfjorden samt på lavt vand (1 - 2 m) i yderfjordene og langs de åbne kyster.
- Den samlede algedækning på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat i 2007 var ikke signifikant forskellig fra gennemsnittet i 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.
- *Heterosiphonia japonica* og *Gracilaria vermiculophylla* er de to senest opdagede invasive makroalgearter, som har etableret bestande i danske farvande inden for en kortere årrække. *Polysiphonia elongella* er også en ny art, der er registreret på 10 stationer på 4 revlokaliteter i 2006 for første gang. *P. elongella* har nok været i danske farvande en del år, men er fejlbestemt.

10 Bundfauna

Alf Josefson & Jørgen L.S. Hansen

Bundfaunasamfundet i de danske farvande rummer et stort antal arter, der hver især har vidt forskellige tilpasninger og funktioner i det marine økosystem. På lave vanddybder indgår bundfaunaen i både vandsøjlen og bundens fødenet, idet mange arter lever af at filtrere vandet, og ofte er deres tæthed og biomasse så stor, at de er i stand til at kontrollere planteplanktonet i hele vandsøjlen, hvis denne ikke er lagdelt. Størstedelen af det organiske materiale, der sedimenterer ud af vandsøjlen, bliver omsat af bundfaunaen. Dermed udgør bundfaunaen et vigtigt bindeled mellem planteproduktionen i de frie vandmasser og de højere led i fødekæden såsom fugle, fisk og pattedyr.

Bundfaunaen påvirkes af det omgivende miljø i sedimentet og vandsøjlen, og da bundfaunaen overvejende er stedfast og består af flerårige arter, vil generelle miljøændringer påvirke bundfaunaens tæthed, biomasse, sammensætning og diversitet. Den samlede biomasse og i nogen udstrækning også tætheden af bunddyr afhænger overordnet af den mængde organisk stof, der bliver produceret i økosystemet og dermed af mængden af næringsstoffer (Josefson & Rasmussen 2000). Høje koncentrationer af næringsstoffer og dermed en stor produktion af organisk stof øger imidlertid også risikoen for, at der opstår iltsvind, som påvirker bundfaunaen negativt og i ekstreme tilfælde medfører fuldstændig udslettelse af hele samfundet. Virkningen af eutrofiering afhænger derfor i høj grad af områdernes typologi, dvs. vandkemien, hydrografien og bundforholdene. I områder hvor der er en god ventilering af bundvandet vil bundfaunasamfundet således kunne omsætte store mængder organisk stof og opnå høje biomasser, fordi der er megen føde og sjældent er iltsvind.

Artsrigdommen er høj i de indre danske farvande med mere end 400 almindeligt forekommende arter. Den højeste diversitet findes i de åbne områder med høj saltholdighed. Bundfaunasamfundets sammensætning og diversitet undergår hele tiden forandringer, som dels er styret af de enkelte arters populationsdynamik og dels af interaktioner mellem arter. Rekrutteringen til bundfaunasamfundene formodes at være begrænsende for diversiteten – specielt i de lukkede områder. Her antages det, at opretholdelsen af artsdiversiteten er afhængig af, at der føres arter ind, når der sker en vandudveksling med de artsrige åbne områder i de indre farvande (Josefson

& Hansen 2004). Påvirkninger af bundfaunasamfundet fra det ydre miljø såsom forurening, iltsvind, svovlbrinte i sedimentet mm. vil oftest kunne ses som en signifikant ændring i samfundets sammensætning og i en faldende diversitet i de enkelte prøver, alfa-diversiteten (Hansen & Josefson 2005). Herudover kan miljøtilstanden vurderes ud fra sammensætningen af arter med hensyn til følsomhed, der beskrives med et biologisk indeks, AMBI (Borja *m.fl.* 2000, Muxika *m.fl.* 2005), der er baseret på graden af følsomhed/tolerance over for negativ miljøpåvirkning hos hver enkelt art. Jo højere andel af tolerante arter, jo højere indekssværdi og ringere miljøkvalitet. Endelig kan tilstanden vurderes ud fra en række indeks, der kombinerer diversitet og følsomheden. Det danske indeks, DKI, er udviklet og interkalibreret i forbindelse med GIG arbejde i typen NEA 1/26 (Borja *m.fl.* 2007, Carletti *m.fl.* 2008) og yderligere interkalibreret i typen NEA8 (Carletti *m.fl.* 2008).

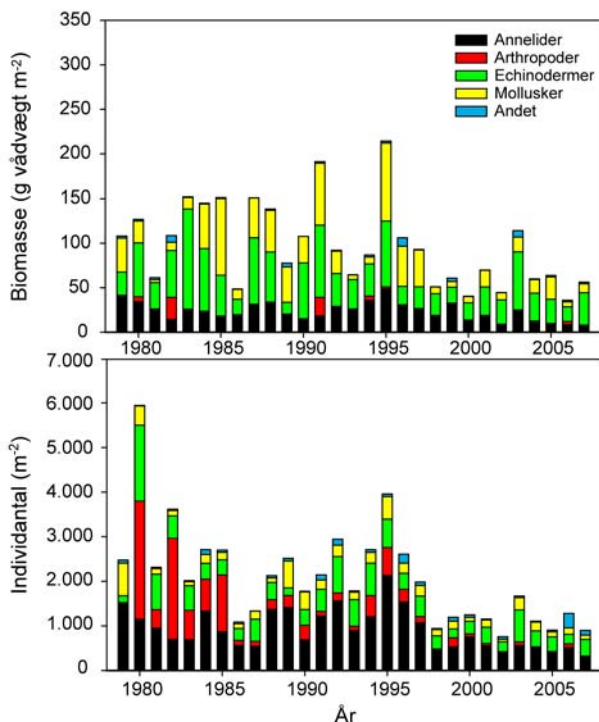
Åbne områder

Under det nuværende overvågningsprogram, NOVANA, blev der indsamlet 5 hapsprøver fra i alt 24 stationer i de indre danske farvande. Størstedelen af disse stationer blev videreført fra de tidligere overvågningsprogrammer. Det betyder, at der fra 22 af disse stationer eksisterer tidsserier, der går tilbage til 1994, og heraf er der fire stationer (413, 939, 31S og 444) beliggende i henholdsvis Kattegat, Bælthavet, Øresund og Arkonahavet, hvor der er sammenhængende dataserier fra 1982.

Udviklingen i bundfaunaen på de tre langtidssstationer (31S, 413 og 939) i de sidste 29 år viser, at gruppen af arthropoder (hovedsageligt krebsdyr) er gået markant tilbage og er næsten forsvundet efter 1998 (figur 10.1). Den samlede biomasse har ligget på omkring 100 g vådvægt m⁻² indtil slutningen af 1990'erne, hvorefter biomassen har stabiliseret sig på det halve, ca. 50 g vådvægt m⁻². I samme periode har den gennemsnitlige tæthed ændret sig fra ca. 2.000 til 1.000 individer m⁻².

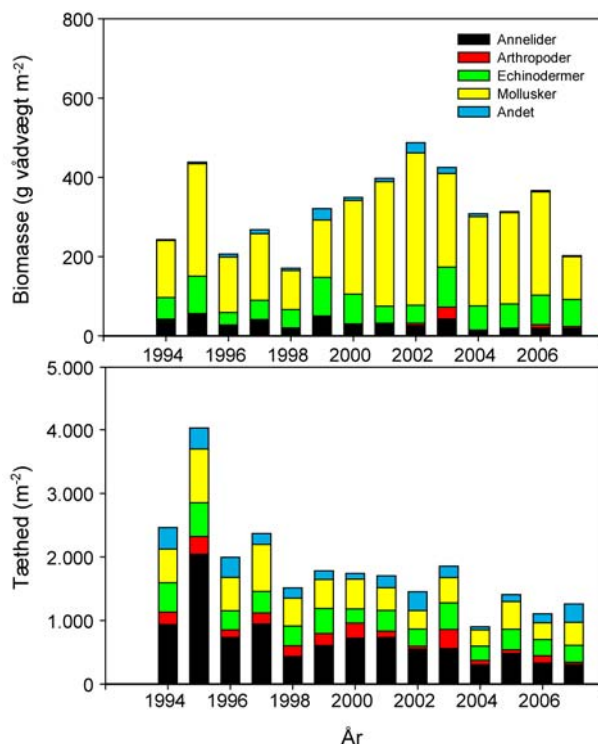
Fra 1994 og frem til 2007 kan udviklingen følges på væsentligt flere stationer. På i alt 18 stationer, som ligger i Kattegat og det nordlige Bælthav, ses et fald i tætheden fra ca. 2.000 til ca. 1.500 individer m⁻², hvor reduktionen er nogenlunde jævnt fordelt på de taksonomiske hovedgrupper (figur 10.2). Biomassen er helt domineret af echinodermer og mollusker

(hovedsageligt muslinger). Den samlede biomasse har svinget omkring 300 g vådvægt m^{-2} og har ikke ændret sig entydigt i perioden. Artsrigdommen er faldet markant igennem de sidste 14 år, og har i de sidste 4 år kun været ca. halvt så stor som i midten af 90'erne. Således blev der i 2007 kun fundet i gennemsnit lidt over 6 arter pr. prøve (143 cm^2), mens der i midten af 90'erne blev fundet ca. 14 arter (figur 10.3). På tilsvarende vis er artsrigdommen, udtrykt med Margalefs diversitetsindeks, faldet fra ca. 4 til 2,3.

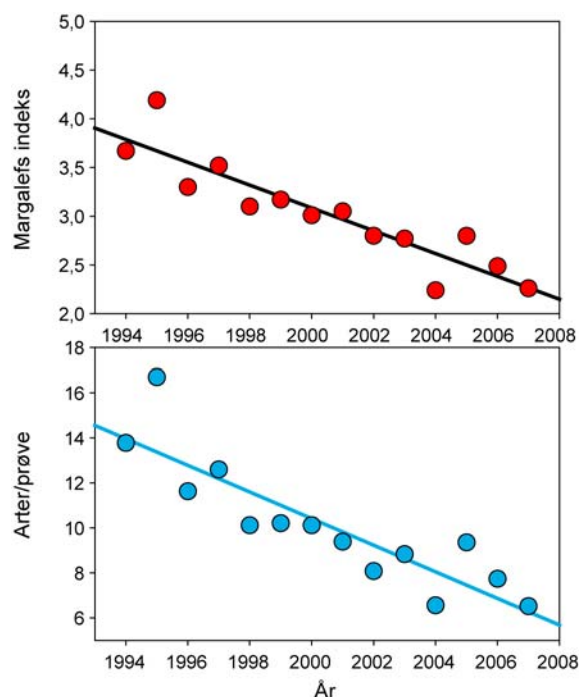


Figur 10.1. Tidsmæssig udvikling 1979 - 2007 i biomassen fordelt på taksonomiske hovedgrupper fra de 3 HELCOM-stationer i de indre danske farvande (øverst) og tidsmæssig udvikling i tætheder fordelt på taksonomiske hovedgrupper (nederst). Annelider = børsteorme m.m.; Arthropoder = krebsdyr m.m.; Echinodermer = pighude, herunder søstjerner og sømus; Mollusker = muslinger og snegle.

Den negative udvikling i bundfaunaens artsrigdom har tidligere været beskrevet (Ærtebjerg (red.) 2007). Data fra 2007 viser således, at denne udvikling fortsætter. Årsagen er, som tidligere anført (Hansen & Josefson 2005), ukendt og en forskningsindsats vil her være relevant. Den faldende diversitet skyldes ikke iltsvind, da hovedparten af data stammer fra stationer i Kattegat, som kun marginalt har været påvirket af iltsvind i de senere år. Der er heller ikke belæg for, at reduktionen i diversiteten skyldes andre negative effekter, der kan relateres til eutrofiering.

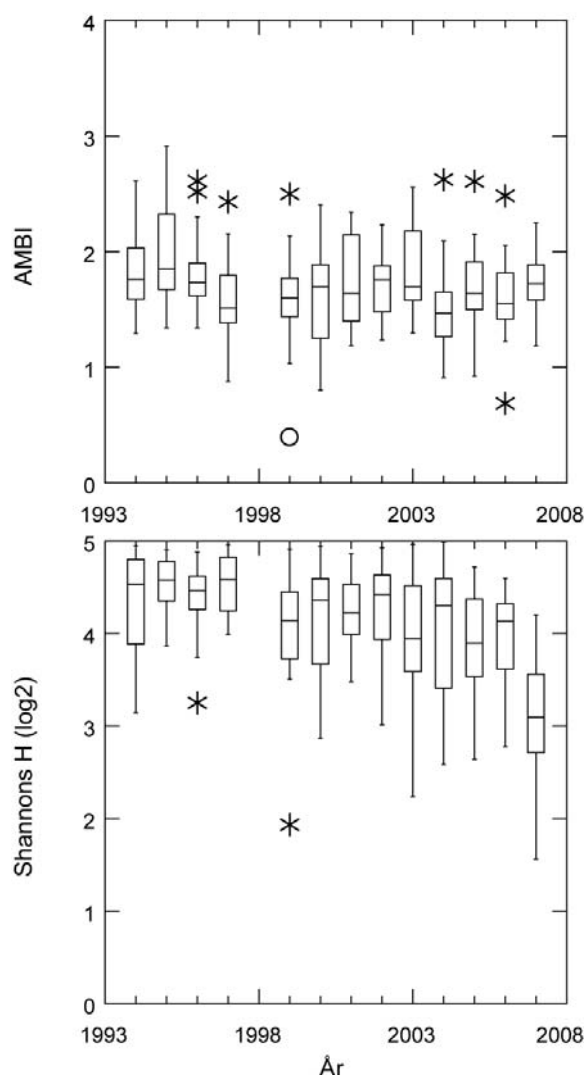


Figur 10.2. Tidsmæssig udvikling i biomasse fordelt på taksonomiske hovedgrupper fra de 22 stationer i de åbne danske farvande (øverst) og tidsmæssig udvikling i tætheder fordelt på taksonomiske hovedgrupper (nederst). Annelider = børsteorme m.m.; Arthropoder = krebsdyr m.m.; Echinodermer = pighude,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



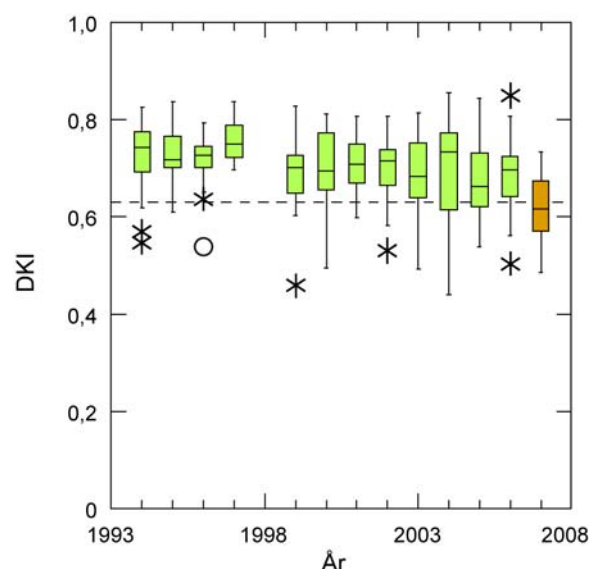
Figur 10.3. Tidsmæssig udvikling i Margalefs indeks (øverst) og gennemsnitligt antal arter pr. prøve på 18 stationer i Kattegat og 2 i Bælthavet, hvorfra data findes fra stort set alle årene i perioden 1994 - 2007. Linje fremkommet ved lineær regression.

I perioden fra 1994 og frem til 2007, hvor diversiteten er faldet, har den tilsvarende AMBI-værdi været mere konstant til og med 2007 (figur 10.4). AMBI beskriver, som tidligere anført, graden af følsomhed hos de arter der forekommer, og som helhed har AMBI-værdien ligget på et niveau lige under en værdi på 2. Det danske kvalitetsindeks, DKI, som kombinerer diversiteten (udtrykt som Shannon diversiteten) og graden af følsomhed i samfundet, viser et generelt fald i perioden 1994 - 2007 på grund af den faldende artsdiversitet. I 2007 er værdien dog markant lavere end i de tidligere år, da diversiteten var lav (figur 10.4, 10.5). Udviklingen er nogenlunde den samme på alle stationer.



Figur 10.4. Box and Whiskers plots, der viser udviklingen af AMBI indekset og Shannons H diversitet på de 20 stationer i Kattegat og Øresund. Værdier er baseret på 5 hapsprøver fra hver station. Horisontal streg angiver median værdi og boks inkluderer 50% af data og boksens højde angiver det interkvartile spænd (IS). Vertikale streger angiver spænd af data inden for 1,5 x IS, asterisker er værdier uden for 1,5 x IS, men inden for 3 x IS. Cirkel er værdier uden for 3 x IS.

For at vurdere hvorvidt den økologiske tilstand var tilfredsstillende eller ikke, blev DKI-værdierne fra hvert år sammenholdt statistisk imod *god-moderat tilstandsgrænsen* på 0,63. Den ikke-parametriske Wilcoxon Signed Ranks Test (Siegel 1956) blev brugt til dette formål, og ved brug af forsigtighedsprincippet kunne en tilstand kun betegnes som tilfredsstillende, når DKI-værdierne var signifikant (på 5%-niveauet) over grænsen. På figur 10.5 kan det ses, at alle år undtaget 2007 var i mindst *god økologisk tilstand*.

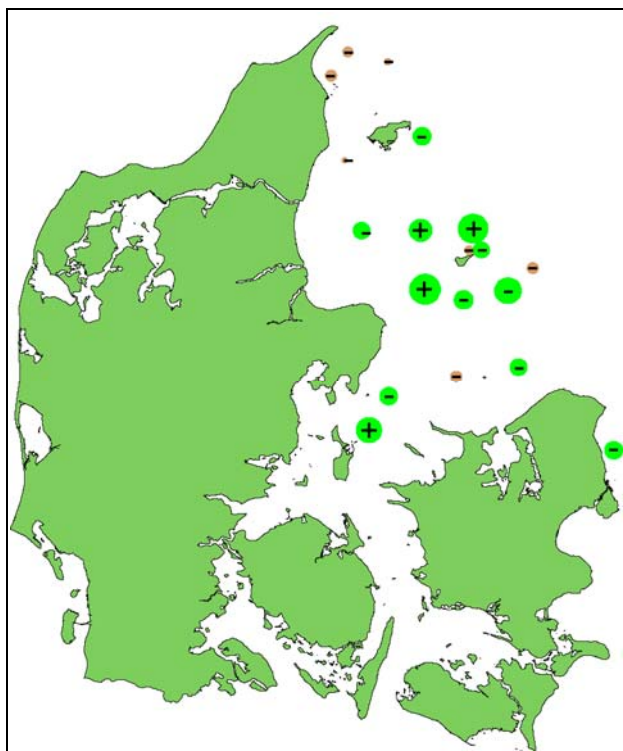


Figur 10.5. Box and Whiskers plot der viser udvikling i DKI indekssværdier baseret på 5 hapsprøver på de 20 stationer i Kattegat og Øresund, hvorfra data findes fra stort set alle årene i perioden 1994 - 2007. DKI beregnes bl.a. på baggrund af AMBI og Shannon Wiener diversitet ($\log 2$) (figur 10.4). Grøn farve angiver tilstand signifikant over *god-moderat* grænsen ($P < 0,05$). Brun farve angiver i dette tilfælde, at status ikke er signifikant forskellig fra grænsen og derfor var utilfredsstillende. For forklaring af BW-plot se figur 10.4.

Ved en sammenligning af de gennemsnitlige DKI-værdier i de to femårige perioder fra henholdsvis 1994 - 1998 og 2003 - 2007 (figur 10.6) ses det, at værdien er faldet på 15 stationer og kun steget på 4 stationer. Ud fra grænsen 0,63 mellem *god* og *moderat* økologisk tilstand er der således, med de seneste målinger, 7 stationer, der falder ned under denne grænseværdi.

Det forhold, at bundfaunaen udvikler sig negativt på stort set alle stationer, tyder på, at der ligger en fælles årsag bag denne udvikling. Bortset fra 2007, så skyldes den faldende diversitet ikke, at det er de specielt følsomme arter, der forsvinder, da AMBI-værdien er nogenlunde konstant. En generelt ringere rekruttering til bundfaunasamfundet er en blandt andre mulige årsager. En ringere rekruttering kan

skyldes både fysiske og biologiske faktorer. Ændringer i de hydrografiske forhold kan medføre ændringer i både predationen på de pelagiske bunddyrlarver og i deres fødegrundlag i den periode, de er i planktonet. Dermed kan de hydrografiske forhold få stor betydning for rekrutteringen, som generelt anses for at være en væsentlig begrænsende faktor for udviklingen af bunddyrssamfund. Langtidsændringer i den mængde organisk materiale, som sedimenterer ned til bunden, kan ligeledes have ændret sig som følge af faldende eutrofiering og stigende temperatur. Af andre forhold, der muligvis har en negativ indflydelse på bundfaunasamfundet, kan nævnes fysiske forstyrrelser af havbunden forårsaget af fx trawling, men der foreligger ikke data til at underbygge analyser heraf.



Figur 10.6. Gennemsnitlig DKI-værdi 1994 - 1999 og perioden 2003 - 2007 på 19 stationer i de åbne indre farvande. Der, hvor der er sket et fald, er dette markeret med (-) og tilsvarende er en stigning markeret med et (+). Størrelserne på symbolerne er skaleret i forhold til DKI-værdien, og farverne svarer til miljøkvalitetsgrænserne, således som de senest er defineret i vandrammedirektivet: god (grøn) og moderat (brun).

Sammenfatning

- Artsrigdommen af bundfauna er gradvist blevet reduceret og har de sidste 4 år været kun ca. halvdelen af niveauet i midten af 1990. Artsrigdommen i 2007 er den næstlaveste, der er registreret i Kattegat og Bælthavet.
- I perioden fra 1994 til 2007 er tætheden af dyr i Kattegat, Øresund og Bælthavet faldet med ca. 50%.
- Biomassen af bundfaunaen viser et fald i de sidste 5 år men ikke nogen tydelig udvikling gennem de sidste 14 år. På de tre langtidsstationer har biomassen ligget meget lavt de sidste 10 år.
- Beregning af miljøkvalitetsindekset, DKI, viser en generel forringelse i bundfaunasamfundet i de indre danske farvande i perioden 1994 - 2007. I 2007 nåede den økologiske tilstand for området som helhed ned på *moderat økologisk tilstand*, mens tilstanden i de foregående 13 år har været i mindst *god tilstand*.
- Årsagen til den faldende diversitet og generelt ringere tilstand af bundfaunaen er ukendt, men er ikke relateret til dårlige iltforhold.

11 Metaller i muslinger, fisk og sediment

Martin M. Larsen

NOVANA-programmet omfatter analyser af tungmetallerne zink (Zn), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb), cadmium (Cd) og kviksølv (Hg). Analyserne udføres årligt i biota (blåmuslinger, sandmuslinger og skrubber); herudover skal der analyseres sediment en gang i programperioden i 2008.

Alle metallerne forekommer naturligt i havmiljøet med et såkaldt baggrunds niveau. 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, der dog ved høje koncentrationer har giftvirkning. Muslinger anvendes som generel indikator for belastningen af tungmetaller og miljøfarlige stoffer i havmiljøet, da de generelt opkoncentrerer miljøfarlige stoffer og metaller i forhold til vandkoncentrationer og typisk repræsenterer et integreret niveau for stationen over de sidste dage til måneder, afhængig af hvilket stof, der måles. Muslinger er desuden stationære og mangler evnen til at nedbryde de fleste organiske miljøfremmede stoffer.

I 2007 indgik en række regionale stationer (DEVANO), som miljøcentrene havde udtaget for at få information fra områder, der mangler data i vandrammedirektiv-sammenhæng, eller som er potentielt belastede. Dette gav et stort antal stationer i årets prøvetagning – nogle med en formodet høj belastning.

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 femdel klassificering af forureningsgraden for metaller i muslinger (figur 11.1). Miljøcentrene har i de seneste år arbejdet med vurderingskriterier for NOVANA, som kan anvendes i vandrammedirektiv-sammenhæng, men de har ikke haft resurser til at udføre regionale rapporteringer for 2007-data. Derfor er der

kun anvendt SFT vurderingskriterier til den nationale vurdering.

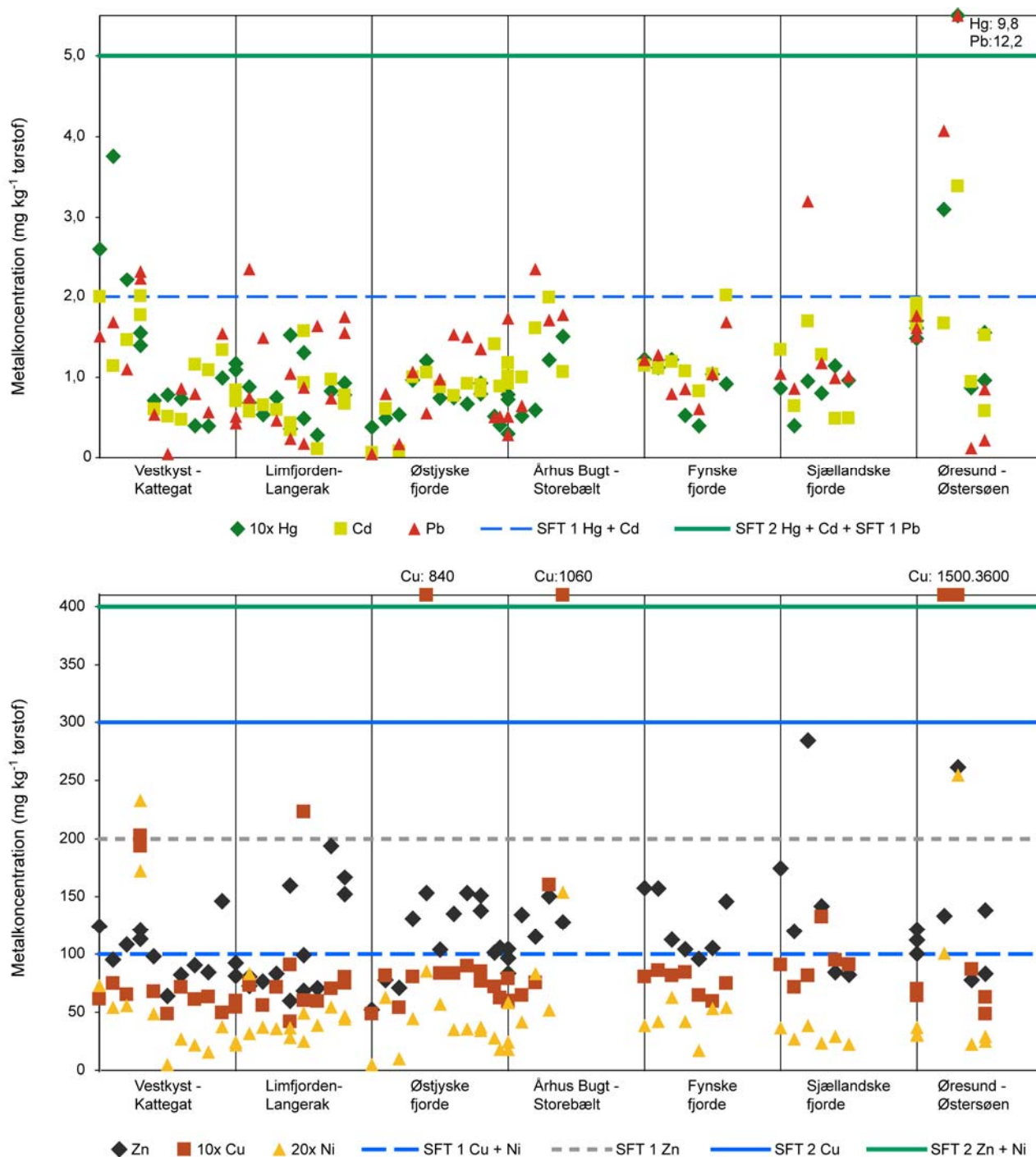
Der er i Oslo-Paris konventionen (OSPAR) i efteråret 2008 udviklet et sæt foreløbige vurderingskriterier, som skal anvendes i forbindelse med næste kvalitetsstatusrapport (QSR) for Nordsøen, disse præsenteres i afsnittet 'Udvikling og status i OSPAR-området'. De nye kriterier er gennemgået for at vise, hvilken indflydelse de vil få på fremtidige vurderinger, hvis de bliver accepteret.

Anvendes SFT-vurderingskriterierne er 86 til 99% af muslingerne i den blå 'meget god' kategori. Kun for Cu var der 4 ekstreme værdier, oftest i forbindelse med stærkt trafikerede områder: Kalvebod i Københavns Havn (Øresund) var meget stærkt forurenet, hvor også Hg var oppe i det gule 'mindre god' felt (over 200 mg Cu kg⁻¹ hhv. 0,5 mg Hg kg⁻¹). Muslinger ved Vedbæk i Øresund og Agersø i Storebælt var stærkt forurenet med over 1 g Cu pr. kg muslingekød, og muslinger ved Amstrup Red i Horsens Fjord (østjyske fjorde) var markant forurenet. Kalvebod-muslingerne havde generelt de højeste metalkoncentrationer, bortset fra Zn i muslinger fra Roskilde Fjord nær det tidligere Stålvalseværk i Frederiksværk (sjællandske fjorde). For de øvrige metaller lå 2 - 8% af muslingerne i kategorien 'god'. En oversigt over de individuelle resultater for Hg, Cd og Ni er vist i figur 11.2. Grænsen for SFT klasse 1 for Cd og Hg (efter skalering med en faktor 10) er markeret med stiplede linie, og grænsen til klasse 2 med fuldt optrukket linie, som også svarer til Pb klasse 1 grænsen.

Endelig er der for metallerne en bekendtgørelse fra 2005, der sætter grænser for indholdet i muslinger og fisk (Fødevarestyrelsen 2005a, b). Ingen af de relevante grænseværdier var overskredet for Hg i prøver af 39 fisk eller 69 muslingestationer; ingen muslinger var over grænsen på 1,0 mg Cd kg⁻¹ VV. Kun for Pb var muslingerne fra Kalvebod over 1,5 mg kg⁻¹ VV og derfor ikke anvendelige til menneskeføde. I NOVANA-programmet analyseres der på fiskelever, da de giver den bedste mulighed for tidstrend-analyser. Da grænseværdierne gælder for muskel, kan Pb og Cd i fisk ikke vurderes.

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

Figur 11.1. SFT klassificeringssystem fra 1997. Sammenhæng mellem tilstandsklasse, miljøtilstand og forureningsgrad.



Figur 11.2. Koncentration af metal i muslinger rundt om DK, fordelt på områder med individuelle resultater. Bemærk skalering af Hg (maks. 0,5 mg/kg), Ni (maks. 20 mg/kg) og Cu (maks. 40 mg/kg TS). Bemærk outlierne for Hg, Pb og Cu over skalaen (værdierne angivet er også ganget med 10). Ingen prøver var over SFT 2 for Zn og Ni (ingen trekanter og rhomber over linjen ved 300).

Udvikling og status i OSPAR-området

Det nationale overvågningsprogram startede med landsdækkende undersøgelser af muslinger i 1998, som samtidig var det sidste år, der indgik i Oslo-Paris konventionens Quality status rapport 2000. Der arbejdes nu inden for OSPAR med forberedelserne til QSR 2010, og i den anledning er alle danske tidstrend-stationer evalueret i forhold til et særligt sæt vurderingskriterier, i alt 14 stationer i Nordsøen og Kattegat/Skagerrak med mere end tre års overvågningsdata i perioden 1998 - 2007. Det er aftalt med EU Kommissionen, at QSR 2010 skal ligge til grund for den kommende marine strategi i EU.

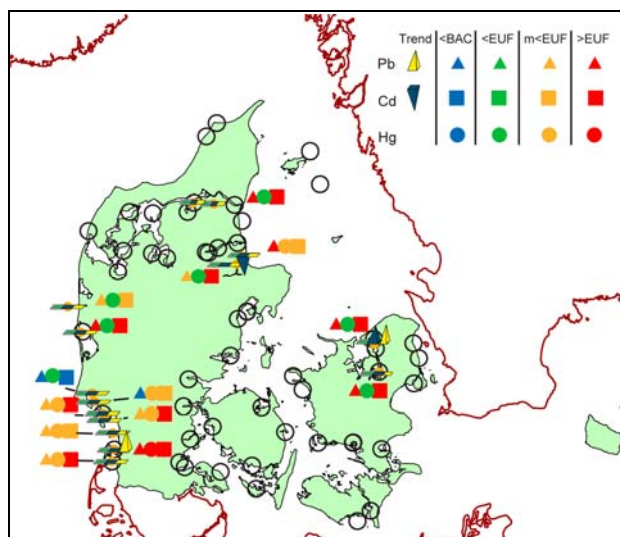
Vurderingskriterierne er beskrevet i OSPAR (2008), og her indgår 2 målsætninger: vurdering af om koncentrationen er på baggrundsniveau eller nærmer sig, hertil anvendes et Background Assessment Criteria (BAC) og det andet mål er, at stoffer ikke må give anledning til uacceptabelt biologisk respons eller niveauer af sådanne respons. Hertil skal der udvikles økotoksikologisk kriterium (EAC), men dette er ikke sket for metaller, så i stedet anvendes EU's maksimale fødevaregrænse (EUF). Tidstrend-analysen skal afdække, om der er sket fremskridt siden 1997. Der er udviklet kriterier for de prioriterede metaller Cd, Pb og Hg.

Metoden ved vurdering i OSPAR

Der anvendes en lineær model for data serier på 4 - 5 år med tilføjelse af en ikke-lineær komponent for længere tidsserier. Ud fra modellen beregnes en modelleret middelværdi for sidste år med tilhørende konfidensinterval. Da man arbejder ud fra et forsigtighedsprincip, anvendes den øvre grænse af konfidensintervallet til at sammenligne med, hvilket betyder, at det resultat, der vurderes, i gennemsnit er ca. det dobbelte af den fundne middelværdi (op til fire gange over). Hvor værdierne ligger under BAC, er generationsmålet for OSPAR opfyldt, og symbolet på figur 11.3 er blå. Er værdien under EUF, tildeles symbolet grøn, i princippet fordi der ikke kommer uacceptabelt biologisk respons - med det anvendte kriterium på mennesker, der spiser fiskene eller muslingerne. For at nuancere billedet yderligere er stationer, hvor den modellerede middelværdi er under EUF (men over BAC) farvet lilla, og hvis middelværdien også er over EUF, er stationen markeret med rødt. I OSPARs rapport vil både lilla og røde være røde.

Udviklingen i danske farvande

For danske stationer blev der af OSPAR fundet 30 signifikante tidslige udviklinger, heraf de fire for metaller (se afsnit 13 for resten). Tre stationer havde stigende indhold af metaller over tid, i Roskilde



Figur 11.3. Tidslig udvikling og status for OSPAR QSR 2010 rapport. Kortet er fra ICES med markering af forskellige vandområder i ICES/OSPAR. Foreløbige vurderinger fra MON2008. Vurderingen af koncentration vises ved farven på symbolerne for hhv. Pb, Cd og Hg: blå = under BAC, grøn = under EU's fødevaregrænser (EUF), orange = beregnet værdi i 2007 under EU's fødevaregrænser, og rød = øvre konfidensgrænse over EU's fødevaregrænser. Retningen af en evt. signifikant tidstrend er angivet med pyramide over (stigende trend) eller under (faldende trend) stationsindikatoren. De åbne cirkler markerer stationerne, der er målt i 2007.

Fjord for både Cd og Pb, og i Juvre Dyb tidevandsområde for Pb, mens en faldende tendens for Cd kunne findes i Randers Fjord (figur 11.3). Der blev ikke fundet signifikante tidstrends for Hg, Zn og Cu. Ni indgår ikke i OSPARs databehandling. De 14 tidstrend-stationer er vist i figur 11.3; de er en del af NOVANA-stationerne, men ikke alle prøvetages hvert år.

Status for danske farvande efter OSPAR-systemet

Resultatet af OSPARs vurdering ses på figur 11.3. Det bemærkes, at kun for Hg ligger halvdelen af værdierne under EUF, og ingen muslingestationer i Vadehavet er under EUF. Cd-værdierne er over EUF i alle tilfælde, undtaget fisk fra Ho Bugt i Vadehavet, som generelt er under EUF, og for Cd og Pb endda BAC. Endelig er bly noget mere varieret: to stationer i det nordlige Vadehav er under BAC, men ellers er alle over EUF. Det betyder, at det ikke kan udelukkes, at der er skader på økosystemet pga. Pb og Cd i de fleste danske områder efter OSPARs vurdering.

Konfidensintervallets bredde er afgørende for 18 af 42 resultater, og usikkerheden på middelværdien i 2007 afhænger af modellen, men også antallet af delprøver pr. station og analysekvaliteten, vurderet ud

fra deltagelse i QUASIMEME og intern kvalitetskontrol. Enkelte prøver og manglende (eller dårlig) kvalitetskontrol giver således en øget usikkerhed på middelværdien og dermed en stor sandsynlighed for ikke at opnå grøn status. For danske data er det fortrinsvis antallet af prøver pr. station (mellem en og tre replikater), der bidrager til udvidelse af konfidensintervallet. Der kan være en faktor 2 - 3 i forskel på konfidensintervallet på sidste år, efter om der analyseres en eller tre prøver på stationen.

Data fra stationer i Øresund og sydlige dele af Storbælt/Lillebælt samt Østersøen er ikke vurderet i OSPAR-regi, da de ligger uden for konventionsområdet.

Sammenligning med vurdering efter SFT

Resultatet fra OSPAR bliver derfor, at de fleste områder i Danmark har uacceptabelt biologisk respons (røde), hvorimod den sædvanlige vurdering efter SFT siger, at de fleste stationer er på baggrundsniveau (blå) eller kun moderat forurenet (grønne).

Med det kommende marine strategidirektiv kan tidstrend-stationer og antallet af prøver pr. station derfor få afgørende betydning for vurderingen af tilstanden i danske farvande, da enkelte prøver uden tidstrend bliver pålagt et større konfidensinterval end stationer med flere prøver og modelleret middelværdi.

Sediment

De 28 prøver fra 16 stationer vurderes efter SFT's reviderede klassifikationssystem *SFT (2007)*, som giver nye værdier for sediment og vand. Da der kun indsamles sediment ca. hvert 5 år i NOVANA, er der ingen tidstrend-stationer, og data er derfor ikke behandlet af OSPAR. Der er 43 - 93% af resultaterne på baggrundsniveau, mindst for Cd, hvor 57% er i

god tilstand. Sedimentet i Kalveboderne i Københavns sydhavn (Sorterende) har de højeste værdier, og scorer 'dårlig' (Cu, Pb) til 'meget dårlig' tilstand for Hg.

Konklusion

- Metaller i blåmuslinger og fisk vurderes efter SFT 1997 klassificeringssystemet generelt at være omkring baggrundsniveau.
- For Cu er der flest ekstreme værdier, specielt for muslinger fra Kalvebod i Københavns Havn, der betegnes som stærkt forurenet, og alle metaller var forhøjede, i alt 4 værdier lå en faktor 10 - 40 over medianværdien.
- Ved Stålvalseværket i Roskilde Fjord og Vedbæk i Øresund blev der fundet forhøjede værdier af hhv. Zn og Pb ved Stålvalseværket og Pb, Hg og Cu ved Vedbæk.
- Metaller i sedimenter vurderet efter SFT 2007 klassificeringssystemet er generelt i 'god' tilstand, selvom det er DEVANO-prøver.
- Muslinger fra Kalvebod, Sorterende og Stålvalseværket skiller sig ud som 'dårlig' til 'meget dårlig' tilstand for enkelte eller alle metaller.
- OSPARs QSR 2010 vurderingssystem finder de fleste områder over EU's fødevarekriterium og dermed problematiske pga. anvendelsen af øvre konfidensgrænse for estimatet (grøn statistik) - de fleste middelværdier er under EU's fødevarekriterium.
- Der er en aftale mellem EU og OSPAR om, at QSR 2010 skal indgå som grundlag for den kommende marine strategi. Det er endnu for tidligt at sige, hvad der kommer til at ske mht. vurderingskriterier i den marine strategi.
- OSPAR QSR 2010 tidstrend-analyse viste stigende niveauer af Pb og Cd i Roskilde Fjord og Pb i Vadehavet, men faldende tendens for Cd i Randers Fjord.

12 Miljøfarlige stoffer i muslinger og fisk

Martin M. Larsen, Jakob Strand & Ingela Dahllöf

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 derved påvirke dyrs vækst, reproduktion, adfærd eller på anden måde deres overlevelse. Mange af stofferne er sat i forbindelse med fx hormonforstyrrende effekter.

I 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 (transnonachlor). I muslinger analyseres desuden for antibegroningsmidlet tributyltin (TBT, 4 stk.), bromerede flammehæmmere (PBDE, 9 stk.) samt tjærestoffer (PAH, 28 inkl. 16 stk. US-EPA standard), som kommer fra forbrænding og oliespild. De bromerede flammehæmmere er nye i forhold til NOVA-programmet. Udover de sædvanlige NOVA-NA-prøver er der også analyseret DEVANO-prøver med phthalater, dioxiner, furaner og coplanare PCB'er som supplerende stoffer til NOVANA-programmet.

Programmet er 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 OSPAR-regi udarbejdet tidstrendanalyser for 1998 - 2007, hvorfra de foreløbige danske resultater er vist i afsnittet "Udvikling og status i OSPAR-området". 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. Det drejer sig om phenoler, chlordaner og pesticider i havvand, som alle er kort skitseret i afsnittet "Danske og Nordisk Ministerråds screeningsundersøgelser".

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), udarbejdet af OSPAR-kommissionen (OSPAR 1998). Disse er blevet bearbejdet og det nye sæt kriterier er anvendt i forbindelse med OSPARs QSR 2010 (se *kapitel 11*). Som for metaller er der også udviklet kri-

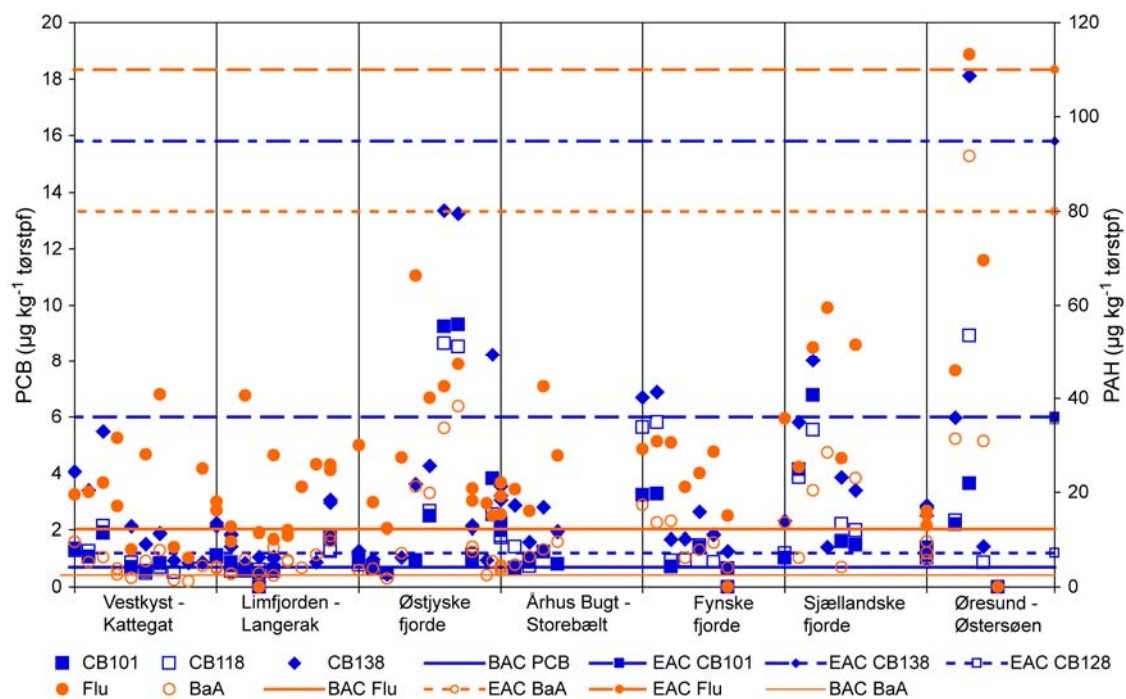
terier til at vurdere, om de enkelte stoffer er tæt på baggrundsværdien (BAC), som for de fleste organiske forbindelser pr. definition er 0, dog undtaget PAH'erne, der kan komme fra skovbrande og vulkansk aktivitet. Enkelte stoffer vurderes efter SFT-klasserne, som beskrevet for metaller i *kapitel 11*, da der endnu ikke er udarbejdet EAC-kriterier. Der findes en Nordisk Ministerråds rapport om vurderingskriterier, der anvendes for Cd, TBT og PCB'er (*Strand m.fl. 2008*), hvor resultater af at anvende de forskellige kriterier illustreres.

EAC-værdien er fastlagt, således at der er en risiko for, at et stof kan medføre uacceptable ændringer for arter, hvis koncentrationen overstiger denne værdi. Hvis koncentrationen ligger i intervallet mellem BAC og EAC forventes ikke uacceptable ændringer. Resultaterne af overvågningen i 2007 for udvalgte PAH'er og PCB'er er vist i *figur 12.1* med angivelse af de relevante vurderingskriterier. For de fleste PAH'er ligger koncentrationerne under BAC-niveauet - disse er ikke vist. For andre findes kun BAC-kriterier - de er heller ikke vist. Benz(a)anthracen (BaA) og fluoranthen (Flu) er begge over EAC ved Kalvebod, ellers ligger 85 - 90% imellem BAC- og EAC-kriterierne. Samme situation ses for PCB'erne, hvor CB101, CB118 og CB138 er vist; for alle øvrige PCB'er er ingen koncentrationer over EAC. Generelt findes de højeste koncentrationer af organiske stoffer i muslinger fra Kalvebod og Kolding Fjord; de lave PCB'er for Kolding Fjord (CB28 - 118), og de høje i Kalvebod (CB153 - 187).

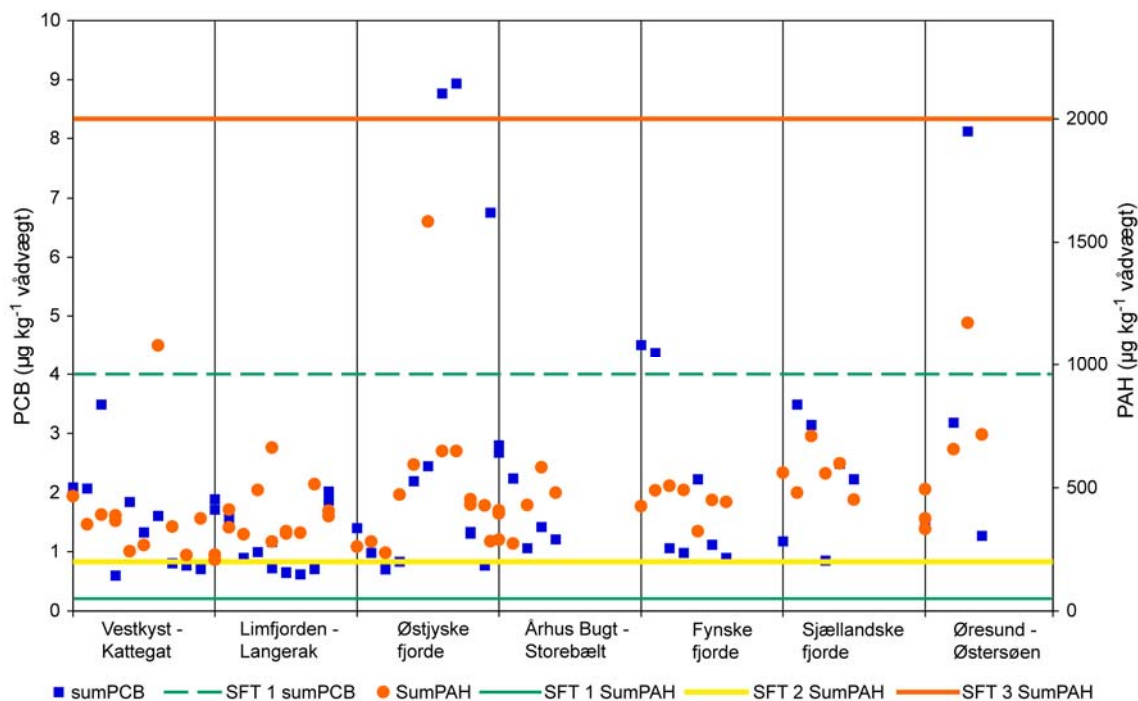
For de klorerede pesticider α -HCH og lindan, HCB og DDE er der ikke udviklet EAC-kriterier, men ud fra analyseusikkerheden og detektionsgrænserne er et BAC kriterium sat af OSPAR. I de fleste tilfælde svarer BAC næsten til detektionsgrænsen, og derfor er de fleste koncentrationer over detektionsgrænsen også over BAC. For DDE, et nedbrydningsprodukt af DDT, findes 95% af koncentrationerne dog over detektionsgrænsen. Der blev ikke fundet chlordan (transnonachlor) over detektionsgrænsen i muslingep prøver i 2007.

Vurdering af summerne for PCB og PAH over for SFT-kriterier er vist i *figur 12.2*. 90% af prøverne er på baggrundsniveau for summen af PCB'er, og de resterende 10% er moderat forurenede. For PAH'erne indgår der flere PAH'er i summen end foreskrevet af SFT, her findes kun 6% af prøverne på bag-

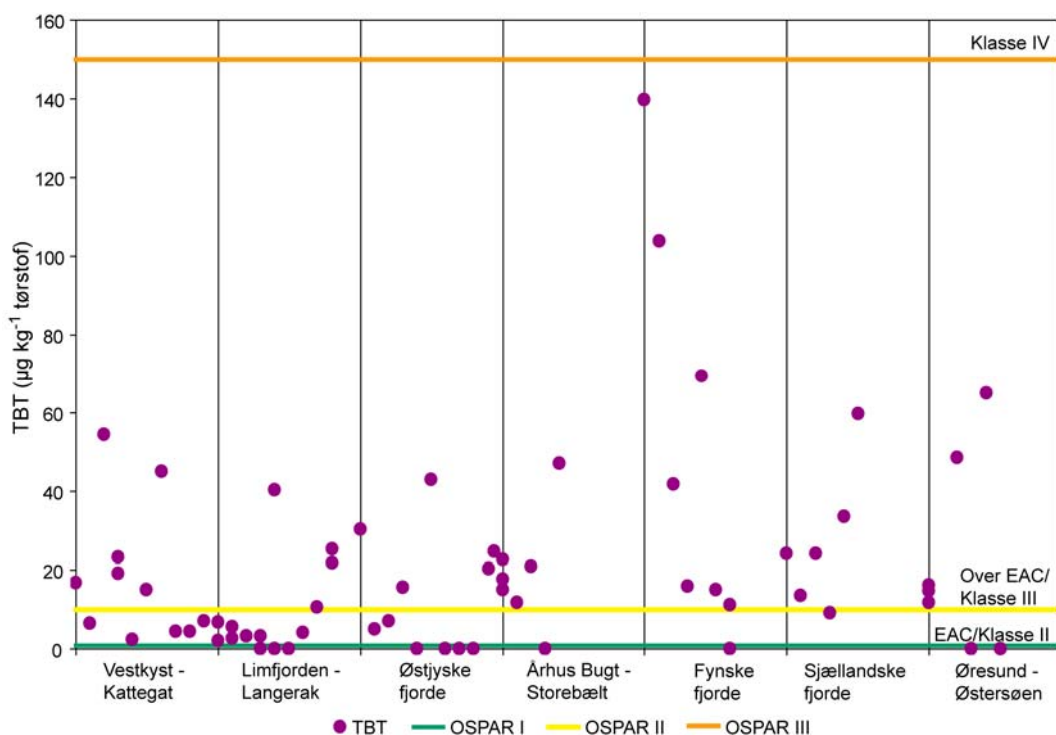
grund/let forurenet niveau, mens 90% er moderat forurenet. Kun 3% (Hirtshals østmole og Vejle Fjord) er markant forurenet.



Figur 12.1. Vurdering af udvalgte PCB'er og PAH'er efter OSPARs EAC- og BAC-kriterier (bemærk enhederne er i tørstof, da kvalitetskriterierne er i tørstof, og tørstofindholdet i muslinger varierer mellem 10-20%). De blå markeringer er PCB'er og de orange PAH'er. Kolding Fjord og Kalvebod skiller sig ud. Værdier under BAC (fuldt optrukne linjer) er tæt på baggrund, værdier under EAC (stiplede linjer) forventes ikke at være påvirket af kemikalierne.



Figur 12.2. Vurdering efter norske SFT 1997-kriterier (bemærk i vådvægt, da kvalitetskriterierne er i vådvægt). Blå firkanter angiver summen af 7 PCB'er, med den stiplede linje SFT-grænsen mellem let og moderat forurenat (SFT 1). Skalaen til venstre anvendes. Orange cirkler indikerer summen af alle PAH'er, med fuldt optrukne linjer som markører for de 3 første SFT-klasser. Kalvebod i Øresund og Vejle Fjord for PCB og Kolding Fjord for PAH i østjyske fjorde skiller sig ud med de højeste værdier.



Figur 12.3. Vurdering af TBT efter OSPAR (2004). Bemærk at data er omregnet til TBT-ionen i tørstof, da kvalitetskriteriet er angivet som dette, og tørstofindholdet i muslinger varierer mellem 10 - 20%. Farverne på linjerne angiver de klassificeringer, der ligger over linjerne. Detektionsgrænsen for TBT ligger omkring "klasse I", så resultater under detektionsgrænsen kan være under klasse I-niveau (under EAC-intervallet).

Bundmalingskomponenten TBT har nu været under udfasning i en årrække (helt forbudt fra 2008), og i 2005 blev det demonstreret, at der var faldende tendenser for flere stationer. Det ser ud til, at faldet fortsætter. Koncentrationerne i muslinger er nu under $10 \mu\text{g Sn kg}^{-1}$ vådvægt på alle stationer, men da "let forurenet" tilstand kræver $0,25 \mu\text{g Sn kg}^{-1}$ tørstof (ca. $0,05 \mu\text{g Sn kg}^{-1}$ vådvægt), er der stadig et stykke vej tilbage. 25% af prøverne er stadig stærkt forurenet og 40% markant forurenet. Figur 12.3 viser TBT-fordelingen, og Odense Fjord er stadig topscorer mht. TBT-indhold i muslinger.

For bromerede flammehæmmere findes ingen vurderingskriterier, og for mange findes de fleste resultater under detektionsgrænsen, kun for BDE47 og 99 findes 90% af prøverne over detektionsgrænsen. Muslinger fra Vejle Fjord har det højeste indhold af PBDE for halvdelen af de 10 PBDE-kongener, der er bestemt.

DEVANO-programmet indeholder også dioxinmåling i muslinger. Der er ikke EAC-kriterier for dioxiner, men SFT har klassificeret tox-ekvivalenter for dioxiner, furaner og coplanare PCB'er. Her findes koncentrationen i 78% af muslingerne på baggrunds- eller let forurenet niveau, og 18% på moderat forurenet niveau. Kun Odense Fjord og Kalvebod når op på hhv. moderat og markant forurenet niveau.

Der er heller ikke kriterier til at vurdere phthalaterne, men DEHP er allestedsnærværende i hele NOVA-NA-området med de højeste koncentrationer i muslinger på $340 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt. Også dibutylphthalat (op til $80 \mu\text{g kg}^{-1}$) og DOP (op til $34 \mu\text{g kg}^{-1}$) findes i de fleste prøver, mens DiNP kun er påvist i ca. $\frac{1}{4}$ af prøverne, dog med koncentrationer op til $86 \mu\text{g kg}^{-1}$.

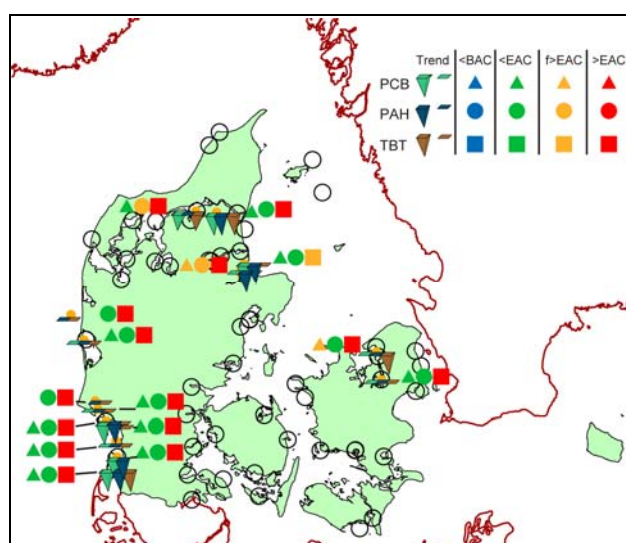
I fødevarebekendtgørelsen (Fødevarestyrelsen 2005b) findes kun en relevant grænseværdi for PAH'en benzo(a)pyren ($2 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt i muslinger). Denne er overskredet i muslinger fra Kalvebod, men ellers ligger koncentrationerne i muslinger mellem $0,22$ og $1,7 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt. PAH måles ikke i fisk. For dioxiner er der en EU-forordning med krav til indhold i fisk og fiskeprodukter på 4 pg g^{-1} vådvægt for TEQ af dioxin og furaner, og på 8 pg g^{-1} vådvægt for TEQ af dioxin, furaner og coplanare PCB'er. Ingen af muslingerne overskred disse grænseværdier, og der er ikke målt på dioxiner i fisk.

Udvikling og status i OSPAR-området

Som beskrevet i kapitel 11 er OSPAR i gang med arbejdet til en Quality Status Rapport 2010, hvor der udføres tidstrend-analyser på 14 stationer i danske farvande. Nedenfor opsummeres resultaterne af OSPARs vurderinger i 2009. Se kapitel 11 for nærmere beskrivelse af fremgangsmåden.

Ud af 30 fundne signifikante udviklinger er de 26 for organiske miljøfremmede stoffer (se kapitel 11 for de sidste 4), og alle nedadgående (figur 12.4). Af de 7 vurderede PCB'er var der 13 signifikant faldende trends fordelt på CB101, CB108, CB118 og CB153 over 6 stationer – heraf tre stationer i Vadehavet, to i Limfjorden og en i Randers Fjord. For PAH'erne var der faldende tendens i 9 prøver fordelt på 7 PAH'er fra 6 stationer. TBT udviste signifikante fald på 4 stationer, henholdsvis to i Vadehavet, samt en i Langerak og Roskilde Fjord.

Overordnet går udviklingen i den rigtige retning: Mod baggrundsværdierne, men der er stadig et stykke vej derved – især for TBT og enkelte PAH'er og PCB'er.



Figur 12.4. Tidslig udvikling og status for OSPAR QSR 2010 rapport. Foreløbige vurderinger fra MON2008. Tidstrend for min. en komponent i gruppen er angivet ved stationerne med en pyramide (grøn, blå eller brun, nedad = faldende). Vurderingen af koncentration vises ved farven på symbolerne: Blå = under BAC, grøn = under EAC (maks. 2 individuelle PCB / 3 individuelle PAH'er over EAC), orange = 1 for meget over EAC og rød = 4 eller flere PCB/PAH over EAC eller TBT over EAC. Prøver fra 2007 er markeret med åbne cirkler.

Status for danske farvande ifølge OSPAR 2008

TBT er alle steder vurderet at være et problemstof, det samme gælder de klorerede pesticider alfa-HCH, HCB og DDE. For PAH'erne er det koncentrationer af chrysen/triphenylen og indeno(1,2,3-cd)pyren, som konsekvent er over EAC (røde), og ved tre stationer er yderligere 1 - 2 PAH'er problematiske: koncentrationen i muslinger ved Randers Fjord af fluoranthen og ved Nibe Bredning af pyren samt ved Juvre Dyb i Vadehavet af både fluoranthen og pyren er over EAC. For PCB'erne er CB105, CB118 og CB156 generelt problematiske (dog er CB105 på baggrundsniveau), og CB28 i Randers Fjord, CB101 i Roskilde Fjord, og både CB28 og CB128 i fisk fra Ho Bugt, Vadehavet er forhøjede. Bemærk at det i 2007 ikke

var muligt at fremskaffe fisk fra Ho Bugt, så her er tale om en modelleret værdi for 2007. Der er tre stationer i Vadehavet, hvor CB52 er på baggrundsniveau.

Sammenligning af vurdering fra OSPAR 2008 med SFT

De vurderingskriterier, der har været anvendt indtil nu i NOVA og NOVANA, er SFT (1997) og OSPARs EAC-værdier fra 1996 med revision i 2004. I det følgende sammenlignes resultatet af at anvende de nye vurderingskriterier fra OSPAR 2008 med anvendelsen af de ældre kriterier for at se, om den generelle tilstand i Danmark vurderes anderledes med de nye kriterier.

For TBT er de fundne koncentrationer i muslinger i alle områder problematiske efter OSPARs vurderingskriterier (klasse III = over EAC for 66%), men kun 2 lokaliteter er moderat forhøjede efter SFT (1997), der opererer med en faktor 100 højere grænser for "ubetydelig/lidt forurenet". DMU finder ikke, at SFT's TBT vurderingskriterier yder tilstrækkelig beskyttelse af havmiljøet.

For PCB'erne findes kun enkelte stationer, der ved vurdering efter SFT er moderat forurenet, og efter OSPARs system er kun tre stationer over EAC i 2007, heraf kun skrubber i Ho Bugt med både midelværdi og øvre konfidensgrænse. Dette gælder dog kun den samlede vurdering, i alle områder er CB118, CB105 og CB156 efter OSPARs vurdering rød.

OSPARs vurdering af PAH'er er generelt mere "grønne" end for SFT's klassifikationer, undtagen chrysen/triphenylen og indeno(123,cd)pyren. Hvor summen af de individuelle BAC PAH-kriterier i OSPAR giver $4,6 \mu\text{g kg}^{-1}$ tørstof, ligger grænsen for SFT på $4 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt, hvilket med et tørstofindhold på 15 - 20% giver en faktor 5 - 6 i forskel mht. adskillelsen mellem baggrund og moderat forurenet. For benz(a)pyren findes 90% at ligge på baggrundsniveau af SFT, og alle vurderes at være grønne efter OSPAR. Kriterierne for baggrund er som for sumPAH lavest i SFT-klasserne med $1 \mu\text{g kg}^{-1}$ vådvægt mod OSPARs BAC-kriterium på $1,4 \mu\text{g kg}^{-1}$ tørstof.

Forskellen på at anvende OSPAR-kriterier med de tilhørende konfidensintervaller og SFT direkte bliver en faktor 2 - 3. Stationerne, der indgår i OSPAR 2008, er en mindre delmængde af NOVANA-stationerne, selvom ikke alle er indsamlet i 2007.

Danske og Nordisk Ministerråds screeningsundersøgelser

Der er udkommet 2 screeningsrapporter fra Nordisk Ministerråd siden sidste havrapport, en om phenoler

(Hansen & Lassen 2008) og en om bronopol, resorcinol, m-cresol og triclosan (Dye m.fl. 2007), begge for de nordiske lande. Herudover har DMU i samarbejde med Miljøcenter Ringkøbing anvendt passive prøvetagere i Nissum Fjord (Dahllöf m.fl. 2008) til at dokumentere tilstedeværelsen af pesticider.

Phenoler

Der blev analyseret for 13 phenoler, der anvendes i stort volumen i Norden, typisk fra få tons op til 10.000 tons i perioden 2000 - 2005 for nonylphenolethoxylat og bisphenol-a (BPA). Prøvetagningen dækker over 7 blåmuslingestationer, 20 fiskeprøver og 21 sedimenter fra fersk- og saltvand.

For blåmuslinger var niveauerne i København og Limfjorden sammenlignelige med Torshavn for de fleste stoffer, men med højere koncentrationer af 4-tert-octylphenol (4-tOP) ved reference site i Torshavn, men samme niveau i Oslo Fjord st. 36A som ved Lynetten (7 mg kg⁻¹ vådvægt 4-tOP) men ellers ned til detektionsgrænsen. For ethoxylaterne lå niveauerne fra < 5 - 30 µg kg⁻¹ vådvægt.

Der blev påvist BPA i 3 af 4 marine "baggrunds"-sedimenter, og 2 tilfælde af nonylphenol isomere, 4-cumylphenol og octylphenol monoethoxylates og BPA i marine sedimentprøver.

For fisk var der stor forskel på ålekvabber og sandkutling fra Roskilde Fjord, med kun 2,6 di-tBuP i sandkutling (5 mg kg⁻¹ vådvægt) mod 0,09 i ålekvabber, der så til gengæld havde 2,5 - 19 mg kg⁻¹ ortho- og nonylphenolethoxylater (interferens umuliggjorde måling i sandkutling). Niveauerne svarer til dem, der kunne måles ved Helsinki og i torskelever omkring Island, når der ikke var interferensproblemer. Der foretages i 2009 en fornyet screening med forbedret metoder for at undgå interferensproblemerne i specielt fisk.

Trichlosan

Der blev fundet trichlosan i sediment fra Roskilde Fjord og Lynetten, omkring 15 hhv. 2 µg kg⁻¹ tørstof i sedimentet, og 0,13 hhv. 0,15 - 0,3 µg kg⁻¹ vådvægt i fiskelever og -muskel. Ingen andre biologiske prøver var over detektionsgrænsen. For sedimenter blev der påvist både resorcinol og trichlosan ud for Vestfjordens avlopsselskab tæt på Oslo i Norge (180 µg kg⁻¹ tørstof), og i ferskvandssedimenter fra Silkeborg Langsø både m-cresol, resorcinol og trichlosan, dog under 10 µg kg⁻¹ tørstof. Ved risikovurderingen findes i alle danske prøver en MEC/PNEC-ratio på < 1, svarende til ingen eller lav risiko ved koncentrationniveauet.

Pesticider i Nissum Fjord

Ved hjælp af passive prøvetagere er der for første gang i 2007 påvist en række herbicider fra landbruget i et marint område - Nissum fjord (Dahllöf m.fl. 2008).

I alt kunne 20 forskellige herbicider og nedbrydningsprodukter detekteres, hvoraf fx atrazin og isoproturon ikke længere må bruges i Danmark. Den indre del af fjorden var mere belastet, hvilket tyder på, at der sker en transport af herbicider fra Storå.

Passive prøvetagere kan med fordel bruges for at måle gennemsnitlige koncentrationer i vandmasser i løbet af 3 - 5 uger. Interne standarder, som har de samme kemiske egenskaber, som de stoffer man vil undersøge, men som ikke findes i miljøet, bruges til kalibrering. Dette var ikke tilfældet i Nissum Fjord, hvor kalibreringsfaktorer fra litteraturen blev brugt. Disse foreløbige beregninger af middelkoncentrationer for diuron viste, at dette herbicid kan forekomme i koncentrationer, som svarer til de niveauer, hvor man i forsøg har konstateret effekter på tilvækst af ålegræs.

Udvikling og kvalitetssikring af passive prøvetagere sker i de kommende år for en lang række af stoffer, pt. lægemidler, organotin, PAH'er og PCB'er, de første i et screeningsprojekt for lægemidler i vandløb og de sidste indenfor OSPAR/ICES, ligesom der er projektforslag om yderligere tiltag, hvor Det Marine Fagdatacenter også indgår.

Sammenfatning

- Der er ingen steder med stigende tendens i udviklingen af organiske forurening i fisk og muslinger.
- TBT er stadig et problem i alle områder med 66% af stationerne over OSPAR EAC. Tendensen er dog nedadgående på 4 stationer.
- Kun for Kalvebod i Københavns Havn er der problemer med benz(a)pyren i forhold til fødevarekrav.
- Der findes ingen overskridelser af fødevarekrav for dioxin, furaner og coplanare-PCB'er.
- PCB-niveauet i muslinger og fisk er generelt acceptabelt (inden for EAC) i henhold til OSPAR (2008) og højst moderat forurenet i henhold til SFT (1997).
- PAH-niveauet i muslinger og fisk er også acceptabelt mange steder i forhold til OSPAR (2008), og op til markant forurenet i henhold til SFT (1997).

13 Biologisk effektmonitoring

Jakob Strand, Ingela Dahllöf & Martin M. Larsen

Introduktion

Forskellige biologiske indikatorer kan anvendes til at vurdere, om miljøfarlige stoffer udgør en risiko for dyrelivet i vore farvande. I NOVANA-programmet 2007 er blåmuslinger og ålekvalbe undersøgt i en række kystnære områder, bl.a. ved brug af biomarkører, for at identificere tidlige tegn på skadelige effekter i individer af de undersøgte organismer. De tidlige tegn på effekter har dog ikke nødvendigvis betydning på populationsniveau. Biomarkørerne anvendes som indikatorer til at afspejle de rumlige og tidslige variationer i påvirkninger fortrinsvis fra blandinger af miljøfarlige stoffer. Afhængig af typen af biomarkør ses effekterne med forskellig tidsforsinkelse 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.

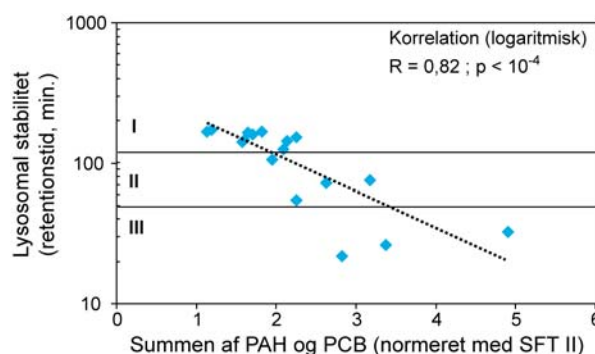
Biomarkøren lysosomal membranstabilitet i muslinger og forekomsten af fejludviklet fiskeyngel anvendes som generelle stressmarkører for den samlede påvirkning af de forskellige typer af miljøfarlige stoffer, der findes i havmiljøet. Derimod anses biomarkøren CYP1A enzymaktivitet i fisk for en mere stof-specifik biomarkør, hvor effekterne kan relateres til fortrinsvis PAH. Der er ikke undersøgt for TBT-specifikke effekter i form af imposex og intersex i havsnegle i 2007.

Blåmusling som miljøindikator

I blåmuslinger (*Mytilus edulis*) anvendes biomarkøren lysosomal membranstabilitet som en generel stressmarkør for tegn på celleskader, der kan være forårsaget af forskellige typer af miljøfarlige stoffer. Effektniveauet vurderes ved at måle tiden, hvorved membraner i celler fra muslingernes hæmolymfe ("blod") destabiliseres. Undersøgelserne udføres på flere af de samme stationer, hvor der også indgår miljøfremmede stoffer og metaller i overvågningen, se kapitel 11 og 12.

Kun i 11 ud af de 17 undersøgte områder (65%) udviser muslingerne ikke tegn på at være påvirkede (retentionstid > 120 min.). Derimod er sikre tegn på påvirkede muslinger fundet i Frederiksværk Bredning, Odense Fjord og Karrebæk Fjord (< 50 min.). I de resterende områder, dvs. Vejle Fjord, Århus Bugt og Roskilde Fjord, er der tegn på en mindre påvirkningsgrad (50 - 120 min.).

Sammenholdes den lysosomale membranstabilitet med sammenhørende koncentrationer af en række miljøfarlige stoffer målt i blåmuslingerne fra de samme områder, tyder det på, at især en kombination af organiske miljøgifte som PAH og PCB har stor betydning for muslingernes sundhedstilstand (figur 13.1). Tilsvarende tendens er fundet i udenlandske undersøgelser (fx Martinez-Gómez m.fl. 2008).



Figur 13.1. Biomarkøren lysosomal membranstabilitet i blåmuslinger er undersøgt i 17 forskellige kystnære områder. Der er en tydelig sammenhæng med summen af både PAH16 og PCB7 efter normering ift. de norske miljøkvalitetskriterier (SFTII) på 300 og 24 $\mu\text{g kg}^{-1}$ tørstof for hhv. PAH og PCB (SFT 1997). Desuden er de foreslåede miljøkriterier I - III for lysosomal stabilitet angivet: I) upåvirket (≥ 120 min.), II) påvirket men kompenserende (50 - < 120 min.) og III) stærkt påvirket (< 50 min.) (ICES 2008).

Ålekvalbe som miljøindikator

Ålekvalbe (*Zoarces viviparus*) er siden 2004 anvendt i NOVANA som indikator for, om der forekommer 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 drægtige 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.

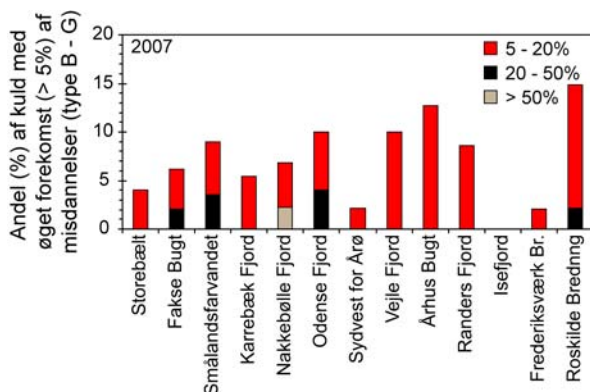
De voksne ålekvalber undersøges desuden for andre biologiske parametre. Udover almindelige mål som længde, lever- og gonade-somatisk indeks, undersøges de bl.a. også for aktiviteten af afgiftnings-enzymet (CYP1A, målt som EROD) som et mål for påvirkning af stoffer som PAH og dioxinlignende stoffer.

Fejludvikling hos ålekvabbens unger

Flere typer af fejludviklede unger forekommer i kuld fra ålekvabben i de danske farvande, og især alvorlige misdannelser af indvolde, skelet (knæk og spiral), hoved, øjne og siamesiske tvillinger kan tyde på en skadelig påvirkning af miljøfarlige stoffer.

De hyppigste forekomster af misdannede unger blev i 2007 fundet i Roskilde Fjord, Århus Bugt, Vejle Fjord og Odense Fjord. Her havde 10 - 15% af kuldene en øget forekomst af misdannelser defineret ved > 5% af type B - G pr. kuld (figur 13.2). Til sammenligning blev de laveste forekomster af misdannede unger fundet ved Agersø, Årø, Isefjord og lidt overraskende også i Frederiksværk Bredning. I sidstnævnte område blev indsamling dog foretaget ved overgangen til Isefjord og ikke ved Frederiksværk by.

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, Halling-Sørensen m.fl. 2008).

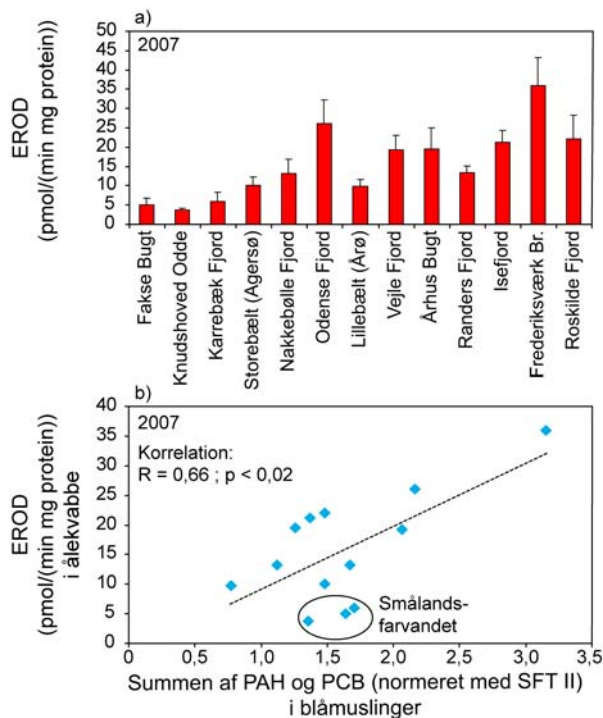


Figur 13.2. Andelen af kuld hos ålekvabbe med en øget forekomst af misdannede unger (dvs. > 5% af type B - G) fra kystnære områder.

Aktiviteten af afgiftningsenzymet (CYP1A)

I alle fisk findes CYP1A afgiftningsenzymet, 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 mutagen og kræftfremkaldende virkning ved, at de skader DNA. Disse egenskaber gør enzymaktiviteten, bl.a. af CYP1A-systemet (målt som EROD-aktivitet), brugbar som biomarkør.

De højeste CYP1A-aktiviteter blev målt i ålekvabber fra Frederiksværk Bredning og Odense Fjord, hvorimod de laveste enzymaktiviteter forekom i Fakse Bugt, Smålandsfarvandet, Karrebæk Fjord, Storebælt og ved Årø (figur 13.3a). Der er ligeledes en tydelig sammenhæng, når disse data sammenholdes med PCB- og PAH-data for muslinger indsamlet i tilnærmelsesvis de samme områder (figur 13.3b), hvilket tyder på, at disse forurenende stoffer medfører molekylære effekter i fiskene.



Figur 13.3. a) EROD-aktivitet som mål for CYP1A enzymaktivitet i leveren fra hunner af ålekvabbe fra 13 kystnære områder. b) Sammenhæng mellem EROD-aktivitet og summen af PAH16 og PCB7 i blåmuslinger fra de samme områder efter normering ift. de norske miljøkvalitetskriterier for SFTII (SFT 1997).

Sammenfatning

- Undersøgelser af den lysosomale membranstabilitet i blåmuslinger viser, at muslinger i 39% af de undersøgte kystnære områder er påvirkede af miljøfarlige stoffer. De fundne effekter synes især at skyldes forhøjede niveauer af organiske miljøgifte som PAH og PCB.
- Undersøgelserne af ålekvabbe har vist betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem områder, både mht. CYP1A-enzymaktivitet og forekomst af misdannede unger. For CYP1A forekommer de højeste effektive niveauer generelt i kystnære områder, hvor der generelt er en øget belastning med organiske miljøfarlige stoffer som PAH og PCB. Der kræves dog yderligere kemiske og biologiske undersøgelser af ålekvabber og deres reproduktion for at identificere de stoffer, der kan være årsag til de observerede misdannelser.

Del 3 – Fokusrapportering

Siden 2001 har den årlige vurdering af miljø- og naturforholdene i de danske farvande indeholdt korte tematiske kapitler. Denne fokusrapportering har gjort det muligt at analysere data og problemstillinger grundigere.

I år sættes der fokus på følgende tre temaer:

- Kystnære fiskesamfund
- Stenrevsfaunaens biogeografi
- Den globale opvarmnings indflydelse på fremtidens iltforhold i de indre danske farvande

Med NOVANA-programmet er der, foruden inddragelse af nye parametre, lagt mere fokus på naturkvalitet end i tidligere programmer, hvor hovedvægten var på eutrofiering, dvs. næringsstoffer og deres virkning i vandmiljøet. Det første tema beskriver en af de nye parametre, kystnære fiskesamfund, det anden tema udspringer af den øgede fokusering på naturkvalitet, mens det tredje tema udspringer af en øget bevidsthed om effekter af den globale opvarmning på økosystemerne i samspil med andre faktorer som eutrofiering og klimatiske forhold.

Fiskesamfund er ikke tidligere beskrevet i NOVANA-programmet og de udgør en vigtig del af kystøkosystemerne – ikke mindst set ud fra et udnyttelsessynspunkt, fx som føde for mennesker.

Bundfauna indgår som et af de biologiske kvalitets-elementer, der skal anvendes til vurdering af miljøtilstand ifølge vandrammedirektivet (VRD) og er også betydningsfuld ved bedømmelse om et habitat har gunstig eller ikke gunstig status ifølge habitatdirektivet (HD). I foregående rapporter har bundfauna været ensbetydende med invertebrater på blødbund, såkaldt blødbundsfauna. Invertebrater forekommer imidlertid også på hårde substrater, som for eksempel stenrev, og siden 1991 er denne fauna overvåget i statslig regi med stigende indsats. I det andet tema bliver dette program og foreløbige resultater beskrevet for første gang. Fokus er på biogeografien af fauna på stenrev fra Skagerrak til de vestlige dele af Østersøen.

Det tredje tema behandler de fysiske og kemiske effekter af det, som af mange betragtes som et af de største miljøproblemer nogensinde – den globale opvarmning. Temaet gør status over den nuværende viden om klimaets effekter på iltforholdene i de indre danske farvande og ved hjælp af modeller skitseres scenarier for fremtidens havmiljø ved forsat global opvarmning. Den manglende forventede forbedring af miljøtilstanden i vore farvande, efterhånden som tilførsel og koncentration af næringsstoffer er faldet, kan delvis skyldes, at den globale opvarmning har medført en stigning af vandtemperaturen, der har udlignet effekten af vandmiljøplanerne.

14 Kystnære fiskesamfund

Jakob Strand, Christian A. Jensen (Miljøcenter Århus) & Mads Nedergaard (Miljøcenter Ringkøbing)

Selvom fisk er et af de vigtigste led i de kystnære økosystemer, er der i regi af NOVANA-programmet hidtil kun tilvejebragt begrænset viden om fiskesamfundenes struktur og funktion i relation til biodiversitet, sammensætning, udbredelse og betydning i de marine områder. En bedre viden er vigtig, da et naturligt og artsrigt fiskesamfund er væsentligt for både bl.a. vandkvaliteten og stabiliteten af økosystemet samt muligheden for fortsat udnyttelse af fiskeriresurserne (*Worm m.fl. 2006*). Men ligesom andre dele af økosystemet er fiskesamfundet også udsat for en række forskellige menneskeskabte presfaktorer så som fiskeriudnyttelse, forurening, destruktion af habitater og indirekte af klimaændringer.

Som en del af NOVANA-programmet blev sammensætningen af kystnære fiskesamfund undersøgt i 9 udvalgte områder i 2006, hhv. Ringkøbing Fjord (RkF), Nissum Fjord (NF), Løgstør Bredning (LB), Randers Fjord (RnF), Horsens Fjord (HF), Odense Fjord (OF), det Sydfynske Øhav (SFØ) og hhv. den nordlige og sydlige del af Roskilde Fjord (RFn og RFs). De udvalgte områder repræsenterer desuden forskellige marine NATURA 2000-områder i Danmark.

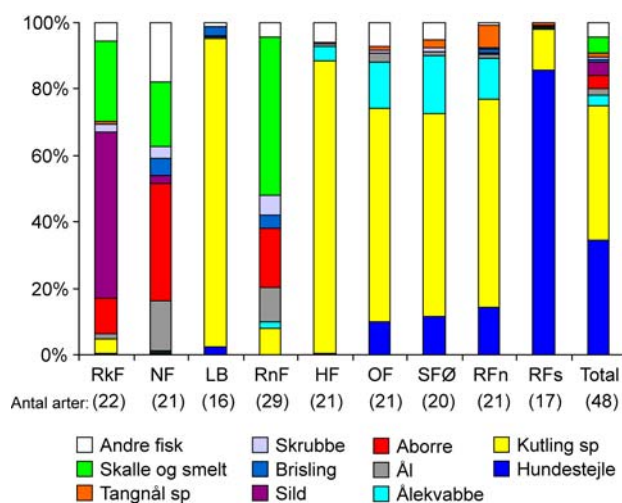
I de fleste af områderne blev der udført 40 parvise sætninger af både biologiske oversigtsgarn (Ny-Nordisk-Norm) og 40 yngelruser i perioden august - september. Disse standardiserede undersøgelser har til formål at tilvejebringe information om biodiversiteten i de kystnære fiskesamfund især med fokus på artssammensætning, biomasse og størrelsesfordelinger, som kan bidrage til en karakterisering af de marine naturtyper (*Strand 2006*). Den lave overvågningsfrekvens, hvert 6. år i NOVANA, kan dog ikke bidrage til at vurdere udvikling i fiskesamfundet over tid, men undersøgelserne giver en god geografisk dækning af repræsentative kystnære områder i Danmark.

Fangsttal og artssammensætninger

Der blev fanget 56.080 fisk i de 9 områder fordelt på 48 arter, hvoraf 11 arter kun blev fanget i et enkelt område (*Danmarks Miljøportal 2008*). Til sammenligning har fritidsfiskere, såkaldte nøglefiskere, i perioden 2005 - 2007 registreret i alt 59 forskellige fiskearter i de kystnære farvande i Danmark (*Nicolajsen m.fl. in prep.*), men her blev der indsamlet i betydeligt flere områder, med større geografisk spredning og over længere indsamlingsperioder.

Antallet af arter pr. område fanget med både biologiske oversigtsgarn og yngelruser var omkring 20 arter pr. område og synes ikke at variere væsentligt mellem de undersøgte områder, heller ikke mellem områder med høj og lav salinitet. Flest arter (29) blev fanget i Randers Fjord, hvor der er mange både marine fisk og ferskvandsfisk pga. udløbet af Gudenå-systemet. Færrest arter (16) blev fanget i Løgstør Bredning i Limfjorden.

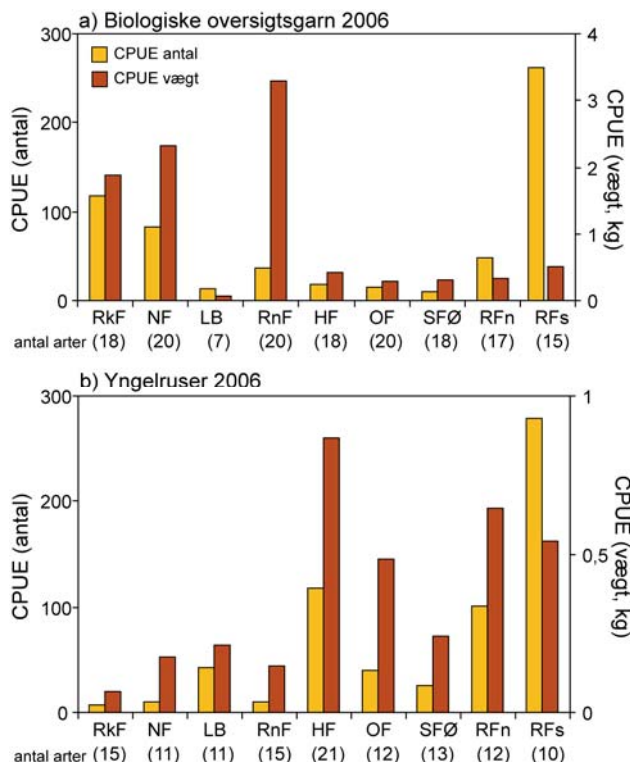
Små fisk som 3-pigget hundestejle og kutlinger (især sort-, sand- og lerkutling) udgjorde de almindeligste grupper af fisk i de fleste områder og udgjorde hhv. 40,5% og 34,6% af det samlede antal fangede fisk (*figur 14.1*). Til sammenligning udgjorde arter som aborre, sild, ålekvabbe, skalle, smelt, ål, skrubbe, torsk og ørred antalsmæssigt hhv. 4,0%, 3,8%, 3,0%, 2,4%, 2,4%, 2,0%, 0,7%, 0,06% og 0,02% af den samlede fangst for alle områder.



Figur 14.1. Den relative artssammensætning samt antallet af arter (i parentes) fanget med både biologiske oversigtsgarn og yngelruser i de 9 NOVANA-områder.

Der er store områdemæssige forskelle i sammensætningen af fiskesamfundet, hvilket dels kan ses på artssammensætningen (*figur 14.1*), dels i forskellene i forholdet mellem den gennemsnitlige fangst pr. sætning af redskab (CPUE - catch per unit effort) angivet på basis af hhv. antal eller vægt for biologiske oversigtsgarn og yngelruser (*figur 14.2a, b*). Her ses, at fx den sydlige del af Roskilde Fjord er domineret af mange små fisk, der bidrager til en forholdsmæssig lav biomasse, hvorimod flere af de andre fjorde domineres af færre, men relativt større fisk. Der er også stor forskel i fordelingen mellem

fangst i garn og yngelruser, fx i Horsens Fjord, hvor den største fangst var i yngelruser, modsat fx Randers og Nissum fjorde, hvor den største fangst var i garnene.



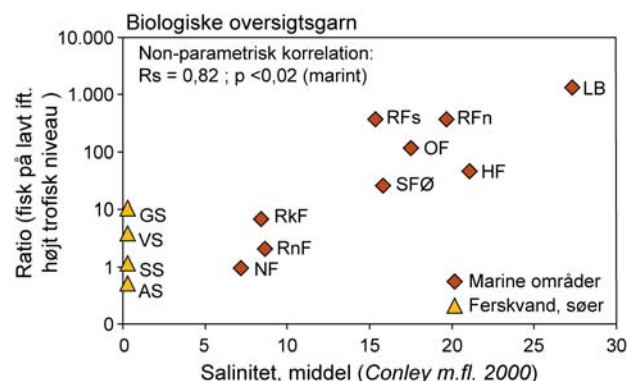
Figur 14.2. Den gennemsnitlige fangst pr. sætning af redskab (CPUE) på basis af hhv. samlet antal fisk og vægt samt antal arter (i parentes) for biologiske oversigtsgarn (a) og yngelruser (b).

Salinitetens betydning for fiskesamfundets sammensætning

En måde at vurdere fiskesamfundets struktur og funktion er at sammenholde de enkelte arters trofiske niveau (TN), der er et udtryk for deres position i fødekæden, idet det er bestemt som antallet af energioverførselsniveauer (*Naturvårdsverket* 2008). Jo højere i fødekæden, des større TN-værdier. For tyklæbet multe, der primært er en planteædende fisk, er $TN = 2,2$, mens for en fiskeædende fisk som aborre er $TN = 4,4$. Artsspecifikke TN-værdier er fundet i *Fishbase* (2008).

Lav salinitet og adgang til større ferskvandssystemer ser ud til at have en stor betydning for fiskesamfundets sammensætning i de kystnære marine områder. Ved lav salinitet er individantallet af rovfisk på højt trofisk niveau ($TN = 4 - 4,5$) forholds-mæssigt større sammenholdt med fisk på lavere trofisk niveau, dvs. herbivore, omnivore og små rovfisk ($TN = 2 - 3,5$). Faktisk viste NOVANA-undersøgelserne, at i områder med salinitet < 10 er for-

holdet sammenligneligt med forhold i søer (figur 14.3). Dette skyldes bl.a., at små rovfisk som kutlinger og 3-pigget hundestejle er mindre hyppige, og at ferskvandsrovfisk som aborre og sandart er forholds-mæssigt mere hyppige i de mere brakke fjord-områder. Af andre mere marine rovfisk på højere trofisk niveau (dvs. $TN = 4 - 4,5$) kan nævnes bl.a. torsk, hornfisk, hvilling og fjæsing.



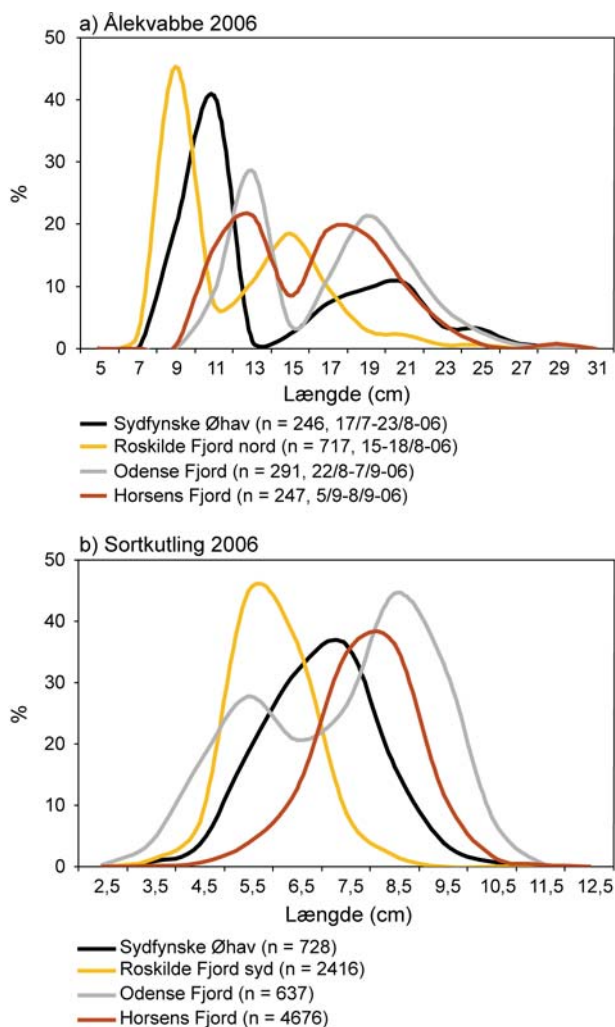
Figur 14.3. Salinitetens betydning for fiskesamfundets sammensætning angivet som ratio mellem fisk på lavere ($TN = 2 - 3,5$) og højere trofisk niveau ($TN = 4 - 4,5$). Til sammenligning er anført 4 eksempler på NOVANA-søer: hhv. Gundsømagle Sø (GS), Vallensbæk Sø (VS), Skanderborg Sø (SS) og Arresø (AS) 2006 - 2007 (*Danmarks Miljøportal* 2008).

Geografiske forskelle i størrelsesfordelingerne af visse fisk

Fiskepopulationers størrelsesfordelinger har stor betydning for fødenettets sammensætning og biomasse og derved for de marine økosystemers struktur og funktion. En række miljøforhold kan ud over lokale vækstbetingelser påvirke størrelsesfordelinger herunder gode opvækstområder og rekruttering fra gydemodne fisk, men også øget dødelighed grundet fx predation eller fiskeri.

To eksempler på at der kan være relativt markante forskelle i størrelsesfordelinger mellem geografisk adskilte populationer af hhv. ålekvalbe og sortkutling ses i figur 14.4a, b. For ålekvalbe ses typisk 2 - 3 toppe (størrelsesklasser), der udgør hhv. aldersklasserne 0, 1 og 2+. 0-klassen bliver født nærmest samtidigt i december - januar med en længde på ca. 5 cm (*Stuer-Lauridsen m.fl.* 2008). For sortkutling ses derimod kun 1 - 2 størrelsesklasser, der sandsynligvis udgør klasse 1 og 2+, siden sortkutling gyder i maj - juni. For begge arter ses nogenlunde samme geografiske forskelle i forskydningen af toppene, med de mindste fisk af både ålekvalbe og sortkutling i Roskilde Fjord efterfulgt af det Sydfynske Øhav, Horsens Fjord og med de generelt største fisk i Odense Fjord. Indsamlingstidspunktet synes ikke

at være en væsentlig faktor, da de er indsamlet inden for den samme måned i alle områder. Derimod kan det tænkes, at forskellene skyldes de lokale vækstbetingelser så som forskelle i fødevalg, habitater eller predationstryk. Det kan heller ikke udelukkes, at også genetiske forskelle mellem relativt stationære populationer kan ligge til grund for dette.



Figur 14.4. Eksempler på geografiske forskelle i størrelsesfordelinger (smoothed linje) for hhv. a) ålekvarbe og b) sortkutling.

Kun én habitat-art blev fanget

Alle NOVANA-områderne er også NATURA 2000-habitatområder udpeget i regi af EU's habitatdirektiv. For flere af områderne (dog især i Vestdanmark) indgår truede, sårbare eller sjældne fiskearter som en del af udpegningsgrundlaget. I marine områder er fokus på 5 fiskearter med tilknytning til grænsen mellem marine og ferske vande hhv. havlampret, flodlampret, majsild, stavsild og snæbel (By- og Landskabsstyrelsen 2008).

NOVANA-undersøgelserne har dog ikke kunne bidrage til at tilvejebringe megen viden om disse habitat-arters forekomst. Kun én enkelt stavsild, fanget i

Randers Fjord (figur 14.5), var den eneste habitat-art fanget ud af de i alt ca. 56.000 fisk. En årsag kan være at habitat-arterne alle er vandrefisk, og at flere af arterne generelt vil opholde sig i de mere åbne havområder i perioden august - september. En tidligere undersøgelse i Randers Fjord med fangstregistreringer fra 5 lokale bundgarnsfiskere har vist, at stavsild med 50 - 60 stk. for en sæson er forholdsvis almindelig i august - september, selvom det vurderes uvist, om der stadig findes en gydebestand af stavsild i Gudenå-systemet (Rasmussen & Jensen 2004).

Til sammenligning har fangstregistreringer fra lokale fritidsfiskere heller ikke tilvejebragt en særlig omfangsrig viden om habitat-arternes forekomst i de kystnære danske farvande. Kun flodlampret er registreret og kun i Ringkøbing Fjord i perioden 2005 - 2007 (Nicolajsen m.fl. in prep.). Derfor er mere målrettede indsatser nødvendige for at tilvejebringe bedre viden om status for de marine habitat-arter i Danmark, fx ved at eftersøge gydemodne opgangsfisk og/eller deres fiskelarver i de nedre dele af ferskvandssystemerne. Desuden vil kendskabet til bl.a. stav- og majsild kunne øges ved at undersøge bifangster - fx i forbindelse med bundgarnfiskeriet i fjordene og trawlfiskeriet i Kattegat (Rasmussen & Jensen 2004).



Figur 14.5. Én enkelt stavsild (*Alosa fallax*, længde 34 cm) fra Randers Fjord var den eneste habitat-art fanget ud af i alt ca. 56.000 fisk. FOTO: NATUREEYE/CHRISTIAN A. JENSEN

Sammenfatning

- NOVANA-undersøgelserne har tilvejebragt systematisk viden om sammensætningen af kystnære fiskesamfund i 9 kystnære områder i 2006.
- I alt blev der fanget ca. 56.000 fisk fordelt på 47 forskellige fiskearter. Små fisk som 3-pigget hundestejle og kutlinger udgør generelt de almindeligste grupper af fisk med hhv. 40,5% og 34,6% af det samlede antal fangede fisk.

- Variationer i salinitet og adgang til større ferskvandssystemer har en stor betydning for fiske-samfundets sammensætning i de kystnære marine områder. Dette giver sig bl.a. udslag i, at der er forholdsvis flere rovfisk på højt trofisk niveau sammenholdt med fisk på lavere trofisk niveau, dvs. herbivore, omnivore og små rovfisk i områder med lavere salinitet.
- For visse arter er der desuden områdebetingede forskelle i størrelsesfordelinger. Dette kan skyldes forskelle i de lokale vækstbetingelser så som forskelle i fødevalg, habitater eller predationstryk. Det kan heller ikke udelukkes, at også genetiske forskelle mellem relativt stationære populationer kan ligge til grund for dette.
- NOVANA-undersøgelser har dog ikke tilvejebragt megen viden om fiskearter, der indgår som udpegningsgrundlag i NATURA 2000-områder, da kun én enkelt stavsild er fanget i Randers Fjord.
- Undersøgelserne har til gengæld tilvejebragt viden om de kystnære fiskesamfunds struktur og funktion i relation til biodiversitet, artssammensætning og størrelsesfordelinger samt relationen mellem trofiske niveauer. Denne type af data kan også danne grundlag for udvikling af bl.a. miljøkvalitetslementer for de forskellige marine naturtyper i de kystnære områder.

15 Stenrevsfaunaens biogeografi

Steffen Lundsteen

Introduktion

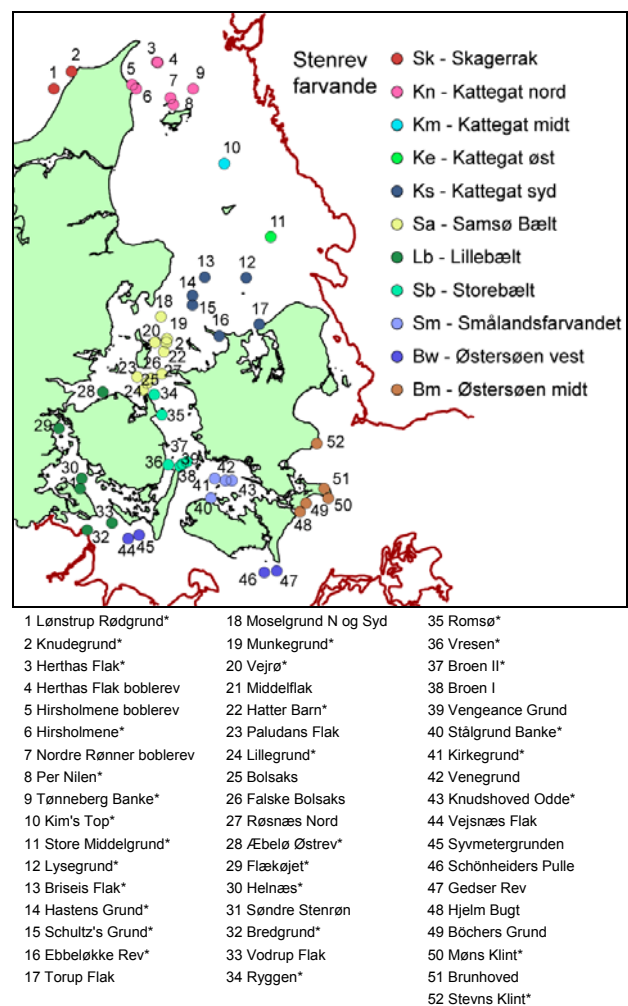
Formålet med dette kapitel er at give et overordnet billede af, hvordan stenrevenes fauna er fordelt i de danske farvande ud fra parametrene artsantal, dominerende fastsiddende arter, stedspecifikke artsforekomster samt biologiske interaktioner i geografisk perspektiv. Desuden bedømmes hvor stabile faunasamfundene har været på udvalgte stenrev i årene 1999 - 2006.

Siden 1991 har der foregået registrering af hårbundsfaunaen på stenrevne i forskellige statslige undersøgelsesprogrammer, og der foreligger på nuværende tidspunkt omfattende datamateriale fra disse undersøgelser. Dykkerobservationer af faunaen på danske stenrev indgik i Skov- og Naturstyrelsens (SNS) undersøgelser af stenrev i forbindelse med råstofkortlægning til bedømmelse af beskyttelsesstatus i årene 1991 - 1994. Danmarks Miljøundersøgelser har som led i den nationale overvågning af stenrev gennemført ekstensive dykkerregistreringer af stenrevsfaunaen på faste lokaliteter og stationer i årene 1995 - 1998 og herefter med større intensitet frem til i dag. Ved implementeringen af habitatdirektivets behov i overvågningsprogrammet i 2004 blev et udvidet antal lokaliteter inddraget i undersøgelsesprogrammet med forskellige besøgsfrekvenser.

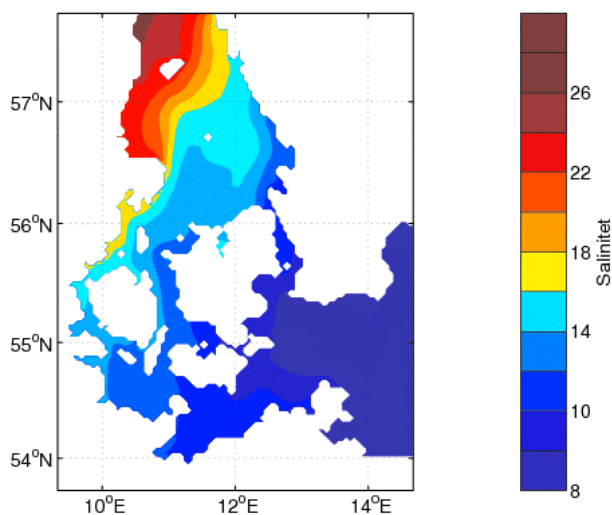
Materiale og metode

Kort med undersøgte lokaliteter er vist i figur 15.1. Farvandsopdeling og betegnende forkortelser følger Christensen *m.fl.* (1985). Et par ekstensivt undersøgte lokaliteter er ikke medtaget, nemlig Læsø Trindel (Kn) og Endelave (Sa). Skov- og Naturstyrelsens undersøgelser har været foretaget på nogle stationer med forholdsvis få stabilt liggende større sten. I DMU-regi har en forudsætning for undersøgelse af en station været, at der var mindst 10% stabilt liggende større sten. Registreringer af dyrenes mængde er foretaget ved dækningsbedømmelser i %: for fastsiddende arter i forhold til de stabile større stens overflade, for fritlevende arter i forhold til hele bunden og for arter knyttet til blødbund og ustabil hårbund i forhold til hele den ustabile bundfraktion. Nærmere detaljer er givet i de tekniske anvisninger (Lundsteen *m.fl.* 2004). Undersøgelserne har

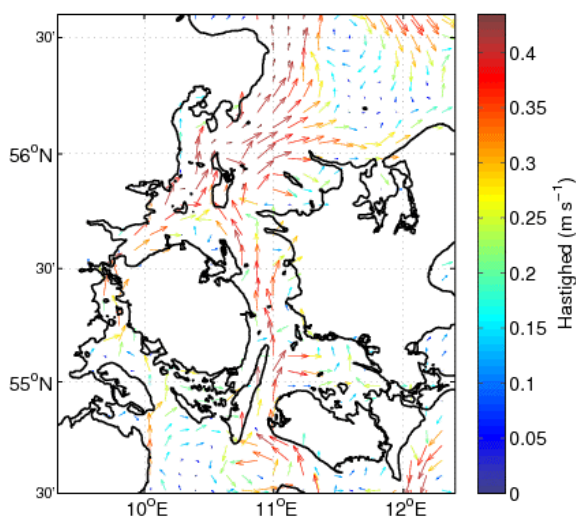
været foretaget af skiftende dykkere med noget forskellige forudsætninger for artsbestemmelser. Forud for resultatbehandlingen er nogle arter aggregeret til højere taksonomisk niveau for at sikre et mere ensartet sammenligningsmateriale af identificerede grupper. Resultaterne fra de enkelte stationer er samlet i dybdeintervaller, der regnes fra og med den lave, indtil den største dybde for enkelt målte stationer, eller for gennemsnitsdybde for gentaget besøgte stationer. Lighedsanalyser er udført i PRIMER med MDS-baseret på Bray Curtis lighedsindeks med 2rods transformation af artsdækninger (Clarke & Gorley 2001). Danske artsnavne er fra Køie *m.fl.* (2000) eller selvkonstruerede (markeret med anførselstegn).



Figur 15.1. Kort med lokaliteter inddelt i farvande. Lokaliteter mærket med stjerne er undersøgt og analyseret nærmere af DMU i perioden 1999 - 2006.



Figur 15.2. Overfladesaltholdigheder i Kattegat - Østersøen. Se oplysninger i figur 15.3.



Figur 15.3. Overfladestrøm i Bæltfarvandet. Hydrografikort ved Johan Söderkvist ud fra modeldata for 2004 med middelværdier fra februar til december (se *Ærtebjerg m.fl. 2004*).

Hydrografi

Langtidsmidler af saltholdighed i havoverfladen er vist i figur 15.2. Det fremgår, at saltholdigheden af overfladevandet er højere nord på og vest over. Desuden tiltager saltholdigheden mod dybden. Ofte er det mere brakke overfladevand og det saltere bundvand delt ved en skarp grænse. På kortet, figur 15.3, er den stærke, overvejende nordgående overfladestrøm i Bæltthavet vist, som strækker sig op i det sydlige Kattegat. For Lillebælts sydlige del ses relativt svag gennemsnitlig strøm. Denne del af Lillebælt er ofte præget af svag strøm og vand med ringe sigtbarhed (*pers. kom. Jørgen Bendtsen*). Kortene må kun betragtes som vejledende. En mere overordnet

fremstilling af saltholdigheder kan ses i *Ærtebjerg m.fl. (2004)*.

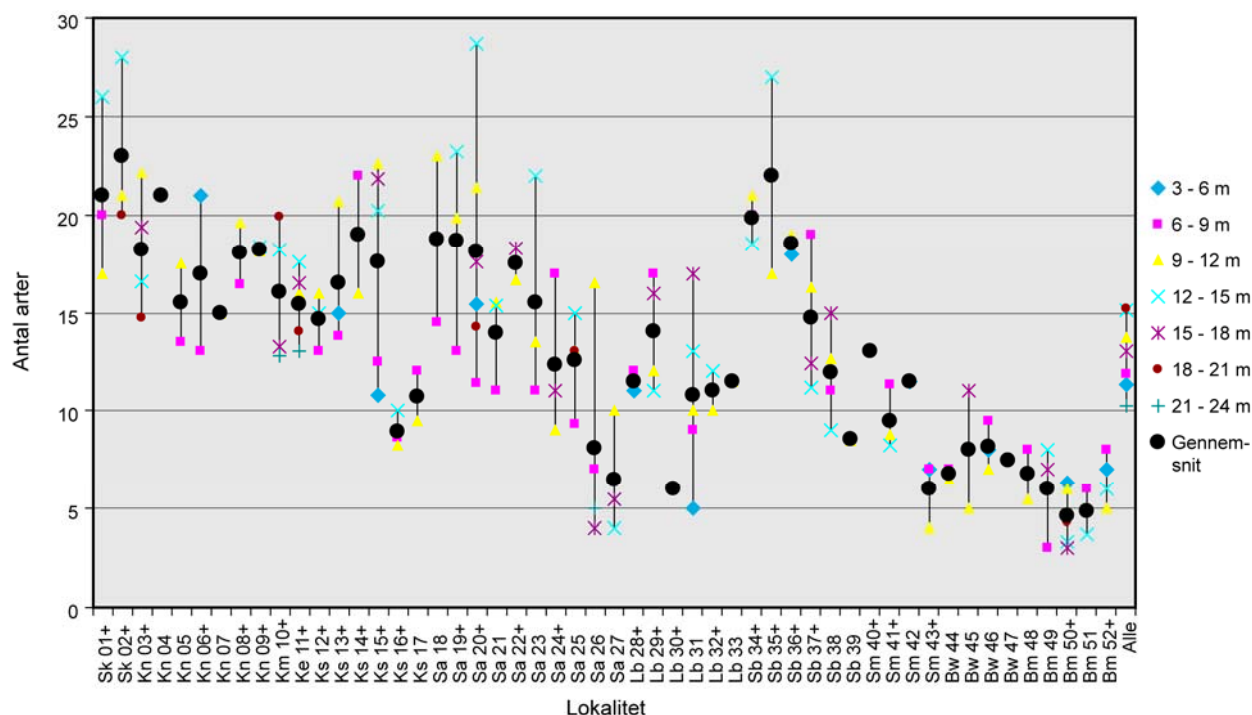
Artsantal og -dækning gennemsnitligt i farvandene 1991 - 1994 og 1999 - 2006

Der har samlet været gennemført 645 dyk fra SNS stenrevsundersøgelser i 1991 - 1994 og fra DMU overvågningsprogram fra 1999 - 2006. Dels i juni men flest fra august (- september). I alt er der registreret 150 arter eller artsgrupper. I rækkefølge efter antal registrerede arter er *Pisces* (fisk) dominerende med 40 arter/artsgrupper og herefter *Hydrozoa* (polypdyr) med 18, *Echinodermata* (pighuder) 16, *Bryozoa* (mosdyr) 14, *Crustacea* (krebsdyr) 15, *Gastropoda* (snegle) 10, *Bivalvia* (muslinger) 9, *Porifera* (havsvampe) 6, *Anthozoa* (koralstyr) 6, *Ascidiacea* (sækdyr) 6 og *Sedentaria* (sedentære havbørsteorme) med 4 samt andre grupper med 6 arter til sammen.

For at beregne dækninger for farvandene til sammen er gennemsnit først beregnet for 3 m's dybdeintervaller ned gennem farvandene (figur 15.4) og herefter er der taget gennemsnit af disse dækningsværdier. Selvom især *Pisces* (fisk) og fx *Echinodermata* (pighuder) således er artsrige grupper i de samlede dykker-/artsregistreringer, fylder de ikke meget i dækningsbedømmelserne. De gennemsnitlige dækninger er domineret af fastsiddende arter især *Bryozoa* (mosdyr) 34% og dernæst *Bivalvia* (muslinger) 10% mest *Mytilus edulis* (blåmusling), *Porifera* (svampe) 8% mest *Halichondria panica* (brødkrummesvamp), *Hydrozoa* (polypdyr) 4%, *Anthozoa* (koralstyr) 3% mest *Alcyonium digitatum* (dødningshånd), *Sedentaria* (sedentære havbørsteorme) 2% mest *Pomatoceros triquetus* (trekantorm), *Echinodermata* (pighuder) 2% alle fritlevende, *Crustacea* (krebsdyr) 2% mest fastsiddende *Balanidae* (rurer) samt fritlevende arter og *Ascidiacea* (søpunge) 1% kun fastsiddende. Øvrige grupper inklusive *Pisces* (fisk) udgør tilsammen 0,5% gennemsnitlig dækning ved undersøgelserne.

Artsantal på undersøgte lokaliteter i 1991 - 1994 og 1999 - 2006

I figur 15.4 er vist antal dyrearter på de enkelte lokaliteter og 3 m's dybdeintervaller i 1991 - 1994 og 1999 - 2006. Nogle lokaliteter og dybdeintervaller har kun været undersøgt en gang, mens andre lokaliteter har været besøgt 10 gange. Nogle dybdeintervaller med to faste stationer har været undersøgt 20 gange, i nogle tilfælde mere ved gentagne dyk på omtrent samme dybde.



Figur 15.4. Gennemsnitligt artsantal fra Skagerrak og ind mod Østersøen pr. lokalitet og pr. 3 m's dybdeinterval med en linje mellem minimum og maksimum dybde forekomst. Lokalitetsnavne er angivet ved lokalitetsnummer og farvandsinitialer (se figur 15.1). Lokaliteter med + er undersøgt af DMU i perioden 1999 - 2006 en til ti gange. Øvrige lokaliteter har været undersøgt en gang af SNS i perioden 1991 - 1994. Farvande: Sk: Skagerrak, Kn: Kattegat nord, Km: Kattegat midt, Ke: Kattegat øst, Ks: Kattegat syd, Sa: Samsø Bælt, Lb: Lillebælt, Sb: Storebælt, Sm: Smålandsfarvandet, Bw: Østersøen vest, Bm: Østersøen Midt.

For gennemsnittet af artsantal ses et fald fra Skagerrak med 21 - 23 arter til Østersø-lokaliteterne med kun 4 - 7 arter. Den faldende saltholdighed indad mod Østersøen er en meget betydende parameter for faldet i artsantal. Arterne tåler brakvand i vekslende grad. Nedgangen i artsantal er ikke jævn. Iøjnefaldende høje artsantal findes mange steder i det sydlige Kattegat, Samsø Bælt og det nordlige Storebælt, således: Hastens Flak, Schultz's Grund, Moselgrund, Munkegrund, Vejrø, Hatter Barn, Ryggen, Romsø, Vresen og Broen II. Alle disse steder må bedømmes at være meget strømpåvirkede, sammenlign figur 15.3. I de samme farvande er meget lave artsantal dog registreret på Ebbeløkke Rev, Torup Flak, Falske Bolsaks og Røsnæs Nord. Af disse fire lokaliteter ligger de to første kystnært i strømlæ for Storebælt-strømmen, mens de to sidste ligger lige ud for Storebælt-strømmen. Bortset fra disse to lokaliteter synes der dog samlet at være en tendens til, at de større artsantal, som er registreret ved dykningerne, findes i de strømpåvirkede steder i og ud for Storebælt. Dette kan have baggrund i, at havstrømme bringer føde til dyrene. Desuden kan havstrømmene have modificerende virkning på sedimentet og måske også derved være del i mere komplicerede artsforhold. Hvad der ligger til grund for de relativt lave artsantal for Falske Bolsaks og Røsnæs Nord er usikkert. Også for Lillebælt-lokaliteterne er der noteret forholdsvis lave artsantal, selv om saltholdig-

hederne der er relativt høje; men der synes den gennemsnitlige strømhastighed at være lav de undersøgte steder.

Undersøgelserne i overvågningsprogrammet 1999 - 2006

Til nærmere analyse er brugt data fra dyk i august (- september) i de 8 år fra 1999 til 2006 udført af DMU. Se oversigt i tabel 15.1. Der har været undersøgt 30 lokaliteter med 105 stationer ved 378 dykninger. I tabellen er de 27 stationer, der har været undersøgt samtlige otte år, markeret med rødt. I det følgende er brugt artsdækninger pr. station, beregnet som gennemsnit for de enkelte stationer, hvor mere usikre bestemmelser er samlet i højere artsgrupper med i alt 140 arter eller artsgrupper.

Lighedsfordeling af stationernes artsdækninger

Baseret på artsdækninger er der for de 105 stationer udført lighedsanalyser (se metodeafsnit) med MDS lighedsplot og efterfølgende test af stations grupperinger (envejs ANOSIM). Størrelsen af den statistiske parameter R er brugt for at vurdere forskelle mellem grupper ($R = 0$ ingen forskel mellem grupperne, $R = 0,5$ klart adskilte men med overlap, $R = 1$ helt forskellige (Clarke & Gorley 2001). I MDS-plottet,

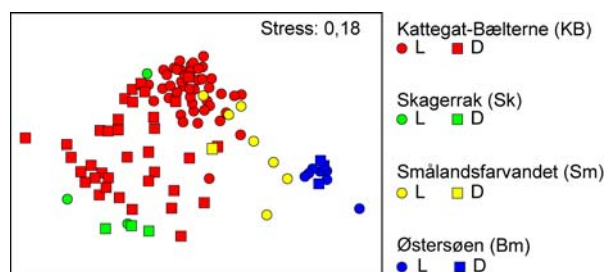
Tabel 15.1. Oversigt over prøvetagninger i august (- september) 1999 - 2006 med antal år med prøvetagning på stationerne i 2 m's dybdeintervaller. Steder, der kun er undersøgt en gang, blev besøgt i 2004. Helnæs (Lb30) er kun besøgt en gang, men med to dyk i det samme dybdeinterval, her regnet som en station. Forskellige farver for stationer besøgt 1 - 3, 5 - 7 og 8 gange og med de sidste to kategorier indrammet med tyk streg. Farvande: Sk: Skagerrak, Kn: Kattegat nord, Km: Kattegat midt, Ke: Kattegat øst, Ks: Kattegat syd, Sa: Samsø Bælt, Lb: Lillebælt, Sb: Storebælt, Sm: Smålandsfarvandet, Bm: Østersøen midt.

Lokalitet	Lønstrup Rødgr.																																Knudegrund		Herthas Flak		Hirsholmene		Per Nilen		Tønneberg Banke		Kims Top		Store Middelgrund		Lysegrund		Briseis Flak		Hastens Grund		Schultzs Grund		Ebeløkke Rev		Munkegrund		Vejrø		Hatter Barn		Lillegrund		Æbelø Østrev		Flækøjet		Heinæs		Bredgrund		Ryggen		Romsø		Vresen		Broen II		Stålgrund Banke		Kirkegrund		Knudshoved Odde		Møns Klint		Stevns Klint		Alle	
Lok. nr.	01	02	03	06	08	09	10	11	12	13	14	15	16	19	20	22	24	28	29	30	32	34	35	36	37	40	41	43	50	52																																																														
Farvand	Sk		Kn				Km		Ke	Ks						Sa				Lb				Sb				Sm				Bm																																																												
4 - 6 m				1						7		8			5			1						1				1	3	1	28																																																													
6 - 8 m					8				1	7	1	8	1	1	5	2	1	1	1								3	1		1	43																																																													
8 - 10 m	1	1		1	8			8	1	8	1		1		5				1	1						3		3	1	49																																																														
10 - 12 m	1		8		8	8		8	1			8		1	5	2	1		1		1	1	1		3		3	1		55																																																														
12 - 14 m		1	8		8	8		7	1			8	1	1	5			1			1	1	1			3				50																																																														
14 - 16 m	1		8		8	8	8	8				8			5	2								2					1	51																																																														
16 - 18 m					8		8	8				8			5	2	1		1					2					3	30																																																														
18 - 20 m			8			8	8	8							5															29																																																														
20 - 22 m		1	8					8							6	Antal år undersøgt 1999 - 2006																	3									26																																																		
22 - 24 m							8	8																							16																																																													
I alt	3	3	40	2	24	24	32	47	4	22	2	48	3	3	46	8	3	2	4	2	3	3	2	2	10	1	12	3	15	5	378																																																													

figur 15.5, ligger Skagerrak-stationerne yderligt i forhold til Kattegat - Bælternes og med nogen sammenblanding ($R = 0,5$). Skagerraks og Østersøens stationer er vidt forskellige ($R = 1$). For Skagerrak-stationerne er der ikke lighedsforskel mellem de lave og de dybe stationer ($L \leq 12$ m, $D > 12$ m) ($R = 0$). De lavere Skagerrak-stationer ligger endvidere til dels sammen med dybere stationer fra Kattegat - Bælterne i lighedsplottet. I MDS-plottet ses også, at stationerne i Kattegat - Bælterne indgår i en større lighedsgruppe. Her ligger de fleste lavere stationer i en samlet ligheds-undergruppe i forhold til de dybere stationer, men med overlap for enkelte stationer ($R = 0,6$). Hos de dybere stationer ses en større differentiering end hos de lave. Østersø-stationernes dyresamfund fremtræder som en lighedsgruppe for sig ($R = 0,9$ i forhold til Kattegat - Bælterne). Hos Østersø-stationerne er lave og dybe stationer sammenblandet ($R = 0$). Smålandsfarvandets stationer viser overgang mellem Kattegat - Bælternes og Østersø-stationerne; men samlet set med en større lighed med Kattegat - Bælternes stationer (henholdsvis $R = 0,3$ og $R = 0,5$).

Mange af de forhold, der overordnet fremgår af MDS-plottet, er eksemplificeret og uddybet i det følgende afsnit om dominerende fastsiddende dyrs geografi og dybdefordeling, blandt andet en veksellende dybdegrænse mellem repræsentanter for det lave og det dybe dyresamfund ned gennem farvandede og skiftende dominansforhold i det differentierede dybe dyresamfund.

Ved en tidligere lighedsanalyse ud fra SNS-under søgelser af faunaen på rev i Samsø Bælt, Storebælt, Smålandsfarvandet og Østersøen fandtes, som her, at Smålandsfarvandets lokaliteter danner overgangssamfund ind mod den midterste del af Østersøen og der var Kirkegrund i centrum i lighedsplottet (Lundsteen 2000).



Figur 15.5. MDS lighedsfordelinger af arts dækninger hos stationer undersøgt i perioden 1999 - 2006. Beregnet i PRIMER med Bray Curtis lighedsmatrice med 2-grads rodtransformation af arts dækninger (se Clarke & Gorley 2001). Cirkel L = < 12 m's dybde, firkant D = > 12 m's dybde. KB: Kattegat-Bælterne, Sk: Skagerrak, Sm: Smålandsfarvandet og Bm: Østersøen.

Dominerende fastsiddende dyrs geografi og dybdefordeling

For de fastsiddende arter i tabel 15.2 er foretaget udtræk af de to i gennemsnit mest dominerende arter pr. station i dybdeintervallerne, i alt 21 arter eller artsgrupper. De fastsiddende arter er valgt, fordi de fylder mest i dækning, er en udbygning af habitatens fysiske substrat og må betragtes som de undersøgte steders mere stabile, ikke flygtige bestanddele.

Tabel 15.2. Dominerende fastsiddende arter. For hvert dybdeinterval refererer art 1 og art 2 til den mest og næst mest dominerende art. Felternes farve refererer til arten. I felterne er det øverste tal desuden art referencenummer. Det nederste tal i hvert felt er den gennemsnitlige dækning for arten. Bogstavet A og rødlige farver er algeknyttede arter. Blå er dominerende i Østersøen. Øvrige felter er arter, der regnes som det dybere samfunds. Ved blanke felter er der kun dækninger < 1 % ved et besøg. Farvande: Sk: Skagerrak, Kn: Kattegat nord, Km: Kattegat midt, Ke: Kattegat øst, Ks: Kattegat syd, Sa: Samsø Bælt, Lb: Lillebælt, Sb: Storebælt, Sm: Smålandsfarvandet, Bm: Østersøen midt.

		Lønstrup Rødgr.																																
	Lokalitet	Knudegrund	Herthas Flak	Hirsholmene	Per Nilen	Tønneberg Banke	Kims Top	Store Middelgrund	Lysegrund	Briseis Flak	Hastens Grund	Schultzs Grund	Ebbeløkke Rev	Munkegrund	Vejrø	Hatter Barn	Lillegrund	Æbelø Østrev	Flækøjet	Helnæs	Bredgrund	Ryggen	Romsø	Vresen	Broen II	Stålgrund Banke	Kirkegrund	Knudshoved Odde	Møns Klint	Stevns Klint				
	Lok. nr.	01	02	03	06	08	09	10	11	12	13	14	15	16	19	20	22	24	28	29	30	32	34	35	36	37	40	41	43	50	52			
Dybde	Farvand	Sk	Kn			Km	Ke	Ks				Sa				Lb				Sb				Sm		Bm								
4 - 6 m	art 1				8A				8A		8A				8A				8A						11A			5	16	16				
	dæk%				85				77		39				82				20						30			50	47	95				
	art 2				11A				16		16				11A				11A						8A			16	7	7				
	dæk%				10				13		19				24				10						30			25	1A	10				
6 - 8 m	art 1				8A				8A	8A	11A	8A	8A	8A	11A	8A	8A	19A	11A			8A					5	16		16				
	dæk%				90				50	67	70	35	60	85	58	85	70	20	50			99					17	30		90				
	art 2				11A				11A	16	8A	13A	19A	11A	8A	11A	11A	5	8A			11A					16	5		7				
	dæk%				63				10	16	70	9,4	10	35	43	40	15	5	40			80					12	10		10				
8 - 10 m	art 1	8A	21		8A	8A			8A	11A	8A	8A		8A		11A					8A	11A			11A	11A	16	8A		16	5			
	dæk%	65	10		65	85			86	15	44	90		20		36					75	20			10	68	80	26		70	10			
	art 2	18	18		13A	11A			11A	8A	11A	11A		19A		8A					11A	8A			8A	16	8A	16	5	7				
	dæk%	1	5		10	7,4			21	10	21	50		20		27					28	20			3A	25	25	22	2,7	5				
10 - 12 m	art 1	3		8A		8A	8A		8A				8A		11A	8A	8A	8A		17A		11A	8A	8A		16	8A	5		16				
	dæk%	35		79		24	68		40				71		60	27	15	30		50		11A	20	40	90		17	5		80				
	art 2	18		13A		13A	13A		11A				13A		8A	10	13A	11A		9		19A	13A	16		11A	2A			5				
	dæk%	2		19		6,4	31		10				16A		40	19	13	10		80		5	20	70		12	1,7			5				
12 - 14 m	art 1		1	8A		8A			8A	8A			14	19A	21	20				10		10	13A	11A			2A		16					
	dæk%		15	23		49			9,3	60			36	5	10	3,1				60		2	40	25			1,7		82					
	art 2		21	13A		13A			11A	11A			18	8A	12	6				12			8A	13A			11A	5						
	dæk%		3	22		20			1,9	15			27	2	5	1,6				20			5	12			1,7		10					
14 - 16 m	art 1	10		3		8A	13A	18					14			20	8A									19A				16				
	dæk%	20		15		19	41	5,2					21			3,6	15									13				75				
	art 2	3		20		13A	8A	14					18			18	10									12				7				
	dæk%	10		3,7		18	7,5	0,4					20			2,2	10									5				5				
16 - 18 m	art 1							1					15			18	10			12						4			16					
	dæk%							8,8					22			2	7,5			20						20			63					
	art 2							3					3			15	6			20						12			5					
	dæk%							3,7				8,2			2	3A			10						7,5			9						
18 - 20 m	art 1			3				3	18							15																		
	dæk%			7,6				4	12							2																		
	art 2			20				1	15							18																		
	dæk%			4,3				2	3,4						0,7																			
20 - 22 m	art 1		10	10					15							15													16					
	dæk%		25	34					8,4							7,5													73					
	art 2		3	3					14							18													5					
	dæk%		15	14					0,6						1,4														1,7					
22 - 24 m	art 1							3	3																									
	dæk%							4,6	8,6																									
	art 2							20	20																									
	dæk%							0,4	0,7																									

Art nr.	Art / artsgruppe	Taksonomi	Art nr.	Art / artsgruppe	Taksonomi
1	Alcyonidium diaphanum	BRYOZOA	12	Haliclona oculata	PORIFERA
2A	Alcyonidium spp.	BRYOZOA	13A	Membranipora membranacea	BRYOZOA
3	Alcyonium digitatum	ANTHOZOA	14	Metridium senile	ANTHOZOA
4	Ascidacea spp.	ASCIDIACEA	15	Modiolus modiolus	BIVALVIA
5	Balanus improvisus	CRUSTACEA	16	Mytilus edulis	BIVALVIA
6	Dendrodoa grossularia	ASCIDIACEA	17A	Obelia geniculata	HYDROZOA
7	Electra crustulenta	BRYOZOA	18	Pomatoceros triqueter	SEDENTARIA
8A	Electra pilosa	BRYOZOA	19A	Spirorbis på alger	SEDENTARIA
9	Eucratea loricata	BRYOZOA	20	Store Thecata Hydrozoa (indet.)	HYDROZOA
10	Flustra foliacea	BRYOZOA	21	Tubularia indivisa	HYDROZOA
11A	Halichondria panicea	PORIFERA			

Der er i det følgende skelnet mellem tre hoved-samfundstyper hos de fastsiddende dyr: det algetilknyttede samfund, det dybere dyresamfund og Østersø-lokaliteternes. Når de dominerende fastsiddende arter i Østersøen optræder i de mere salte farvande, findes de der typisk på det lavere vand. De er her regnet som algebæltets arter. Ved omtale i det følgende af de enkelte arters udbredelse er inddraget individuelle udbredelsestabeller, der ikke er vist her.

Algesamfundets dominerende dyr

Algesamfundets dyr omfatter følgende seks arter, nævnt i prioriteret rækkefølge efter hvor mange gange, de er blandt de to dominerende i dybdeintervallerne: *Electra pilosa* (pigget hindemosdyr) 52x, *Halichondria panica* (brødkrummesvamp) 33x, *Membranipora membranacea* (glat hindemosdyr) 16x, *Spirorbis* (posthornsorm på alger) 6x og *Alcyonidium* spp. (lædermosdyr andre end *A. diaphanum*) 2x og *Obelia geniculata* (knæet klokkepolyp) 1x. De dominerende fastsiddende dyr fra algesamfundet sidder typisk på algerne, eller på stenen under dem, som *Halichondria panicea* (brødkrummesvamp). En anden artsgruppe, *Alcyonidium* spp. (lædermosdyr andre end *A. diaphanum*), har under dykning kun været noteret i algedomineret område på Kirkegrund. De tre mest dominerende arter knyttet til algebæltet viser en ret jævn fordeling fra det nordlige Kattegat og ind i Bælterne.

Det dybe samfund

Typiske for det mere salte vands dyresamfund er ni dominerende fastsiddende arter, hvortil kommer tre arter med mere tvivlsomt tilhørsforhold. De tre oftest dominerende er *Pomatoceros triqueter* (trekantorm) 12x, *Alcyonium digitatum* (dødningehånd) 11x og *Flustra foliacea* (bredt bladmosdyr) 8x. Mere tvivlsomme substrattilhørsforhold til dyresamfundet gælder for tre arter, som nok typisk kommer til i den nedre del af algebæltet på overgangen til dyresamfundet: *Eucratea loricata* ("busk-mosdyr") 1x, *Ascidia* sp. (større søpunge andre end de selvstændigt bestemte) 1x og *Dendrodia grossularia* (stikkelsbær-søpung) 2x.

Østersøsamfundet

På Østersøstationerne er der kun tre dominerende fastsiddende arter: *Mytilus edulis* (almindelig blåmusling) 21x, *Balanus improvisus* (Brakvandsrur) 11x, *Electra crustulenta* (brakvands-mosdyr) 5x, (tabel 15.2). Enkelte steder er disse arter også registreret i de mere salte vande, og de er regnet til algesamfundets arter. På Smålandsfarvandets stationer ses tydeligt en overgang til Østersøens arter. På Østersøstationerne rækker de tre arter langt ned i dybdefordeling. Her

mangler den differentiering i lave algeknyttede og dybe dyresamfund, som ses i Kattegat og det meste af Bæltfarvandene.

Lillebælt og det øvrige Bæltthav

Lillebælt-lokaliteterne, og særligt Flækjøet, skiller sig ud fra de øvrige Bæltfarvande, ikke mindst Storebælt-lokaliteterne: Ved Lillebælt er nedtrængningen af algebæltets dyr lille og et par arter, der i øvrigt er almindelige, viser på Flækjøet dominans som det eneste sted: *Obelia geniculata* (knæet klokkepolyp) og *Eucratea loricata* ("busk-mosdyr"). Som tidligere nævnt er artsantallet relativt lille. Der er ikke søpindsvin i væsentlig grad (tabel 15.4), så den lave dybdenedtrængningen af algebæltets arter kan næppe forklares ved deres græsning. Det må skønnes, at uklart vand og perioder med ringe strøm, må være betydende faktorer for disse afvigelser i faunaen på stationerne dette sted.

Dominansskift i det dybe dyresamfund ned gennem farvandene

Følgende fastsiddende arter udviser en sænkning af den øvre dybdegrænse fra Skagerrak til Østersøen: *Tubularia indivisa* (stor rørpolyp), *Pomatoceros triqueter* (trekantorm), *Alcyonium digitatum* (dødningehånd) og *Alcyonium diaphanum* (opret lædermosdyr/doggerbanke fnat) (tabel 15.2). Andre af de dominerende arter overtager gradvist deres dominans i det dybe samfund. For *Modiolus modiolus* (hestemusling) gælder dog, at den ikke er fundet på de nordligere rev under dykningerne, før den fremtræder blandt de dominerende på Store Middelgrund og nogle sydligere rev, se tabel 15.5. For *Flustra foliacea* (bredt bladmosdyr) synes også at gælde særlige forhold. Den er dominerende ved Skagerrak-lokaliteternes dybere intervaller i 14 - 16 m's og 20 - 22 m's dybde og på Herthas Flak i 20 - 22 m's dybde. De følgende lokaliteter indad har den slet ikke været registreret; men dukker igen op som stedvis dominerende i Samsø Bælt, Lillebælt og Storebælt. Ved Vejrø er den registreret så lavt som i 10 - 12 m dybdeintervallet.

Grænsen mellem algesamfundets dyr, det dybere dyresamfund og Østersøsamfundet

Dybdegrænsen mellem algesamfundets dyr og det dybere dyresamfunds arter veksler stærkt, som det ses i tabel 15.2. Kun to steder er algesamfundets dyr dominerende ned i 14 - 16 m intervallet, nemlig Tønneberg Banke og Kims Top. Alle de andre steder, med mindre nedtrængning af algesamfundets dyr, må der være begrænsende faktorer af algebæltet og dets tilknyttede dyr, hvad enten det er mindre lys for algernes vækst, pladskonkurrence eller græsning. På de to Skagerrak-lokaliteter, Lønstrup

Rødgrund og Knudegrund når de dominerende arter i algesamfundet kun delvist ned i det lavest undersøgte dybdeinterval i 8 - 10 m's dybde. Her langs Jyllands vestkyst er sigtddybden også meget ringe (*pers. kom. K. Dahl.*) Desuden kan store belægninger af *Corophium* (slikkrebs) også have hæmmet vegetationsudviklingen disse steder. Men også i de indre farvande må noteres steder, hvor algesamfundets nedtrængen er ret ringe således Store Middelgrund ned i 12 - 14 m, Schultz's Grund ned i 10 - 12 m og ved Vejrø kun delvist ned i 10 - 12 m intervallet. På disse tre steder i indre farvande synes det at være søpindsvins nedgræsning af den nedre del af algebæltet, som er årsagen, måske også fysiske forstyrrelser på Store Middelgrund, se senere. Dog er der på et mellemliggende rev Ebbeløkke dominans af algeknyttede dyr ned i 12 - 14 m intervallet. I Lillebælt, på lokaliteterne Flækøjet og Bredgrund rækker algebæltets dyr kun har dominans ned i 10 - 12 m dybdeintervallet og det første sted kun delvist.

Karakterarter for lokaliteter

En del af lokaliteterne er karakteriseret ved arter, der overvejende forekommer der, eventuelt med lille dækning men med høj frekvens, eller med gennemsnitligt store forekomster sammenlignet med andre lokaliteter.

For at isolere sådanne sted-karakterarter er der foretaget datasøgning på de stationer i perioden 1999 - 2006, der har været besøgt 5 - 8 gange. Blandt de stationer, der har været besøgt færre gange (1 - 3 gange), har der blot været søgt på arter med særligt begrænset forekomst (sammenlign *tabel 15.1* for søgfrekvens).

For stationer, der har været besøgt 5 - 8 gange, er karakterarter udledt ud fra, at en arts, eller artsgruppes, procentvise fundfrekvens på en station gange gennemsnitsdækningen skal være 10 gange større end samme værdi på andre stationer fra andre lokaliteter.

De seks arter, der opfyldte kriterierne for karakterarter, er vist i *tabel 15.3*. De fleste herved fremkomne arter var allerede kendt for at være stedspecifikke alene ud fra dykkerundersøgelserne. Ud over de her medtagne steder har *Coryne pusilla* ("lian polyp") ved dykningerne været fundet på naborevet Læsø Trindel, der ikke er medtaget ved denne opgørelse. Arten har tidligere kun været fundet ud for Frederikshavn og Hirsholmene, ifølge *Kramp (1935)*. De nye fundsteder ligger vest for Kramps fundsteder. Den må således indtil videre betragtes som særegen for denne nordlige del af Kattegat.

De i tabellen nævnte registreringer af *Echinus acutus* (langpigget søpindsvin) er de sydligste og lavest kendte for arten i danske farvande (*Lundsteen m.fl. 2008*). De øvrige arter har i øvrigt en kendt udbredelse ud over de her nævnte findesteder. *Flustra securifrons* (smalt bladmosdyr) og *Flustrellidra hispida* (pigget pudemosdyr), der her kun er fundet på enkelte rev, har begge en mere vidt kendt udbredelse, den første indtil bæltområdet, den anden indtil Bornholm ifølge *Marcus 1940* og *Køie m.fl. 2000*. De ret stedspecifikke fund af *Hydractinia echinata* (pindsvinepolyp), der lever på snegleskaller beboet af *Pagurus* (eremitkrebs), må nok, indtil videre, betragtes som kuriøst.

En del arter er tæt på at opfylde de opstillede betingelser for karakterarter. Her iblandt må nævnes *Me-*

Tabel 15.3. Karakterarter på stationer besøgt 5 - 8 gange. Se tekst med hensyn til kriterier. I tabellen er angivet dybde, m: dybdeinterval, frekvens: antal registreringer ud af antal år dybdeintervallerne har været undersøgt, dækning %: gennemsnitsdækninger i dybdeintervallerne alle 5 - 8 undersøgelsesår. Farvande: Kn: Kattegat nord, Km: Kattegat midt, Ke: Kattegat øst, Ks: Kattegat syd, Sa: Samsø Bælt.

Art	Lokalitet	Farvand	Dybde, m	Frekvens	Dækning %	Andre steder
<i>Flustra securifrons</i>	Herthas Flak	Kn	20 - 22	5 / 8	1	Også 18 - 20 m
<i>Flustrellidra hispida</i>	Per Nilen	Kn	6 - 10	8 / 8	6-3	Også 12 - 14 m samt spredte andre lokaliteter
<i>Coryne pusilla</i>	Tønneberg Banke	Kn	14 - 16	7 / 8	<1	Også 12 - 14m samt tvivlsom Vejrø (Sa) 12 - 14 m
<i>Echinus acutus</i>	Kims Top	Km	22 - 24	5 / 8	<1	Også 18 - 20 m samt en gang ved Store Middelgrund (Ke) 22 - 24 m
<i>Eudendrium arbusculum</i>	Schultz's Grund	Ks	10 - 12	6 / 8	<1	Også 12 - 14 m samt spredte andre lokaliteter som <i>Eudendrium indet</i>
<i>Hydractinia echinata</i>	Vejrø	Sa	14 - 16	5 / 5	<1	Også 10 - 14 m og 18 - 22 m samt andre lokaliteter. Bemærk: symbiotisk på konkskaller med <i>Pagurus</i>

tridium senile (sønellike) på Schultz's Grund, især i 10 - 16 m's dybde med gennemsnitsdækninger på 20 - 35%. Den er dog fundet med forholdsvis høj dækning andre steder, især ved det ene dyk foretaget på Romsø i 10 - 12 m's dybde, hvor den kan vise sig at være lige så almindelig. Arten har på Schultz's Grund været kortlagt med Multibeam Sonar (Al-Hamdani m.fl. 2003).

For steder undersøgt 1 - 3 gange kan nævnes lokale fundforekomster af: *Corophium* (slikkrebs) i masseforekomst på Lønstrup Rødgrund og Knudegrund. Muslingen *Astarte* (*Tridonta*) *borealis* (stor astarte), der er registreret på et par Storebælt-lokaliteter, nemlig på den småstenede - grusede bund på Romsø i 12 - 14 m's dybde og på Broen II i 10 - 12 og 16 - 18 m's dybde. Denne art er typisk for denne bundtype og findes særligt i den sydlige del af Kattegat (*pers. komm. Alf Josefson*) og trænger altså her ind til grunden af et par af de undersøgte stenrev. Den brakvandstålende ferskvandssnegl (ifølge Køie m.fl. 2000) *Theodoxus fluviatilis* (flodnerit) har endvidere været registreret på Møns Klint i 4 - 6 og 8 - 10 m dybdeintervallet.

Fordeling af nøglearter, der muligvis er et resultat af, eller resulterer i, biologiske interaktioner

I tabellerne 15.4 og 15.5 er vist fundfrekvenser (antal år) og gennemsnitsdækninger for arter, set under dykningerne, der skønnes at have særlig modificerende betydning og forklarende for artssammfundenes sammensætning.

Græssende søpindsvin

I tabel 15.4 er vist udbredelsen af de almindelige søpindsvin *Echinus esculentus* (stort søpindsvin), *Strongylocentrotus droebachiensis* (grønt søpindsvin) og *Psammechinus miliaris* (tangborre). Desuden er vist forekomsten af den sjældne *Echinus acutus* (langpigget søpindsvin). Hos de to hovedarter, *Echinus esculentus* og *Strongylocentrotus droebachiensis* ses, at de afløser hinanden på Store Middelgrund, og at den sidste art stort set mangler nordligere. *Strongylocentrotus droebachiensis* er registreret hyppigt og med relativt stor dækning på dybere dele af Store Middelgrund, Schultz's Grund og Vejrø. Det første sted har den sandsynligvis været stærkt medvirkende til lav algedækning på dele af revet. På Schultz's Grund og Vejrø har det ved gentagne iagttagelser kunnet ses, hvordan de nedre del af algebæltet og de tilknyttede dyr har været nedgræsset. For Store Middelgrund må tilføjes, at der er påvist fysiske forstyrrelser på revet, sandsynligvis forårsaget af trawlfiskeri på noget af de dybere dele (Dahl 2005). *Stron-*

gylocentrotus droebachiensis er altædende (Køie m.fl. 2000). Blandt andet *Pomatoceros triqueter* (trekantorm) og *Modiolus modiolus* (hestemusling) har store forekomster disse tre steder og må være godt beskyttede mod søpindsvinegræsning.

Trekantorm

Pomatoceros triqueter (trekantorm), sidder på sten og er beskyttet af et kraftigt kalkrør. Det er sandsynligt, at dens masseforekomster på Store Middelgrund, Schultz's Grund og Vejrø, se tabel 15.4, er fremmet af søpindsvinegræsningen disse steder, der har ryddet stenene og fremmet tilgængeligheden af føde som bringes med vandstrømmen som følge af den manglende vegetation.

Hestemusling

Tabel 15.5 viser forekomsten af *Modiolus modiolus* (hestemusling). Arten findes typisk under pycnoclinen. På fundstederne er arter set nedgravet 2/3 i sedimentet, fasthæftet begravede sten. Muligvis er det substratbetingelser, der er medvirkende til, at den ikke er fundet på de nordligere rev. Fund af skaller ved Læsø Trindel indikerer dog, at arten også har levet her. Arten er kendt for at danne rammen om et rigt dyreliv (Thorson 1968) og regnes for en biogen revdanner.

Blåmusling og almindelig søstjerne

Hos *Mytilus edulis* (almindelig blåmusling) og dens hovedfjende *Asterias rubens* (almindelig søstjerne) viser tabel 15.5 til dels omvendte udbredelsesmønstre. I det store og hele må påregnes, at *Asterias rubens* holder bestanden af *Mytilus edulis* nede i de mere salte dele af vore farvande. Den store forekomst af *Mytilus edulis*, som ses på Østersø-lokaliteterne, må stå i forhold til, at *Asterias rubens* her generelt er sparsomt forekommende og aldrig truffet under dykkerundersøgelserne. *Asterias rubens* findes dog i Østersøen indtil omkring Bornholm (Køie m.fl. 2000) - men formentlig på større dybde.

På lokaliteter med højere salinitet har der enkelte gange i overvågningsperioden været observeret masenedslag af *Mytilus edulis*, der har medført, at vegetationen er blevet kvalt i et tæt tæppe af juvenile muslinger. Populationen af *Asterias rubens* har efterfølgende hurtigt spist muslingerne, og oftest er der kun få muslinger, der har overlevet til næste år. Dette er observeret ved Vejrø og på Briseis Flak i 1999 samt på Læsø Trindel i 1989 (Dahl m.fl. 2001). Ved videoregistrering af fire stenrev omkring Bornholm fra ca. 5 - 32 m's dybde fandtes *Mytilus edulis* næsten overalt og ofte med store dækninger, fra 50 - 90%. I 32 m's dybde, dog kun 5% i 30 - 32 m's dybde (Lundsteen 2001).

Tabel 15.4. Fordeling af nøglearter for biologiske interaktioner: *Echinus esculentus* (stort søpindsvin) og *Echinus acutus* (langpigget søpindsvin), *Strongylocentrotus droebachiensis* (grønt søpindsvin) og *Psammechinus miliaris* (tangborre), *Pomatoceros triqueter* (trekantorm). Fundfrekvens er vist med tal (antal år reg./år undersøgt). Gennemsnitsdækning er vist med farve. For *Psammechinus miliaris* og *Echinus acutus* er dog kun vist registrering (+). Farvande: Sk: Skagerrak, Kn: Kattegat nord, Km: Kattegat midt, Ke: Kattegat øst, Ks: Kattegat syd, Sa: Samsø Bælt, Lb: Lillebælt, Sb: Storebælt, Sm: Smålandsfarvandet, Bm: Østersøen midt.

Lokalitet	Lønstrup Rødgr.		Knudegrund	Herthas Flak	Hirsholmene	Per Nilen	Tønneberg Banke	Kims Top	Store Middelgrund	Lysegrund	Briseis Flak	Hastens Grund	Schultz Grund	Ebbeløkke Rev	Munkegrund	Vejrø	Hatter Barn	Lillegrund	Æbelø Østrev	Flækøjet	Helnæs	Bredgrund	Ryggen	Romsø	Vresen	Broen II	Stålgund Banke	Kirkegrund	Knudshoved Odde	Møns Klint	Stevns Klint
Lok. nr.	01	02	03	06	08	09	10	11	12	13	14	15	16	19	20	22	24	28	29	30	32	34	35	36	37	40	41	43	50	52	
Farvand	Sk	Kn		Km		Ke	Ks				Sa				Lb				Sb				Sm		Bm						
4 - 6 m																															
6 - 8 m																															
8 - 10 m	1/1	1/1																													
10 - 12 m	1/1		4/8																												
12 - 14 m		1/1	4/8																												
14 - 16 m	1/1		5/8																												
16 - 18 m																															
18 - 20 m			5/8																												
20 - 22 m		1/1																													
22 - 24 m																															
																Echinus esculentus															
																Echinus acutus															
4 - 6 m																															
6 - 8 m																															
8 - 10 m																															
10 - 12 m																															
12 - 14 m																															
14 - 16 m																															
16 - 18 m																															
18 - 20 m																															
20 - 22 m																															
22 - 4 m																															
																Strongylocentrotus droebachiensis															
																+ Psammechinus miliaris															
4 - 6 m																															
6 - 8 m																															
8 - 10 m																															
10 - 12 m																															
12 - 14 m																															
14 - 16 m																															
16 - 18 m																															
18 - 20 m																															
20 - 22 m																															
22 - 24 m																															
																Pomatoceros triqueter															

Dækningsprocent, gennemsnit

<1

1-2

3-10

>10-25

>25-50

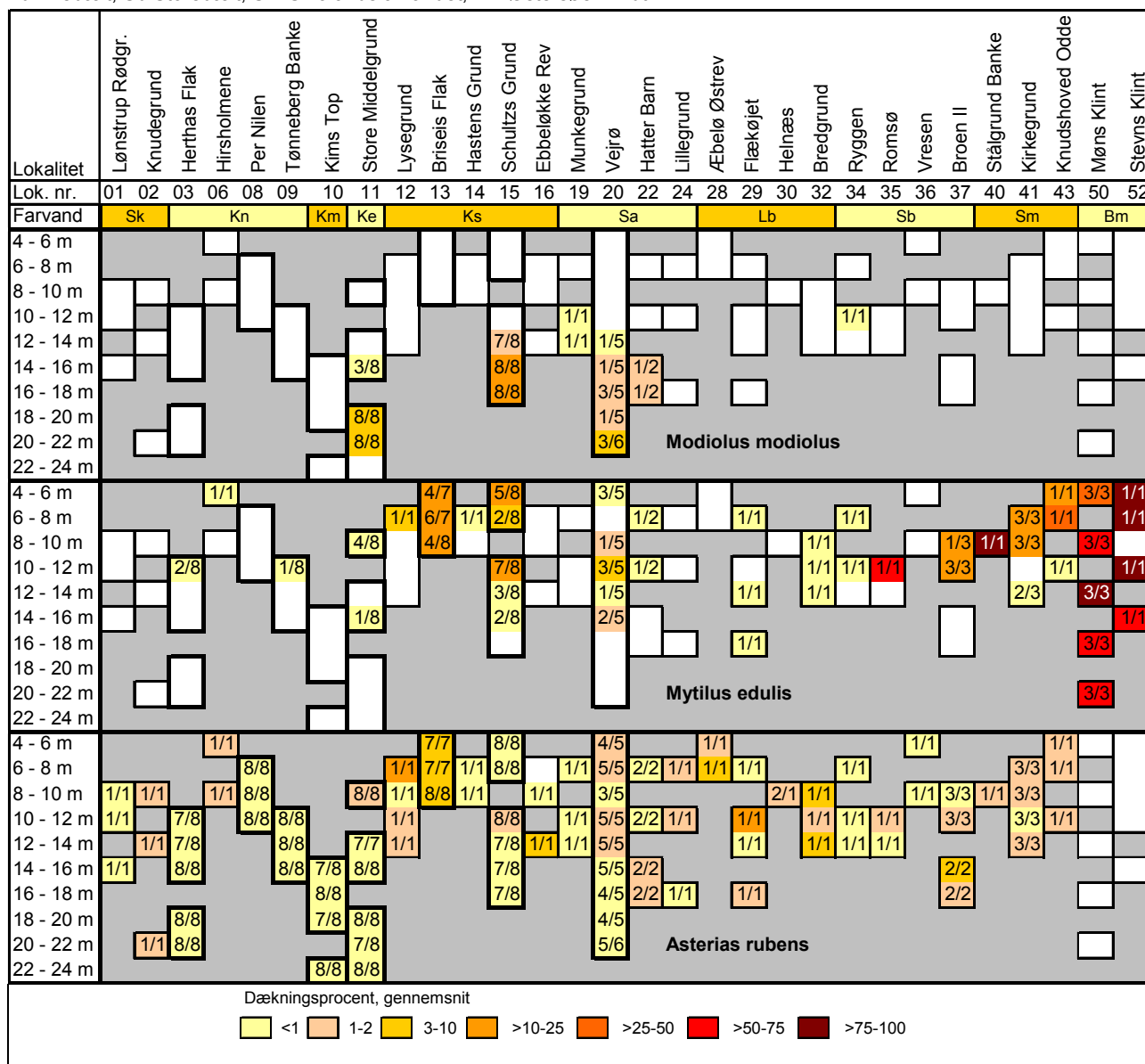
>50-75

>75-100

Dækningsprocent, gennemsnit

<1 1-2 3-10 >10-25 >25-50 >50-75 >75-100

Tabel 15.5. Fordeling af nøglearter for biologiske interaktioner: *Modiolus modiolus* (hestemusling), *Mytilus edulis* (blåmusling) og *Asterias rubens* (almindelig søstjerne). Fundfrekvens er vist med tal (antal år reg./år undersøgt). Gennemsnitsdækning er vist med farve. Farvande: Sk Skagerrak, Kn Kattegat Nord, Km Kattegat Midt, Ke Kattegat Øst, Ks Kattegat Syd, Sa Samsø Bælt, Lb Lillebælt, Sb Storebælt, Sm Smålandsfarvandet, Bm Østersøen Midt.



Faunasammensætningens stabilitet og tidsudvikling

Ved dykningerne på de samme stationer i gentagne år har det været indtrykket, at artssammensætningen på de enkelte stationer har været meget stabil. For de 28 stationer, der har været undersøgt alle otte år i perioden 1999 - 2006 (tabel 15.1), er foretaget 2STAGE (Primer) lighedsanalyse årene imellem. Den mindste lighed mellem årene i stationernes lighedsfordelinger er 82% mellem 1999 og 2005, og den største lighed er 94% mellem 2003 og 2004. Der er således lille forskel i løbet af de otte år i stationernes indbyrdes særpræg.

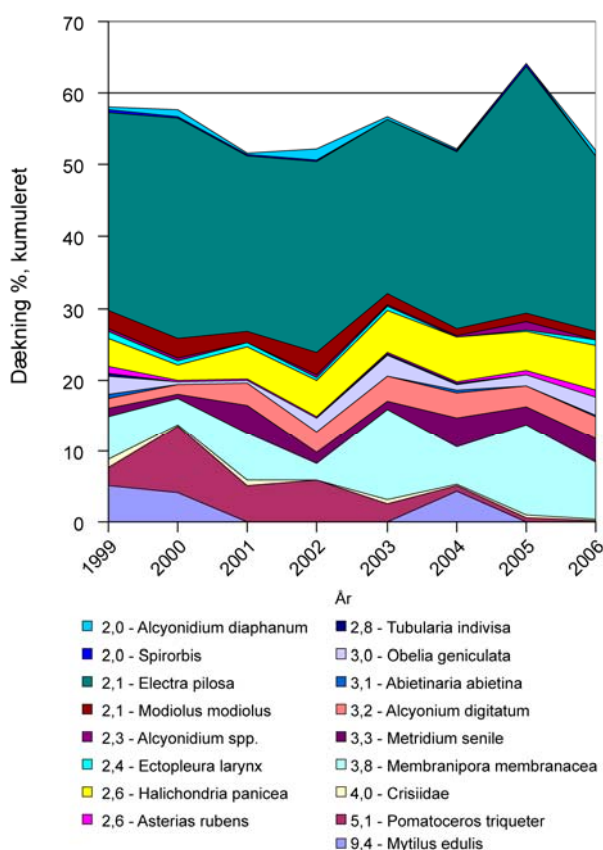
Tages gennemsnit af arternes forekomst pr. år på alle 27 stationer, fås en mindste lighed på 71%, mellem 1999 og 2000, og en største lighed på 82%, mellem 2001 og 2003. Den samlede faunasammensætning viser således noget større forskel, end det fremgår af forskellene i stationernes indbyrdes ligheder de otte år ved 2STAGE lighedsanalysen.

I figur 15.6 er vist gennemsnitlig årlig artsdækning for de 17 arter, eller artsgrupper, der i gennemsnit bidrager med den største ulighed i forhold til 1999 på de 27 stationer.. I alt bidrager de med 55% af den gennemsnitlige dækning. Deres gennemsnitlige ulighedsbidrag er vist ud for artsnavnet i figuren. Som det ses, skyldes den største forskel i uligheder fra år til år på de 27 stationer især forandringer i dækningen af *Mytilus edulis* (blåmusling) med 9,4% gen-

nemsnitligt ulighedsbidrag, *Pomatoceros triqueter* (trekantorm) med 5,1%, *Crisiider*, især *Crisia eburnea* (*Crisia*, et mosdyr), med 4% og *Membranipora membranacea* (glat hindemosdyr) med 3,8% ulighedsbidrag. Hos *Mytilus edulis* svinger den gennemsnitlige dækning på de 27 stationer fra 4 - 5% til nær 0%.

Pomatoceros triqueter synes, om end med store udsving, at vise en faldende dækning i periodens forløb. Det samme gælder *Crisiider*, om end fra et lavere niveau. Den største dækning findes hos *Electra pilosa* (pigget hindemosdyr) med et gennemsnit på 27% dækning; men den bidrager kun med 2% gennemsnitlig ulighed i forhold til populationen på de 27 stationer i 1999.

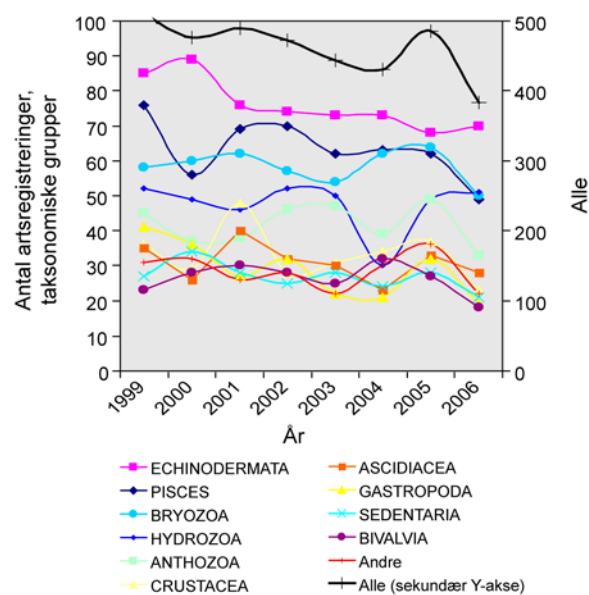
Tidsudviklingen på de 27 stationer har yderligere været undersøgt ved at se antal artsregistreringer pr. år (figur 15.7). For alle grupper er der en nedadgående tendens i undersøgelsesperioden. Imidlertid var der i undersøgelsen i 2006 udskiftning af en mere erfaren faunataksonom med en mindre erfaren. Det har måske haft betydning for det generelt lave artsantal dette år og for tendensen i kurvernes forløb. Hansen & Josefson (kapitel 16) viste nedadgående



Figur 15.6. Artsdækninger 1999 - 2006 på de 27 stationer, der er undersøgt alle otte år. Vist er arter med gennemsnitligt ulighedsbidrag større end 2% i forhold til populationen i 1999. Den enkelte arts gennemsnitlige ulighedsbidrag (%) er vist ud for artsnavnet.

tendenser i artsantal hos blødbundsdyrene i Kattegat i den samme periode. De her fundne resultater stemmer overens med det.

I danske farvande blev *Caryophyllia smithii* (bægerkoral) først set ud for Frederikshavn i 1991 og 1992 samt ved Herthas Flak i 1996 (Tendal 1996, Tendal & Nielsen 1997). I stenrevsundersøgelserne har den siden været set ved Kim's Top i 23 m's dybde i 2006 og i 2007 i det centrale Kattegat. Den har desuden været set ved en anden dykkerundersøgelse på "Krateret" i 27 m's dybde på Groves Flak i den centrale del af Kattegat (Lundsteen m.fl. 2008).



Figur 15.7. Antal registreringer af arter inden for taksonomiske grupper og i alt på sekundære y-akse.

Diskussion og konklusion

De udvalgte faunaaspekter beskriver i kombination væsentlige karakteristika om de enkelte farvande, lokaliteter og stationer og viser de store forskelle, der er mellem mange af vores rev. Således for eksempel:

- Skagerrak-lokaliteterne med Lønstrup Rødgrund og Knudegrund, kun besøgt i 2004, der er meget artsrige med et dyresamfund, der er dominerende allerede på relativt lavt vand og med store dækninger af *Corophium* (slikkrebs), som ikke er set på andre rev i indre danske farvande.
- Nordlige Kattegat, med blandt andet Tønneberg Banke, hvor de algeknyttede dyr findes meget dybt, og hvor *Coryne pusilla* ("lian polyp") synes at være specielt tilknyttet.
- Sydlige Kattegat, med nogle artsrige lokaliteter, heriblandt Schultz's Grund, hvor der er kraftig

græsning af søpindsvin; men samtidig ret store dækninger af *Modiolus modiolus* (hestemusling), *Pomatoceros triqueter* (trekantorm), og *Metridium senile* (sønellike). Endvidere optræder *Eudendrium arbusculum* ("ege trægrenet polyp") som karakterart for dette sted.

- Lillebælt-lokaliteterne, kun besøgt i 2004, hvor artsantal generelt er lavt, og hvor algebæltets dyr, især på Flækøjet, viser meget ringe dybdeudstrækning. Dette er også det eneste sted, hvor de almindelige arter *Obelia geniculata* (knæet klokkepolyp) og *Eucratea loricata* ("busk- mosdyr") viser dækningsdominanser.
- Smålandsfarvandets lokaliteter, hvor artssammensætningen afspejler overgangen til Østersø-lokaliteternes dyresamfund.
- Østersø-lokaliteterne, Stevns Klint og Møns Klint, hvor der er ganske få arter, med dominans af blandt andet *Mytilus edulis* (blåmusling), der her er uden sin hovedfjende *Asterias rubens* (almindelig søstjerne).
- Hertil kommer yderligere mange lokaliteter med hver deres særpræg.

De fundne forskelle i faunasamfundene mellem rev og stationer i danske farvande er generelt i overensstemmelse med ændringer i væsentlige strukturerende faktorer som faldende saltholdighed igennem de danske farvande fra Skagerrak til Østersøen eller fra overfladevand til bundvand samt strømforhold. Forskelle i vandets klarhed, pladskonkurrence mellem planter og dyr og predationspres er andre sandsynlige grunde til de observerede mønstre.

De præsenterede resultaterne kan danne baggrund for mere målrettede statistiske analyser af, hvad der er de væsentligste faktorer for faunasammensætningen. Hvad der dog er klart er, at sådanne analyser mest kan give overordnede årsagssammenhænge, og at dyrenes forekomst i sig selv vedblivende kan fremstå som karakteristika for de enkelte rev og for deres udvikling.

Sammenfatning

- Overordnet, ud fra alle undersøgelserne, viser resultaterne et stor antal dyrearter på Skagerrak-lokaliteterne og på nogle af Bælthavets lokaliteter, mens det er meget lavt på Østersø-lokaliteterne.
- Nøglearters biologiske interaktioner er vist og diskuteret på geografisk skala, således: - søpindsvin med diskussion af deres indvirkning på den øvrige flora - fauna; - biogene rev, dannet af væsentlige forekomster af *Modiolus modiolus* (hestemusling), er især påvist på Schultz's Grund, men arten findes også som dækningsdominerende på Store Middelgrund og ved Vejrø; - fordelingen af *Mytilus edulis* (blåmusling) på stenrev er kontrolleret af søstjernen *Asterias rubens* (almindelig søstjerne) på hovedparten af rev i danske farvande, bortset fra lokaliteter i Østersøen.
- I Kattegat og Bælterne viser undersøgelserne fra 1999 - 2006, at der er ret homogen artssammensætning blandt dyrearterne på det lavere vand og knyttet til algebæltet.
- I dyresamfundet er der konstateret stor diversitet og skift i de dominerende fastsiddende arters dominans ned gennem farvandene.
- Dybdegrænsen mellem de dominerende fastsiddende dyr i algesamfundet og dyresamfundet skifter meget ned gennem farvandene.
- På Østersø-lokaliteterne, Stevns Klint og Møns Klint, viser de få arter ikke dybdedifferentiering.
- De enkelte farvande og de fleste lokaliteter er karakteriseret ved særegne kombinationer af artsforekomster.
- I det store og hele må faunasammensætningen bedømmes at have været stabil i undersøgelsesperioden. Der er dog nogle tegn på en nedgang i artsregistreringerne på 27 stationer, der alle har været undersøgt i perioden 1999 - 2006.

16 Den globale opvarmnings indflydelse på fremtidens iltforhold i de indre danske farvande

Jørgen L.S. Hansen & Jørgen Bendtsen

Introduktion

Iltsvind er et velkendt fænomen i de danske farvande. Hver eneste sensommer og efterår er der områder, hvor iltkoncentrationen er så lav, at havbundens dyresamfund tager skade i et eller andet omfang – eller i værste fald bliver fuldstændigt udslettet, som det fx skete i årene 2002 og 2003, hvor iltsvindet dækkede store områder af de indre danske farvande i månedsvis. Iltsvind er ikke et nyt fænomen, men det er blevet et stigende problem i mange kystnære områder ikke bare i Danmark, men i hele verden på grund af eutrofiering (*Diaz & Rosenberg 2008*). Iltsvind er således generelt blevet betegnet som den største fremtidige trussel mod havbundens biodiversitet (*Gray 2002*). At iltsvind kan være en alvorlig trussel for dyrelivet i de danske farvande fremgår tydeligt, når der eksempelvis driver døde fisk i land, således som det skete langs Jyllands østkyst i 2002 eller i Mariager Fjord i 1997. Men før skaderne bliver så synlige og spektakulære, er der ofte allerede sket betydelige skader på havbundens dyreliv (*Conley m.fl. 2007*).

I Danmark har man kendt til iltsvind i flere årtier, og i enkelte områder har der muligvis været iltsvind i århundreder. Op gennem 1980'erne fik forekomsten af iltsvind større offentlig og politisk bevågenhed. Der var en stigende erkendelse af, at iltforholdene var blevet markant forværrede, og at problemet var koblet til den menneskeskabte eutrofiering af havet. Dette var med til at motivere politisk handling, der blev udmøntet i en række vandmiljøplaner for at forbedre vandmiljøet generelt – herunder iltforholdene i de danske farvande. To årtier senere forekommer der stadig regelmæssigt iltsvind, hvor det iltsvind, der forekom i 2002, måske er blandt de kraftigste nogensinde. Således er der ikke sket mærkbare forbedringer til trods for, at næringsstokoncentrationerne faktisk er blevet reduceret i de danske farvande. De klimatiske forhold spiller en væsentlig rolle for udviklingen af iltsvind, og gradvise klimaændringer vil påvirke hyppigheden af iltsvind i fremtiden (*Hansen & Bendtsen 2006*) og har muligvis allerede gjort det.

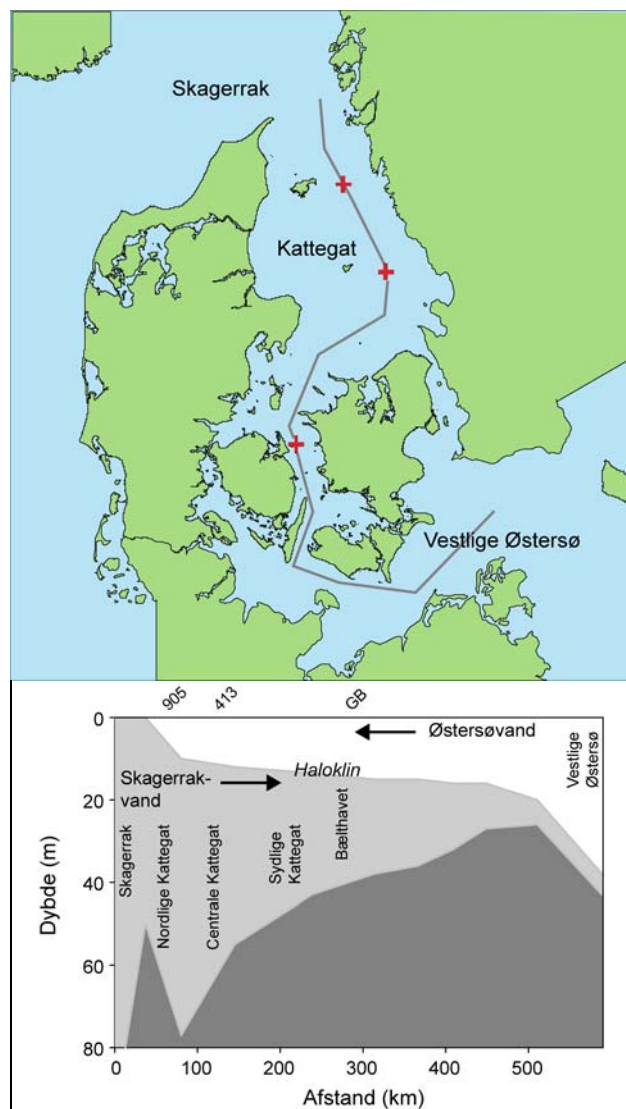
Hvad er iltsvind?

I sammenligning med dyre- og plantelivet på landjorden, som generelt har adgang til rigelige mængder af ilt i atmosfæren, så er der meget lidt ilt til rådighed for de respiratoriske processer i akvatiske miljøer. Dette skyldes, at ilt har en meget ringe opløselighed i vand. I en liter vand er der ca. 9 - 10 mg ilt pr. liter, når vandet er mættet, mens der i en liter luft er ca. 20 gange så meget (og i et kilo luft ca. 20.000 gange så meget ilt som i et kilo vand). Iltsvind – også kaldet hypoxi – beskriver den tilstand, hvor den biologiske respiration er begrænset af iltmængden i vandet, og hvor organismene begynder at dø afhængigt af de enkelte arters tålegrænser.

Iltsvind opstår i sin enkelthed, når iltforbruget i en vandmasse overstiger produktionen af ilt og tilførslen af ilt, når vandsøjlen bliver ventileret med iltrigt vand, der har været i kontakt med atmosfæren. Mængden af organisk stof i vandet, som igen er styret af produktionen og dermed næringsstokoncentrationen, er afgørende for iltforbruget. Men de klimatiske forhold spiller også en vigtig rolle for, om dette medfører iltsvind. Det er således velkendt, at iltsvind i særlig grad udvikler sig i perioder med vindstille og varmt vejr, hvor ventilering af vandsøjlen og dermed tilførslen af nyt iltet vand er ringe. Samtidig betyder den stigende temperatur, at vandet har en mindre kapacitet for at rumme ilt, og effekten forstærkes yderligere af, at organismernes respiratoriske iltforbrug stiger i både vandsøjlen og havbunden, når temperaturen stiger. Tilsammen medvirker disse forhold til, at der hurtigere opstår iltsvind, når vandet er varmt. Netop fordi forekomsten af iltsvind er så tæt koblet til temperaturen, er der grund til at antage, at klimaforandringer i særlig grad vil have indflydelse på iltforholdene i fremtiden.

I dette tema præsenteres en ny iltmodel for de indre danske farvande, som er blevet anvendt til at analysere, hvorledes den globale opvarmning vil påvirke iltforholdene i fremtiden. Præmisserne for modellen er kort beskrevet her, men en mere udførlig beskrivelse kan findes i *Bendtsen m.fl. (2009)* og i *Hansen & Bendtsen (2006 og 2008 indsendt)*. Der fokuseres på forholdene i bundvandet i Kattegat og Bælthavet.

Det skyldes, at dette område er følsomt for at udvikle iltvind, og samtidigt har ildynamikken i dette område betydning for tilførslen af ilt til Østersøen samt for nogle af de tilstødende fjorde. Men selve parameteriseringen af ildynamikken gælder ikke for lavvandede fjorde uden permanent lagdeling.



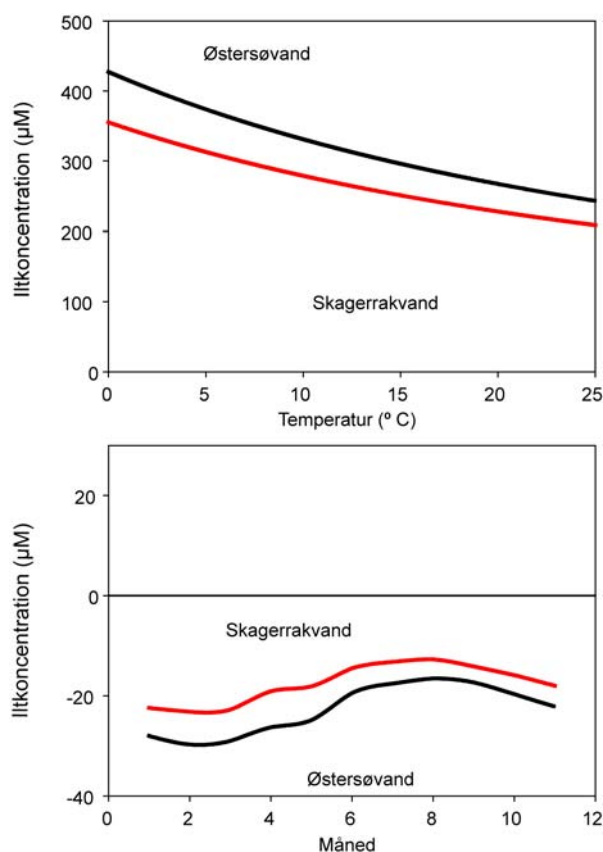
Figur 16.1. Øverst: Transekt gennem de indre danske farvande med positionsangivelse af stationerne 905, 413 og 6700053. Nederst: Tværsnit langs transekt med angivelse af vanddybde og springlag samt afstanden fra fronten angivet i km.

Ildynamik og omsætning af organisk materiale i bundvandet af Kattegat og Bælthavet

Ventilationen af de indre danske farvande

De indre danske farvande ligger i den overgangszone, hvor brakvand fra Østersøen blandes med vand fra Skagerrak. Mødet mellem de to vandmasser skaber en meget kraftig lagdeling af vandsøjlen, hvor det

lette brakvand fra Østersøen bliver lejret over det salte og tunge vand, som strømmer ind fra Skagerrak (figur 16.1). Iltforholdene i Kattegat og Bælthavet er bestemt af dels produktion og forbrug i vandet, af udvekslingen med atmosfæren og af transporterne over randene til Skagerrak og Østersøen. Fotosyntesen er svag i bundlaget, og det antages, at den dertil knyttede produktion af ilt er uvæsentlig for det samlede iltbudget for bundvandet. Ventilationen af bundlaget i de indre danske farvande er reguleret af mængden af iltrigt bundvand, der strømmer ind fra Skagerrak og af nedblandingen af iltrigt vand fra overfladelaget. Temperaturen spiller imidlertid en vigtig rolle, idet mætningsindholdet af ilt falder med stigende vandtemperatur. Dermed transporteres der mindre ilt med havstrømmene, og den samlede transport af ilt til bundlaget i Kattegat og Bælthavet fra Skagerrak bliver mindre, jo varmere vandet er (figur 16.2). Den temperaturafhængige opløselighed af ilt er sammen med sæsonsvingningerne i respirationsraten årsagen til de sæsonsvingninger, der er i iltkoncentrationen.



Figur 16.2. Øverst: Iltindhold (μM) for mættet havvand med en salinitet svarende til Skagerrakvand og Østersøvand mod temperatur. Nederst: Forskellen i den sæsonmæssige udvikling i iltindhold af Østersøvand og Skagerrakvand i et scenarie, hvor temperaturen er 3 grader højere end situationen i dag.

Omsætning af organisk materiale i bundvandet

Respirationen i bundvandet og på bunden er langt overvejende baseret på det organiske materiale, der er produceret i overfladelaget og synker ned i bundlaget i form af **partikulært organisk materiale**, POM. Undersøgelser med sedimentfælder har vist, at det er ca. halvdelen af primærproduktionen i overfladelaget, som synker ned i bundvandslaget (se fx *Olesen & Lundsgaard 1995*) og her bliver lidt over halvdelen respireret i vandsøjlen, mens det resterende bliver deponeret på og i sedimentet, hvor det gradvist bliver omsat, og kun få procent bliver begravet permanent (se fx *Jørgensen & Revsbech 1989*). Dette betyder (lidt forsimplet!), at det samlede iltforbrug pr. kvadratmeter under springlaget på årsbasis gennemsnitligt set modsvarer omkring halvdelen af primærproduktionen.

Der findes en række forskellige estimater af, hvor stor primærproduktionen er i Kattegat og Bælthavet. Estimaterne er baseret på både direkte og indirekte målinger (*Richardson & Christoffersen 1991, Richardson & Heilmann 1995, Graneli 1992, Carstensen m.fl. 2003, Rydberg m.fl. 2006*) med værdier, der ligger mellem 100 og 290 g C m⁻² år⁻¹ (gram kulstof per kvadratmeter pr. år). Variationen afspejler, dels at målingerne er foretaget i forskellige perioder, og dels at nogle studier ikke omfatter alle bidrag til primærproduktionen.

På baggrund af en gennemgang af den relevante litteratur kan der opstilles et kulstofbudget for Kattegat og Bælthavet, hvor primærproduktionen er på 160 g C m⁻² år⁻¹, og hvoraf ca. 78 g C m⁻² år⁻¹ bliver respireret i bundlaget. Det antages, at heraf bliver ca. 45 g C m⁻² år⁻¹ respireret i bundvandslaget, mens de resterende 33 g C m⁻² år⁻¹ bliver omsat mikrobielt og af makrofaunaen i bunden. Omsætningen af organisk kulstof i bundlaget svarer til et årligt iltforbrug på 194 g O₂ m⁻² år⁻¹, idet der antages et støkiometrisk forhold på 1,1 mellem ilt og kulstof.

Modelbeskrivelse af det respiratoriske iltforbrug

Iltforbruget varierer i tid og i rum afhængigt af mængden af omsætteligt organisk materiale, temperaturen og i mindre udstrækning iltkoncentrationen. Herudover kommer det an på hvilke organismer, der er til stede. Dynamikken af iltforbruget i vandsøjlen og i bunden er forskelligt. I vandfasen er det hovedsageligt mindre partikler, som bliver nedbrudt af mikroorganismer, og her er koncentrationen af POM som regel meget mindre end koncentrationen af ilt (undtagen når der er kraftigt iltsvind). Det betyder, at respirationen i de frie vandmasser kun er begrænset af mængden af suspenderet organisk stof og temperaturen (se fx *Sampou og Kemp 1994*). I hav-

bunden bliver det organiske stof respireret af makrofaunaen og mikrobielt. Her er der, i modsætning til vandsøjlen, en stor pulje af organisk stof, mens iltten som regel kun trænger få mm ned i sedimentet, og derfor er iltkoncentrationen begrænsende for respirationen dybere nede. Flere af de større dyr er dog i stand til at ventilere dem selv ved at pumpe vand og er dermed i mindre udstrækning begrænset af diffusiv transport af ilt ned i sedimentet. De er til dels i stand til at kompensere for en faldende iltkoncentration ved at pumpe hurtigere, indtil iltkoncentrationen er så lav, at de bliver passive. Da dynamikken af disse tre dræn er forskellige, er det derfor hensigtsmæssigt at beskrive dem separat i iltmodellen. Det vil sige iltforbruget (S) i en vandmasse kan beskrives ved:

$$S = Pr + Fr + Mr \quad \text{Lign. 1}$$

Hvor hvert af de tre ilt-dræn: Pelagisk respiration (Pr), Makrofauna respiration (Fr) og Mikrobiel respiration (Mr) er beskrevet med en funktion, der er afhængig af temperaturen (T), iltkoncentrationen (O₂), en specifik respirationsrate (R_P, R_F, R_M) og dybden (z):

$$\begin{aligned} Pr &= -f(T)R_P \left(\frac{O_2}{O_2 + k_1} \right) \\ Fr &= -\frac{1}{z} f(T)R_F \left(\frac{O_2}{O_2 + k_2} \right) \\ Mr &= -\frac{1}{z} f(T)R_M \left(\frac{O_2}{O_2 + O_2(100\%)} \right) \end{aligned} \quad \text{Lign. 2}$$

Hvor k₁ og k₂ og er halvmætningskonstanter og O₂ (100%) betegner 100% iltmætning ved temperaturen (T) og temperaturafhængigheden f(T) er eksponentiel, beskrevet med en Q₁₀ værdi ved en referencetemperatur (T_{ref}).

$$f(T) = Q_{10} \exp \left(\frac{T - T_{ref}}{10} \right) \quad \text{Lign. 3}$$

Modelberegning af iltkoncentrationer

Ændringerne i iltkoncentrationen i bundvandet er balanceret mellem det respiratoriske forbrug og tilførslen af ny ilt til bundlaget ved enten advektion fra Skagerrakfronten eller ved blanding af overfladevand ned i vandsøjlen. Denne ventilation af bundvandet kan simuleres som en ventilationsalder ved at anvende et "alderssporstof" i en tredimensionel cirkulationsmodel for området (se *Bendtsen m.fl. 2009*). Alderen beskriver hvor lang tid, der er gået siden

vandmassen var i kontakt med "friskt" og iltrigt vand enten fra overfladen eller ved vand transporteret fra Skagerrakranden. I modellen sættes alderen der til 0 ved overfladen samt i hele vandsøjlen ved den nordlige rand til i Skagerrak. Ved den nordlige front svinger iltmætningen mellem 80% og 110% (overmætning) i løbet af året. Ved overfladen er vandet stort set altid iltmættet på grund af den atmosfæriske kontakt. Når bundvandet strømmer sydpå fra fronten, vil det således blive gradvist ældre. Hvis der sker en blanding af vandsøjlen undervejs, vil dette medføre, at der blandes "ungt vand" ned og ventilationsalderen vil derved blive mindre. Alderen beskriver dermed det effektive tidsrum, hvor der forsvinder ilt fra en vandmasse som følge af respirationen. Iltkoncentrationen kan dermed udtrykkes for en given vandmasse i tid og rum med følgende simple udtryk:

$$O_2(t) = O_2(t_0) - \int_0^a S dt \quad \text{Lign. 4}$$

Ligning 4 beskriver iltkoncentrationen ud fra det samlede iltforbrug over et tidsrum (a), svarende til vandets ventilationsalder fratrasket vandets koncentration ved alderen = 0, som antages at være mættet. Iltmætningen beregnes ud fra iltens opløselighed ved en aktuel temperatur og salinitet.

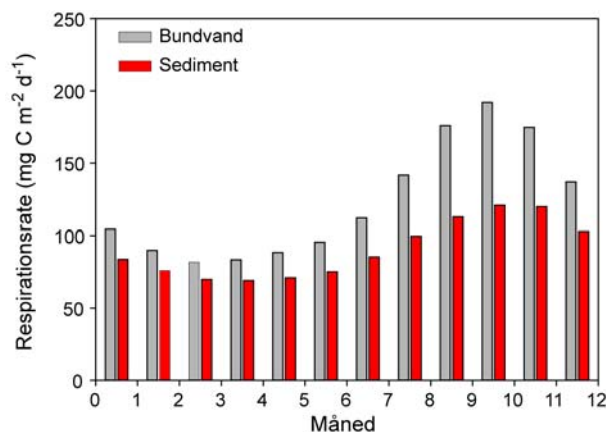
Resultater og diskussion

Kalibrering af modellen til et nutidigt klima

Hvis der omsættes $78 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i et bundvandslag, z, der er 12 m dybt, og hvis det antages, at POM-puljen er konstant, og at temperaturfølsomheden kan beskrives med en Q_{10} -værdi på 3 (se Hansen & Bendtsen 2006), så vil den samlede respirationsrate i bundlaget over året variere mellem $151 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ og $313 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ med en fordeling mellem sediment og vandsøjle, som fremgår af figur 16.3.

Bortset fra at POM-puljen er forhøjet i forbindelse med den meget kraftige sedimentation, som finder sted i forbindelse med forårsopblomstringen, så svarer antagelsen om en konstant fluks fra overfladelaget til bunden nogenlunde til de observationer, der er fra området (Olesen & Lundsgaard 1995). Herudover strider antagelsen om, at puljerne af organisk materiale er konstante mod det faktum, at sedimentationen af organisk materiale til bundlaget varierer i rum (Hansen & Josefson 2003). Men den rummelige variation har sandsynligvis begrænset betydning på grund af intern blanding i bundlaget. Det partikulære materiale synker ret hurtigt og har passeret gennem bundlaget i løbet af 1 - 2 uger, mens vandets opholdstid er 2 - 3 måneder i Kattegat og Bælthavet (figur 16.4). Det betyder, at iltforbruget i en given

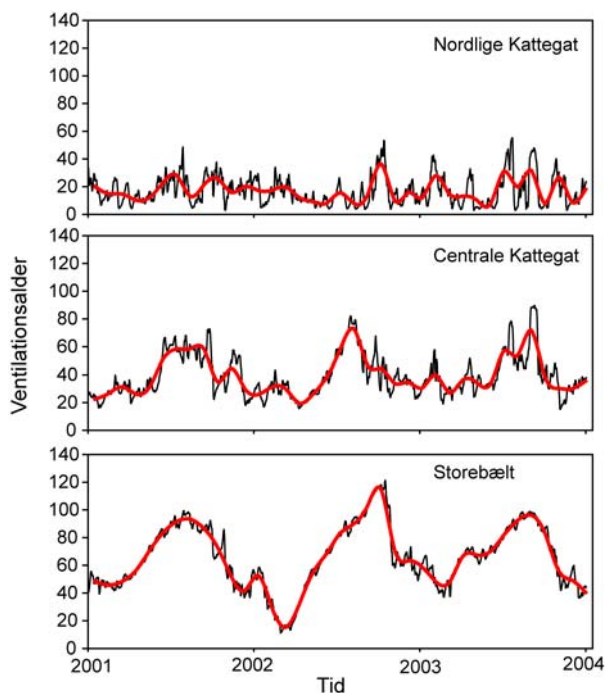
vandmasse i bundlaget vil være påvirket af sedimentationen fra flere forskellige produktionsregimer i overfladelaget. Jo større horisontale vandbevægelser, desto mere vil det samlede iltforbrug i en vandmasse komme til at afspejle de gennemsnitlige forhold.



Figur 16.3. Modelberegning af sæsonvariationen i den gennemsnitlige arealspecifikke respirationsrate i bundvandet i de indre danske farvande (udtrykt i mg kulstof pr. kvadratmeter pr. dag) for henholdsvis en 12 m dyb vandsøjle (grå søjler) og for bunden (røde søjler).

Ventilationen af bundvandet i de indre danske farvande

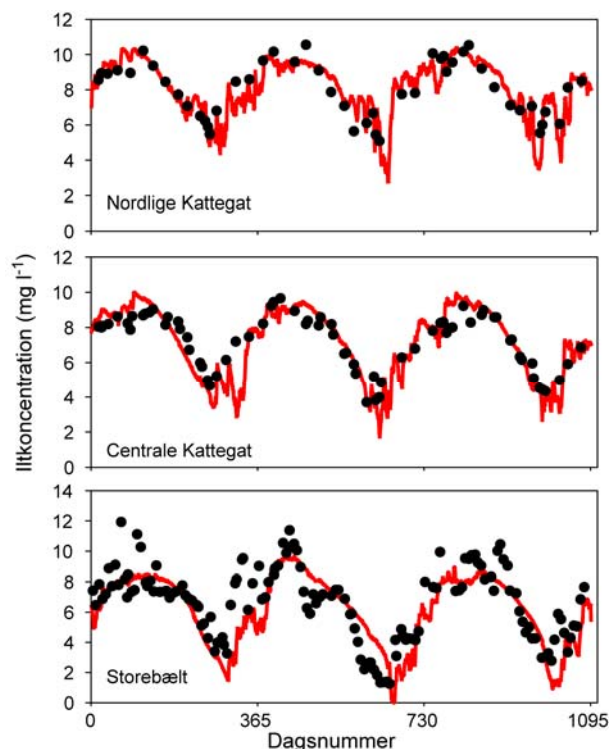
Der er en tydelig sæsonvariation i ventilationsalderen. I perioden 2001 - 2003 ses det, at ventilationsalderen i Storebælt (St. 6700053) varierer fra 90 - 120 dage om sommeren/efteråret til 15 - 40 dage om foråret. Bemærk i øvrigt den store mellemårige variation. Ventilationsalderen er betydelig højere i efteråret 2002, hvilket var sammenfaldende med de ekstremt lave iltkoncentrationer i sensommeren og efteråret 2002. Længere mod nord i det centrale Kattegat ses den samme sæsonvariation, men her er vandet generelt yngre og variationen fra dag til dag er større. Station 905 ligger tæt på Kattegat/Skagerrak fronten, og her er vandet væsentligt yngre, og sæsonvariationen er ringe, mens der er stor variation fra dag til dag (figur 16.4). På baggrund af de variationer, der er i tid og rum i ventilationsalderen på det vand, der bliver advekket fra fronten, kan iltkoncentration bestemmes fra ligning 4. Det ses, at de modelberegnete iltkoncentrationer i perioden 2001 - 2003 er i overensstemmelse med de observerede iltkoncentrationer i bundvandet på de tre lokaliteter langs et transekt fra Skagerrak til Storebælt (figur 16.5). De ekstremt lave iltkoncentrationer i 2002 er også reproduceret af modellen (figur 16.5). Det ses, at de meget lave iltkoncentrationer i 2002 er sammenfaldende med den relativt høje ventilationsalder i den periode, som opstod på grund af det stille vejr i efteråret 2002.



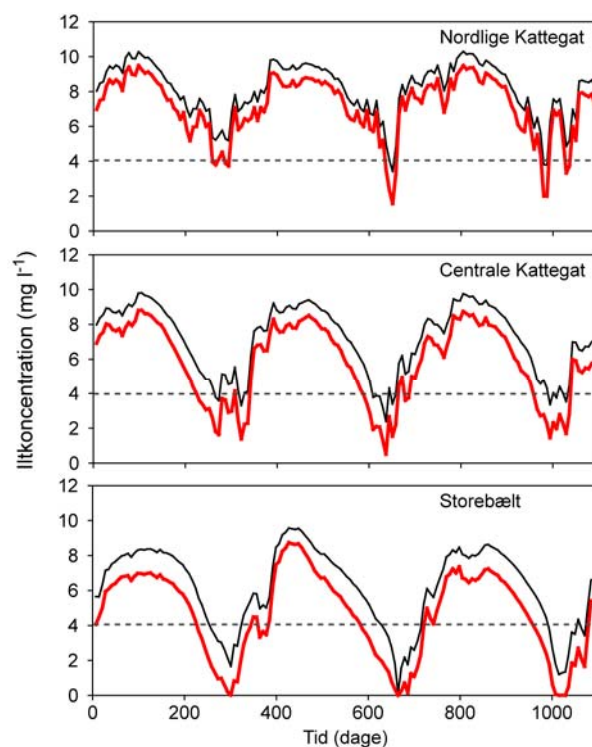
Figur 16.4. Modellerede værdier dag for dag i perioden 2001 - 2003 af middelventilationsalder i 30 meters dybde i det nordlige Kattegat (station 905, øverst), det centrale Kattegat (station 413, midten) og i Storebælt ved Romsø (station 6700053, nederst). Røde kurver angiver løbende middelværdi for en måned.

Modellering af den globale opvarmningseffekt på iltkoncentrationen i bundlaget

Der findes en række forskellige modelscenarier fra IPCC (det internationale klimapanel) for udviklingen i den globale temperatur i løbet af de næste 100 år. Den forventede temperaturstigning vil være mellem 2° og 6° C. Effekterne af en sådan temperaturstigning kan direkte simuleres i den beskrevne model, da der, ud over konkurrencen om partikulært organisk materiale mellem de respiratoriske processer i vandsøjlen og i bunden, ikke er gjort nogen antagelser omkring effekter af en temperaturstigning på økosystemets struktur. Der er andre mulige hydrografiske ændringer, der er styret af klimaet, som kan få stor betydning for ventilationen af bundvandet i fremtiden. Det gælder fx ændringer i vinden og nedbørsmængden over Østersøområdet, som igen har betydning for lagdelingen i de indre danske farvande. Sådanne ændringer er dog mere usikre og er ikke inddraget i analysen. Analysen af klimaforandringerne effekt på iltforholdene, baseret på en temperaturstigning på 3° C, der således ligger i midten af de forskellige scenarier, viser en markant reduktion i iltkoncentrationen.



Figur 16.5. Modelleret iltkoncentration (mg l^{-1}) på 30 meters dybde dag for dag i perioden 2001 - 2003 i det nordlige Kattegat på station 905 (øverst), i det centrale Kattegat på station 413 (i midten) og i Storebælt på station 6700053 (nederst). Den røde kurve angiver modellerede værdier, og punkter er de tilsvarende målte observationer (efter Hansen & Bendtsen 2008).



Figur 16.6. Modelleret iltkoncentration (mg l^{-1}) i et nutidigt klimascenarium (2001 - 2003) svarende til figur 16.5 (sort kurve) og et tilsvarende scenarium, der er 3 grader varmere (rød kurve). Stiplet linje angiver grænsen for iltvind ($< 4 \text{ mg l}^{-1}$).

Hvis temperaturen er 3 grader højere end i nutiden (2001 - 2003), vil iltkoncentrationen i bundvandet være lavere igennem hele året, men reduktionen er dog størst i iltsvindssæsonen fra august til oktober. Herudover er der en stor rumlig gradient gående fra nord mod syd, hvor effekten af temperaturstigningen gradvist stiger, jo længere sydpå i området man kommer og er størst i den sydlige del af Kattegat og i Bælthavet. Grunden til at der er dette mønster er, at ventilationsalderen er højest i den sydlige del af området. Jo højere ventilationsalder, desto længere tid vil en forhøjet respirationsrate forbruge ilt fra en vandmasse. I den nordlige del af området har de stigende respirationsrater ringe indflydelse på iltindholdet i bundvandet. Her skyldes den lavere iltkoncentration næsten udelukkende den lavere opløselighed af ilt (*figur 16.6*). Effekten af stigende temperatur hidrører således fra dels den reducerede opløselighed, som bidrager med den samme reduktion i hele det området, og dels fra det forhøjede biologiske iltforbrug, der kommer tydeligst til udtryk i de områder, hvor ventilationen af bundvandet er ringe og ventilationsalderen dermed er størst.

I det klimascenarie, der er beskrevet ovenfor, svarer omsætning af organisk stof til 125 - 130% af det nutidige niveau. Forudsætningen for at dette kan lade sig gøre er, at produktionen af organisk stof i overfladelaget og eksporten herfra til bundlaget har samme temperaturfølsomhed som respirationsraten, hvilket diskuteres nedenfor. Hvis tilførslerne af næringsstoffer til de indre danske farvande er uændrede i fremtiden, skal næringsstofferne omsættes hurtigere, hvilket kun er realistisk i sommerhalvåret. Det skyldes, at vandsøjens respiration stiger pga. temperaturen. Til gengæld vil der blive tilført mindre organisk stof til bunden, fordi en større andel af det organiske stof bliver respireret væk på vejen ned gennem vandsøjlen. Bundens samlede iltforbrug vil dermed blive mindre, og en større andel af primærproduktion vil blive omsat i vandsøjlen. Selvom der samlet set bliver brugt den samme mængde ilt, så vil iltforbruget dermed blive større i løbet af iltsvindssæsonen. Når temperaturen stiger, vil en større andel af respirationen foregå i vandsøjlen, og en større andel af det samlede iltforbrug vil foregå i den kritiske periode i slutningen af sommeren og efteråret. For økosystemet på bunden, som er det der primært rammes af iltsvind, vil scenariet imidlertid betyde mindre føde i størstedelen af året kombineret med en forøget risiko for iltsvind i perioden august - oktober.

3D-modellering af iltsvindsudbredelsen i fremtiden

Beskrivelsen af iltudviklingen i de indre danske farvande er også blevet foretaget med en 3-dimensionel

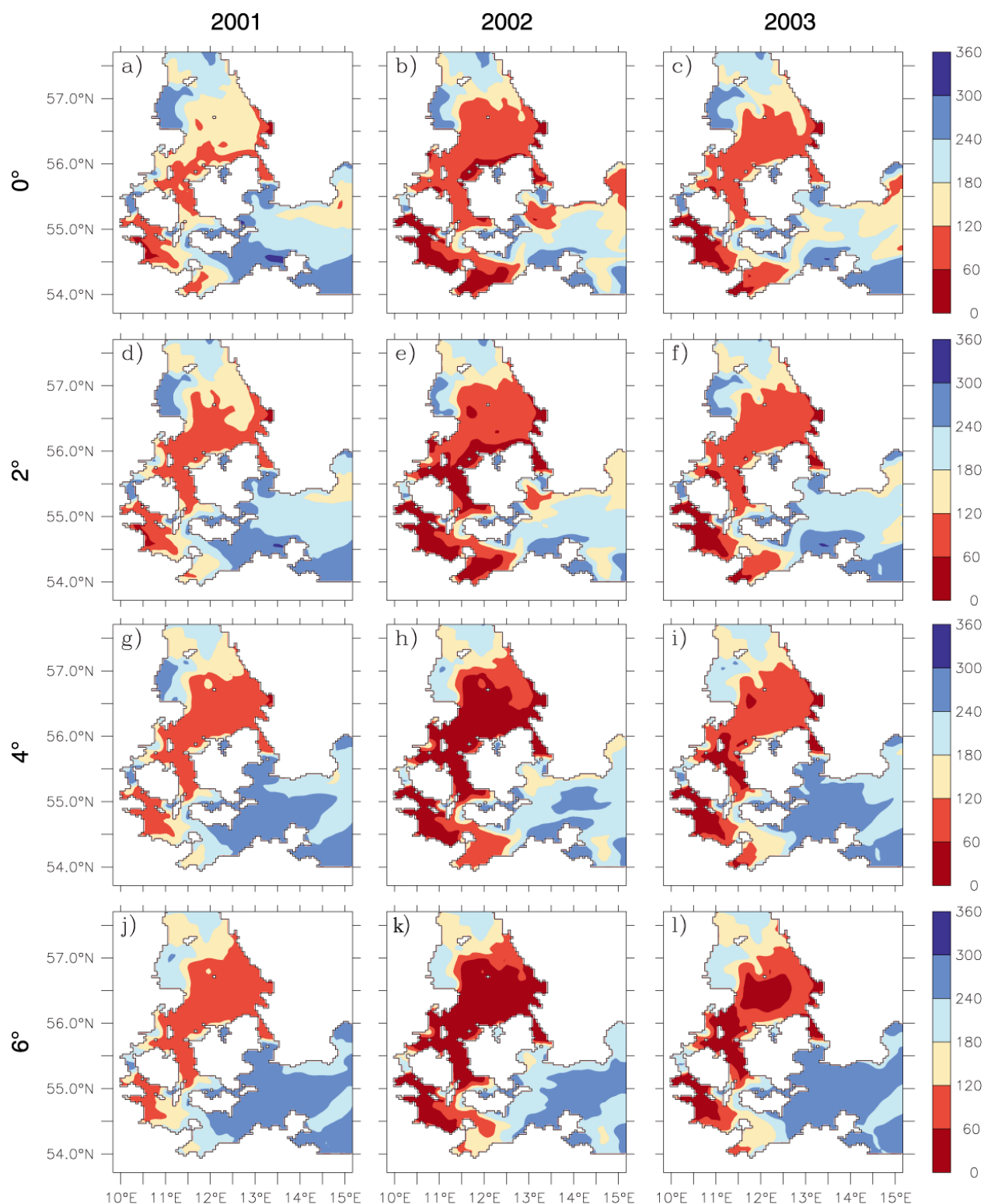
circulationsmodel, hvor de respiratoriske dræn er bestemt på tilsvarende vis som i *ligning 2*. Simulering af iltudviklingen i 3D-modellen er tilsvarende i overensstemmelse med observationer, som det er tilfældet med den enkle iltberegning (*ligning 4*) og som er vist i *figur 16.5*.

3D-modelleringen af iltsvindsudbredelsen for temperaturscenarier svarende til en generel temperaturstigning på henholdsvis 2, 4 og 6 grader er vist i *figur 16.7*, og her er det samtidigt antaget, at den samlede produktion af organisk materiale er konstant. Derfor er omsætningen i sedimentet reduceret med henholdsvis 40 og 80% i scenarierne for en temperaturstigning på hhv. 2 og 4 grader. I scenariet for en 6 graders temperaturstigning antages alt organisk materiale at blive omsat i vandsøjlen, og samtidigt reduceres raterne med 10%. Dermed indebærer de 4 scenarier nogenlunde samme årlige omsætning af organisk materiale.

Resultaterne viser, at forekomsten af iltsvind vil være centreret omkring de samme områder, som rammes af iltsvind i nutiden. Udbredelsen af iltsvindsområderne vil imidlertid være væsentligt større afhængigt af, hvor højt temperaturen vil nå op. I de varmeste scenarier vil iltsvindet dække størstedelen af Bælthavet og store dele af Kattegat i september. Den samlede eksport af organisk materiale fra det produktive overfladelag er tæt koblet til koncentrationen af kvælstof og dermed tilførslen af kvælstof til de indre danske farvande. Det betyder, at temperatureffekten på iltforholdene kan kompenseres, hvis koncentrationen af kvælstof bliver reduceret. Hvis eksempelvis temperaturen stiger 3° C viser beregninger, at der skal ske en modsvarende reduktion i eksportproduktionen på 20 - 30%, hvis iltkoncentrationen skal holdes på et nutidigt niveau (*Hansen & Bendtsen 2008*). Bidraget af kvælstof fra afstrømningen fra landjorden til de indre danske farvande i nutiden er blevet beregnet til ca. 30% af det totale, mens resten importeres med havstrømmene fra de tilstødende havområder og atmosfæren (*Ærtebjerg et al. 2002*). Det betyder, at det næppe vil være realistisk at kunne kompensere fuldstændigt for klimaændringernes effekt på iltforholdene via reduktioner i det landbaserede bidrag. Der skal dog bemærkes, at der samtidigt er betydelig usikkerhed om, hvordan kvælstoftilførslerne til de indre danske farvande vil blive påvirket af de klimaændringer. Der er usikkerhed omkring nedbørsmængderne, som regulerer tilførslen af kvælstof fra land. Ligeledes er der usikkerhed om udviklingen i baggrundskoncentrationen af kvælstof i de åbne havområder (Skagerrak og Nordatlanten), når temperaturen stiger, og da det er herfra størstedelen af kvælstoffet kommer til de indre

danske farvande, er responsen på temperaturstigningen i åbne havområder særdeles vigtig for iltforholdene i de indre danske farvande. Dette gælder dog kun de åbne dele af de indre danske farvande. Fjorde og andre lavvandede kystnære områder med

lang opholdstid af vandet er i mindre udstrækning påvirket af bundvandet fra Skagerrak. Her vil det også i fremtiden være de lokale forhold, der styrer ilt dynamikken, hvor tilførslen af kvælstof fra land er meget vigtig.



Figur 16.7. 3D-modellering af iltkoncentration (i μM) ved bunden i de indre danske farvande i september måned. Venstre, midterste og højre kolonne viser resultater baseret på modelkørsler baseret på meteorologiske data fra henholdsvis 2001, 2002 og 2003. I øverste række er resultaterne baseret på temperaturen i et nutidigt klima, svarende til klimaet 2001 - 2003. I anden, tredje og fjerde række er temperaturen øget med henholdsvis 2, 4 og 6 grader. Respirationsraterne er justeret således, at den samlede respiration svarer til den samme eksportproduktion, som er anvendt i det nutidige scenarium.

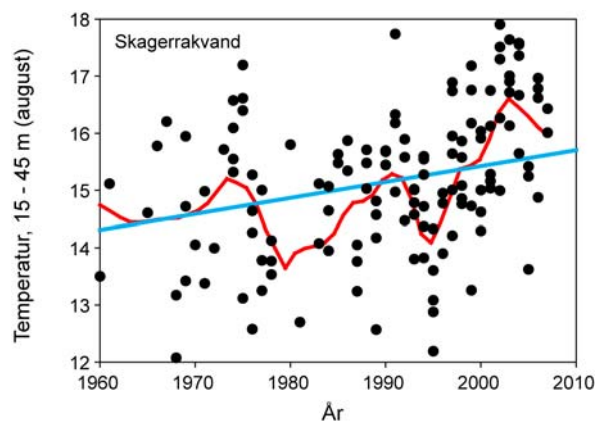
Ændringer i sekundærproduktionen og økologiske konsekvenser

En øget hyppighed af iltvind i fremtiden vil ændre strukturen af det marine økosystem, og ændringerne vil virke tilbage på iltforbruget i vandet. Når fx bundfaunaen bliver udslettet, vil den rådende biomasse medvirke til at forværre iltforholdene på kort sigt. Det samme er tilfældet, når der kommer svovlbrinte op i vandfasen fra sedimentet. På lidt længere sigt vil fraværet af bundfauna betyde, at sedimentet i mindre omfang bliver iltet i løbet af vinteren og foråret, og efterfølgende vil der lettere kunne opstå iltvind. Herudover vil der, som tidligere beskrevet, blive tilført omkring 30% mindre føde til bundfaunaen pga. en hurtigere omsætning i vandsøjlen. Der synes ikke at være nogle oplagte positive feedback-mekanismer i det benthiske økosystem, der kan kompensere for den stigende temperaturs indvirkning på iltet i bundvandet.

Har klimaændringerne allerede haft indflydelse på iltkoncentrationen i de indre danske farvande?

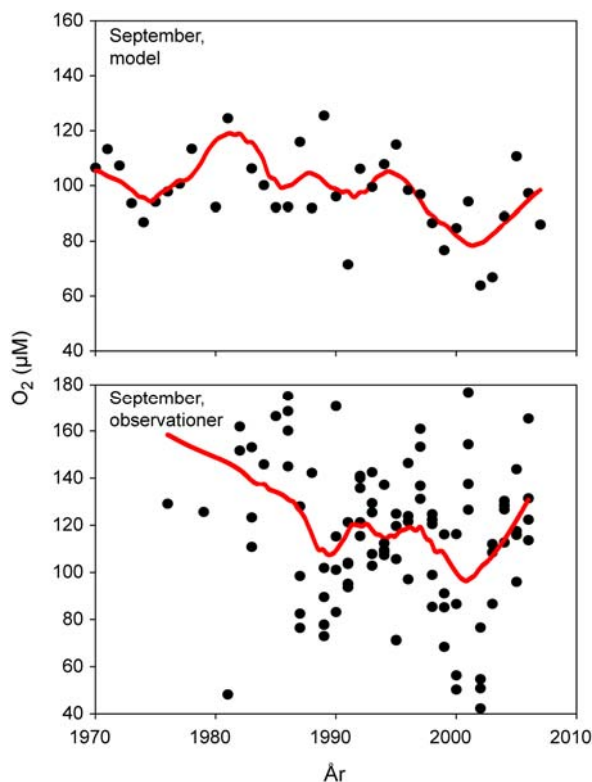
Klimaændringerne har allerede i de seneste år kunne registreres. I løbet af de sidste 40 - 50 år har temperaturstigningsraten været på ca. $0,03^{\circ}\text{C}\ \text{år}^{-1}$, hvilket svarer nogenlunde til den globale temperaturstigningsrate. Der har dog forekommet store mellemårige variationer og variationer over dekader i temperaturen. I de seneste år er vandtemperaturen i de indre danske farvande steget meget hurtigt med en samlet stigning på hele 1 - 1,5 grader i løbet af de sidste 20 år. Det ses i området omkring Kattegat-Skagerrak fronten, hvor temperaturen har ændret sig markant i de sidste 40 år (figur 16.8). Der har været flerårige perioder, hvor vandet har været relativt koldt i 1978 - 1987 og igen i perioden 1994 - 1998. Tilsvarende var vandet meget varmt i perioden 1972 - 1977, fra 1989 - 1993 og i særdeleshed i perioden fra 2000 - 2006. I sidstnævnte periode var temperaturen 2,5 - 3 grader varmere end den kolde periode i midten af 1980'erne.

Temperaturen i den seneste meget varme periode svarer til den gennemsnitstemperatur, der forventes om ca. 30 - 40 år som følge af den globale temperaturstigning. Dermed kan forholdene under denne meget varme periode give et fingerpeg om, hvilke effekter der kan forventes på iltforholdene.



Figur 16.8. Langtidsudviklingen i temperaturen i 15 - 45 m's dybde i august nord for Skagerrak fronten (station 1004 og 1007). Data fra juli, august og september normaliseret til middelværdien for august. Rød kurve angiver trenden (loess smoothing - tension 0,3). Blå kurve angiver lineær regression (hældning $0,027\ \text{år}^{-1}$).

På baggrund af temperaturudviklingen igennem de sidste 30 år er iltkoncentrationen blevet beregnet under den antagelse, at omsætningen af organisk kulstof har været konstant omkring $78\ \text{g C m}^{-2}\ \text{år}^{-1}$ i hele perioden, og at de klimatiske forhold hvert år har været som i perioden 2001 - 2003 (dvs. at ventilationsalderen gennem sæsonen svarer til gennemsnittet for perioden 2001 - 2003). Disse beregninger viste, at den generelle temperaturstigning igennem de sidste 30 år svarer til et fald i iltkoncentrationen på ca. $30\ \mu\text{M}$. I begyndelsen af 1980'erne var iltkoncentrationen i Bælthavets bundvand i september ca. $110 - 120\ \mu\text{M}$, mens den ved årtusindskiftet var faldet til ca. $70 - 80\ \mu\text{M}$. I de to år 2002 og 2003, hvor bundvandet var meget varmt, var den forventede iltkoncentration i hele bundvandslaget på kun $60\ \mu\text{M}$ (svarende til $2\ \text{mg l}^{-1}$). Den modellerede trend af iltkoncentrationen i bundvandet svarer til den tilsvarende observerede iltkoncentration omend år til år variationerne er større (figur 16.9).



Figur 16.9. Historiske iltkoncentrationer i bundvandet i Bælt-havet i september modelleret med en simpel ventilationsmo-del (jf. *ligning 4*) på baggrund af temperaturer i 15 - 45 m's dybde nord for Skagerrak fronten i juli - august og september (øverst) og de tilsvarende målte iltkoncentrationer i bundvan-det i Bælt-havet (nederst). Røde kurver angiver trenden (loess smoothing).

Dette betyder, at en stor del af den reduktion, der er sket i iltkoncentrationen efter 1980 og frem til i dag, kan forklares af den temperaturstigning, der er sket i samme periode. Dermed er der indikationer for, at klimaændringer allerede på nuværende tidspunkt har haft betydende indflydelse på iltforholdene. Hertil kommer at den generelle lagdeling af vand-søjlen blev styrket i perioden fra 1994 - 2004 i Bælt-havet (*Hansen m.fl. 2009*) hvilket har bidraget til en ringere ventilation af bundvandet og dermed dårligere iltforhold. Den klimabetingede reduktion i ilt-koncentrationen er dermed potentielt større end de 30 μM , som alene er et resultat af temperaturen. I den samme periode er næringsstofkoncentrationer-ne faldet i de åbne farvande, og den generelle ilt-koncentration burde dermed være steget. Der er

derfor indikationer for, at den manglende effekt af vandmiljøplanerne på iltforholdene skyldes, at kli-maændringerne i samme periode har haft en mod-satrettet virkning. De resultater, der er præsenteret her, er foreløbige. En mere præcis beregning af den reduktion i iltkoncentrationen, som skyldes klima-ændringerne, kræver, at der bliver taget højde for, hvordan vejret var år for år i de sidste 30 - 40 år i forhold til ændringer i næringsstoffilførslerne. Et synes dog sikkert: De implicite præmisser for vand-miljøplanernes effekt, nemlig at vejret ville vedblive med at være det samme, har ikke holdt stik, og den forventede bedring af iltforholdene er bl.a. derfor endnu ikke indtrådt.

Konklusioner

- Den udviklede model beskriver den sæsonmæs-sige og regionale ildynamik i relation til tempe-raturen. I denne skala er de væsentligste usik-kerheder knyttet til størrelsen af primærproduk-tionen og de feed-back mekanismer, som opstår, når kraftigt iltsvind ændrer den økologiske struk-tur i havet i de efterfølgende år.
- I løbet af dette århundrede forventes der en ge-nerel temperaturstigning på mellem 2 og 6 grader, hvilket alt andet lige vil føre til markant lavere iltkoncentrationer i bundvandet i de indre danske farvande.
- Hvis eutrofieringsniveauet i fremtiden fastholdes på det nuværende niveau, vil en temperaturstig-ning på 3 grader medføre en reduktion i iltkon-centrationen i bundvandet på ca. 1 mg l^{-1} i sep-tember.
- Den lavere iltkoncentration skyldes dels en lavere opløselighed af ilt ved høje temperaturer, og dels at respirationen i højere grad kommer til at fore-gå i vandsøjlen og i den periode på året, hvor ilt-koncentrationen er lavest.
- I de seneste år har temperaturen i bundvandet i de indre danske farvande været markant højere end i midten af 1980'erne. I samme periode som temperaturen steg, faldt iltkoncentrationen. Tem-peraturstigningen kan muligvis forklare, hvorfor iltforholdene ikke er blevet bedre, til trods for at næringsstofkoncentrationen gradvist er faldet i de indre danske farvande.

Del 4 – Sammenfattende diskussion

De danske farvande ligger i overgangszonen mellem den brakke Østersø og den salte Nordsø. Det giver meget forskellige marine økosystemer, der spænder fra små lukkede nor med stillestående vand med 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, skibstrafik, ral- og sandsugning, brobyggeri 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 effektmonitering.

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 det dækker såvel påvirkninger som miljø- og naturforholdene i bredeste forstand.

Den viden, som dokumenteres i kraft af overvågningsprogrammet, er helt afgørende for den kontinuerede 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 2007 samt udviklingen siden vedtagelsen af Vandmiljøplan I. Årsagerne til den nuværende miljø- og naturtilstand i de marine områder diskuteres.

17 Tilstand og udvikling

Alf Josefson & Karsten Dahl

Sammenfatning

Den følgende sammenfattende beskrivelse af miljø- og naturtilstanden i de marine områder giver et landsdækkende billede af situationen i 2007 samt udviklingen siden iværksættelsen af Vandmiljøplan I.

Vejrforhold og hydrografi

Årsmiddeltemperaturen i de danske farvande er steget ca. 1° C i de sidste 40 år og i 2007 var temperaturen den hidtil varmeste i både overflade- og bundvand. I fjordene og i de åbne farvandes overfladelag var det især i forårshalvåret, at temperaturen var stærkt forhøjet som følge af et usædvanligt varmt og solrigt forår. Bundvandet i de åbne farvande var derimod ca. 2° C højere igennem hele året i forhold til normalen for perioden 1961 - 1990.

Den modellerede nettoudstrømningen fra Østersøen var i 2007 på 671 km³. Det er den største mængde, der er estimeret i de 4 år modelleringen har fundet sted og ca. 30% større end gennemsnittet for perioden. 300 km³ – svarende til næsten halvdelen af årets udstømning – fandt sted over tre uger fra 21. januar til medio februar. Den exceptionelt store udstømning fandt sted efter omfattede indtrængning af vand til Østersøen helt tilbage fra slutningen af oktober 2006 og frem til 21. januar 2007.

Næringsstoffertilførsler og -koncentrationer

Ferskvandsafstrømningen til de indre farvande var væsentligt over normalen i årets tre første måneder samt i juli. Resten af året lå afstrømningen omkring gennemsnittet. I alt var afstrømningen ca. 36% større end gennemsnittet for perioden 1989 - 2006. Som en konsekvens af den øgede afstrømning, var tilførslerne af kvælstof fra ferskvandskilder væsentligt højere end normalen i den samme periode. Tilførslen fra ferskvandskilder i de øvrige måneder lå nær gennemsnittet for perioden 1989 - 2006.

Udviklingen af kvælstofudledning uden korrektion for variationen i ferskvandsafstrømningen udviste ikke nogen signifikant tendens i perioden 1989 - 2007, mens fosforudledningen er faldet signifikant frem til midten af 1990'erne. Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen faldet ca. 40% og fosforudledningen ca. 75%

fra 1989 til 2000 med en stabilisering derefter for begge næringsstoffer.

Kvælstofkoncentrationerne i fjorde og kystnære områder var i vinteren 2007 høje grundet den store afstrømning fra land. Den store afstrømning i sommermånederne havde en mindre effekt på kvælstofkoncentrationerne.

Kvælstof- og fosforkoncentrationerne udviser klare faldende tendenser siden 1989, især når der tages højde for år til år variationerne i ferskvandsafstrømningen. Denne udvikling tilskrives i stor udstrækning Vandmiljøplan I for fosfor og Vandmiljøplan I og II for kvælstof. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats, og tilsvarende initiativer i vore nabolande kan have medvirket til de lavere koncentrationer i de åbne farvande. Faldet i koncentrationerne viser dog en tendens til stagnation for fosfor efter 1997 og faldet er mindsket for kvælstof siden 2002.

Koncentrationerne af uorganisk fosfor og silicium i de indre danske farvandes bundlag er steget i de senere år. Årsagen kan være øget kvælstofbegrænsning af primærproduktionen og dermed mindre forbrug af de pågældende stoffer, øget frigivelse fra sedimenterne samt ændrede forhold mellem næringsstofferne i Østersøen og måske også i Nordsøen. Den høje afstrømning i 2007 kan også have bidraget til stigningen.

Planktonalger og sigtgybde

Det varme vand, den store indstråling og de mange næringsstoffer i marts og april afstedkom en usædvanlig høj forårsopblomstring i marts måned. Klorofylkoncentrationerne i åbne farvande var de højeste, der er målt siden overvågningen begyndte i 1989, men også i fjordene var værdierne meget høje.

Sigtgybden var hele året usædvanlig lav både i de åbne farvande og i fjordområderne. Den gennemsnitlige årsværdi for sigtgybderne i de to farvandstyper var den ringeste siden vandmiljøplanernes start i 1989.

År til år variationen i biomassen af kiselalger i fjorde og kystnære områder har varieret siden 1989 uden en overordnet tendens til stigning eller fald for samtlige områder betragtet under et. I de østjyske fjorde og kystnære områder er biomassen af kisel-

alger derimod steget signifikant siden 1989. I de åbne havområder er biomassen af kiselalger korreleret med variationer i afstrømningen og er faldet fra 1979 til 2007 i takt med generelt aftagende næringsstofftilførsler. Både den observerede og den klimakorrigerede kiselalgebiomasse er faldet signifikant siden 1979. For perioden efter 1986 er der dog ikke tale om signifikante fald i biomassen.

I de åbne havområder er biomassen af dinoflagellater faldet signifikant siden slutningen af 1980'erne.

Marts 2007 var præget af store mængder af den fisketoksiske flagellat *Chattonella* sp. (= *Verrucophora farcimen*) i Kattegat og Lillebæltsområdet, uden at der dog blev observeret effekter på fisk. Der blev ligeledes konstateret høje koncentrationer af dinoflagellater af slægten *Dinophysis* og kiselalgeslægten *Pseudo-nitzschia* i nogle farvandsafsnit i 2007. Begge arter kan producere toksiske stoffer, der kan akkumuleres i skaldyr.

Iltsvind

Ilthforholdene i 2007 var knap så dårlige i kystområderne og i de lukkede fjorde sammenlignet med tidligere års observationer. Iltsvind opstod usædvanlig tidligt i Limfjorden, men relativt kraftige vindhændelser optrådte tilpas hyppigt hen over sommeren og sensommeren til at ilte bundvandet i de lavvandede kystområder og fjorde. Områder med kraftigt iltsvind og varigheden af kraftigt iltsvind var derfor mere begrænset end i de foregående år.

De åbne farvande var ramt af udbredt iltsvind igennem længere tid, men iltkoncentrationerne nåede kun ned i det mest kritiske område under 2 mg O₂ l⁻¹ enkelte steder i Kattegat og Bælthavet og i områder som Ærøbassinet og Arkonabassinet, som er særlig udsatte områder. De dybe dele af Øresund var ramt af et moderat iltsvind, der varede i 6 måneder, en varighed som ikke tidligere er observeret.

Bundvegetation og bunddyr

Sammenfattende viste vegetationen følgende udvikling gennem perioden 1989 - 2007:

Der er ingen generel fremgang i ålegræssets dybdeudbredelse og dækningsgrad. Yderfjordene har oplevet en stigning i dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse, hvorimod ålegræssets dækningsgrad er reduceret i inderfjordene og i Limfjorden. Dækningsgraden på lavt vand (1 - 2 m) er også reduceret i yderfjordene og langs de åbne kyster.

Den samlede dækning af makroalger i 2007 på dybere dele af udvalgte stenrev i de åbne dele af Kattegat var ringere end gennemsnittet for perioden 1994 - 2001 på de fleste undersøgte stationer, men forskellen var ikke signifikant. 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.

Artsrigdommen af bundfauna i de åbne dele af Kattegat og Bælthavsområdet er gradvist blevet reduceret siden starten af 1990'erne og har de sidste 4 år været omkring halvdelen af niveauet i midten af 1990'erne. Artsrigdommen på prøveniveau i 2007 er den næstlaveste, der er registreret i Kattegat og Bælthavet. I perioden fra 1994 til 2007 er tætheden af dyr i Kattegat, Øresund og Bælthavet faldet med ca. 50%.

På trods af faldet i tæthed ses der ikke nogen tydelig udvikling i biomassen gennem de sidste 14 år. På de tre langtidstationer har biomassen ligget meget lavt de sidste 10 år.

Beregning af miljøkvalitetsindekset, DKI, viser en generel forringelse i bundfaunasamfundet i de åbne dele af Kattegat i perioden 1994 - 2007. I 2007 nåede den økologiske tilstand for området som helhed ned på "*moderat økologisk tilstand*", mens tilstanden i de foregående 13 år har været mindst "*god tilstand*" ifølge vandrammedirektivet.

Miljøfarlige stoffer

Koncentrationer af metaller i blåmuslinger og fisk vurderet efter SFT 1997 klassificeringssystemet er generelt omkring baggrunds niveauet. Metaller i sedimentprøver fra det regionale overvågningsprogram (DEVANO) vurderes efter SFT 2007 klassificeringssystemet generelt at være i "*god tilstand*". Kalvebod, Sorterende og Stålvalseværket skiller sig ud som "*dårlig*" til "*meget dårlig tilstand*" for enkelte eller alle metaller. OSPAR's QSR 2010 vurderingsystem giver et mere rødt billede - dvs. dårligere tilstand. De fleste middelværdier er under EAC, undtaget cadmium. OSPAR QSR 2010 tidstrendanalyse viser stigende niveauer af bly og cadmium i Roskilde Fjord og cadmium i Vadehavet, men en faldende tendens af cadmium i Randers Fjord. For de andre områder er der ingen udvikling gennem perioden.

For de "almindelige" NOVA/NOVANA miljøfarlige stoffer er det fortsat TBT, som konsekvent overskrider EAC-grænsen. Enkelte PCB'er og PAH'er giver også anledning til overskridelser af EAC-

grænser i visse områder. Hvor der findes tidlig udvikling for disse organiske forureninger, er den faldende. Total PAH-niveauet i muslinger er også acceptabelt mange steder i forhold til OSPARs kriterier (OSPAR 2008), men op til markant forurenet efter de norske SFT-kriterier (SFT 1997).

Der er ingen overskridelser af fødevarekrav for dioxin, furaner og co-planare-PCB'er i muslinger, men kan ikke vurderes for fisk, eftersom der ikke måles for dioxiner. For Kalvebod i Københavns Havn er der problemer med PAH'en benz(a)pyren i forhold til fødevarekravene.

Undersøgelser af den lysosomale membranstabilitet i blåmuslinger viser, at muslinger i 39% af de undersøgte kystnære områder er påvirket af miljøfarlige stoffer. De fundne effekter synes især at skyldes forhøjede niveauer af organiske miljøgifte som PAH og PCB.

Undersøgelserne af ålekvabbe har vist betydelige forskelle i påvirkningsgrad mellem områder, både mht. CYP1A enzymaktivitet og forekomst af misdannede unger. De højeste effektniveauer forekommer oftest i kystnære områder, hvor der generelt er en øget belastning med organiske miljøfarlige stoffer som PAH og PCB, men også andre organiske miljøfarlige stoffer og tungmetaller.

Diskussion

Multiple regressionsanalyser har påvist, at iltindholdet i sommer-efterårsperioden i fjorde og kystvande afhænger af kvælstoftilførslen i det forudgående hydrologiske år (juli året før til juni samme år) og af vindstyrken i juli - september samme år. I de åbne indre farvande afhænger iltindholdet i sommer-efterår af kvælstoftilførslen i det forudgående hydrologiske år, indstrømning af bundvand i maj - september og temperaturen i det indstrømmende vand fra Skagerrak i januar - april (Conley *m.fl.* 2007).

Den usædvanlig store afstrømning fra november 2006 og helt frem til marts 2007 medførte, at meget store mængder kvælstof og til dels også fosfor blev tilført de danske havområder hen over vinteren. En tilsvarende regnfuld juni måned medførte også en stor næringsstoftilførsel fra ferskvandskilder midt på sommeren.

De store næringsstoftilførsler kombineret med rekordhøj solindstråling og høje vandtemperaturer i forårshalvåret i de kystnære områder og overfladelaget i de åbne farvande samt i bundlaget hele året

førte allerede tidligt på året til forudsigelser om alvorlige iltsvindsproblemer senere på året.

Målinger viste også meget høje klorofylkoncentrationer både i marts og juli måned i alle farvandstyper samt usædvanligt tidligt iltsvind i Limfjorden.

Hyppige hændelser med kraftige vindforhold hen over sommeren og sensommeren medførte, at iltsvindet ikke udviklede sig som forventet. Selv om iltkoncentrationerne var lave i lang tid i det sydlige Kattegat, var områderne berørt af alvorligt iltsvind væsentligt mindre end i de foregående år. En hypotese er, at den meget store udstrømning af vand fra Østersøen i januar - februar har haft en indflydelse på de næringsstoffer, som reelt var tilgængelige for forårsopblomstringen. Det estimerede volumen vand, der strømmede gennem bæltene, var ca. 40% større end overfladevolumenet i Kattegat. En så omfattende gennemstrømning af de åbne indre danske farvande kan have fortyndet koncentrationerne af de tilførte næringsstoffer, inden forårsopblomstringen af plankton satte i gang. Effekten af gennemstrømningen kan dog ikke ses i form af faldende næringssaltkoncentrationer i overfladelaget på udvalgte målestationer i danske farvande efter hændelsen. En øget fokusering i fremtiden på at opnå viden om både vand- og stoftransporter samt biotilgængeligheden af næringsstoffer for det biologiske system vil være meget formålstjenligt med henblik på at øge vidensgrundlaget for miljøtilstandsvurderingen i de indre danske farvande.

På trods af at sigtddybden var usædvanlig ringe i størstedelen af året - både i åbne og lukkede farvande - var der ikke signifikant nedgang i makroalgernes samlede dækning på rev i Kattegat og ålegræssets udbredelse i kystnære områder. Den rekordhøje solindstråling i foråret kan have kompenseret for den reducerede lysnedtrængning gennem vandsøjlen, da det er påvist, at denne faktor også er væsentlig for makroalgernes dybdeudbredelse på rev i Kattegat (Dahl & Carstensen 2008).

Bundfaunaens artsrigdom i de åbne, indre farvande er i 2004 - 2007 halveret i forhold til 1994, og tætheden af dyr er faldet med 25 - 50% i samme periode. Årsagen til den faldende diversitet og generelt ringere tilstand af bundfaunaen er ukendt, men er ikke relateret til dårlige iltforhold.

Tilstanden i vigtige biologiske kvalitetselementer og iltforholdene i de indre farvande viser ikke den generelle forbedring, man ville forvente ud fra de generelt markante nedgange i næringsstofudled-

ninger og -koncentrationer, der har fundet sted siden begyndelsen af 90'erne.

Det pelagiske system med dets korte generations-tider reagerer hurtigt på ændrede næringsstofbetingelser. Men planktonalgeproduktionen, sigtddybden og ålegræssets dybdeudbredelse er langt fra at være tilbage på 1960'ernes niveau. De manglende forbedringer kan skyldes forskellige forhold. En mulig faktor er fiskeri, ikke bare gennem ændring af fødenettens struktur, men også gennem mekanisk påvirkning, der måske er medansvarlig for bundfaunaens dårlige tilstand i det nordlige og østlige Kattegat, hvor der ikke forekommer iltsvind.

Der er i mange områder problemer med forhøjede niveauer af en række miljøfarlige stoffer. Det gælder tungmetallerne kviksølv, cadmium og kobber, tjærestofferne PAH (især anthracen) og for miljøfremmede stoffer især TBT og PCB. Biologiske effekter af miljøfarlige stoffer er påvist i mange områder, især hormonforstyrrelser i havsnegle forårsaget af TBT, men 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 give effekter på 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, at tilgængeligheden af farlige stoffer er afhængig af det miljø, de udledes til (fx graden af eutrofiering), og at indirekte effekter kan have stor betydning for såvel den langsigtede planktoniske produktivitet, som for artsdiversiteten af både flora og fauna. 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. I de seneste år har temperaturen i bundvandet i de

indre danske farvandet været markant højere end i midten af 1980'erne. I samme periode som temperaturen steg, faldt iltkoncentrationen. Temperaturstigningen kan delvist forklare, hvorfor iltforholdene ikke er blevet bedre, til trods for at næringsstofkoncentrationen gradvis er faldet i de indre danske farvande. Effekten af den globale opvarmning på iltforholdene i de danske farvande er nærmere behandlet i kapitel 16, hvor der gives prognoser for udvikling og omfang af iltsvind ved en fortsat opvarmning i de næste årtier. Et scenarie viser, at der i løbet af dette århundrede kan forventes en generel temperaturstigning på mellem 2 og 6 grader, hvilket vil føre til markant lavere iltkoncentrationer i bundvandet i de indre danske farvande. Selvom eutrofieringsniveauet 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. Den lavere iltkoncentration skyldes dels en lavere opløselighed af ilt ved høje temperaturer og dels at respirationen i højere grad kommer til at foregå i vandsøjlen og i den periode på året, hvor iltkoncentrationen er lavest.

Sammenfattende er ændringerne i de marine økosystemer og de fortsatte påvirkninger så store, at det ikke kan forventes, at systemerne vender tilbage til en tidligere observeret tilstand ved blot at fjerne én af påvirkningerne, fx næringsstofudledningerne. Selvom man mindsker de væsentligste påvirkninger, viser nyere forskning, at komplekse marine økosystemer ikke nødvendigvis vender tilbage til den oprindelige tilstand, men følger andre veje mod en ny balance. Og det kan tage mange år, før denne nye balance opnås. Fortsat global opvarmning kan dog forhindre eller forsinke, at tidligere tilstand opnås.

Konklusioner

- Årsmiddeltemperaturen i de danske farvande er steget ca. 1° C i de sidste 40 år og i 2007 var temperaturen den hidtil varmeste i både overflade- og bundvand. Bundvandet i de åbne farvande var ca. 2° C højere igennem hele året i forhold til normalen for perioden 1961 - 1990.
- Ferskvandsafstrømningen til de indre farvande var væsentligt over normalen i årets tre første måneder samt i juli. Tilsvarende var afstrømningen i november og december 2006 også rekordstor. Som en konsekvens af den øgede afstrømning var tilførslerne af kvælstof fra ferskvandskilder væsentligt højere end normalen i den samme periode.

- Korrigeret for variationer i ferskvandsafstrømningen er kvælstofudledningen faldet ca. 48% og fosforudledningen ca. 68% fra 1990 til 2007.
- Kvælstof- og fosforkoncentrationerne udviser klare faldende tendenser siden 1989. Denne udvikling tilskrives i stor udstrækning Vandmiljøplan I for fosfor og Vandmiljøplan I og II for kvælstof. Der er altså en tydelig positiv effekt af den danske indsats. Faldet viser dog en tendens til stagnation for fosfor efter 1997 og er mindsket for kvælstof siden 2002.
- Den store udledning af næringsstoffer i marts og april afstedkom en usædvanlig høj forårsopblomstring af planktonalger i marts måned. Klorofylkoncentrationerne i åbne farvande var de højeste, der er målt siden overvågningen begyndte i 1989, men også i fjordene var værdierne meget høje.
- Sigtdybden var hele året usædvanlig lav i alle farvande og den ringeste siden vandmiljøplanernes start i 1989. På trods af generelt faldende koncentrationer af næringsalte er der ingen tegn på forbedringer i sigtdybden siden 1989.
- Høje koncentrationer af den fisketoksiske flagellat *Chattonella* sp. blev observeret i Kattegat og Lillebæltsområdet i marts 2007, uden at der dog blev observeret effekter på fisk. Der blev ligeledes konstateret høje koncentrationer af de potentielt toksiske *Dinophysis* og *Pseudo-nitzschia* i nogle farvandsafsnit i 2007.
- Iltforholdene i 2007 var knap så dårlige i kystområderne og i de lukkede fjorde sammenlignet med tidligere års observationer, sandsynligvis pga. hyppigt forekommende kraftige vindhændelser der iltede bundvandet i disse områder. De åbne farvande var ramt af udbredt iltvind igennem længere tid, men iltkoncentrationerne nåede kun ned i det mest kritiske område under 2 mg O₂ l⁻¹ enkelte steder.
- Status for bundvegetation udviste ingen signifikant forandring sammenlignet med tidligere år.
- Den lokale artsrigdom af bundfauna i de åbne dele af Kattegat og Bælthavsområdet er gradvist blevet reduceret siden starten af 1990'erne og har de sidste 4 år været kun ca. halvdelen af niveauet i midten af 1990. I 2007 var artsrigdommen den næstlaveste, der er registreret. Samtidig er tætheden af dyr faldet med 50%. Bundfaunaens status målt ved DKI-indekset er i 2007 ændret fra *god* til *moderat* økologisk tilstand ifølge vandrammedirektivet.
- For miljøfarlige stoffer er det fortsat TBT fulgt af enkelte PCB'er og PAH'er, som giver anledning til overskridelser af EAC-grænser. I de tilfælde hvor der findes data, der beskriver en tidlig udvikling for organiske forureninger, er koncentrationen faldende. TBT er stadig et problem med klassifikationen *meget stærkt forurenet* i alle områder. Der er ingen overskridelser af fødevarekrav for dioxin, furaner og co-planare-PCB'er i muslinger. PAH-niveauet i muslinger og fisk er også acceptabelt mange steder i forhold til OSPAR (2009), men op til markant forurenet efter SFT (1999).
- Tilstanden i de danske farvande viser ikke den forbedring af biologiske elementer og iltforhold, man ville forvente ud fra de generelt markante nedgange i næringsstofudledninger og -koncentrationer. En væsentlig årsag er sandsynligvis den globale opvarmning, der modvirker en forbedring ved at mindske iltindholdet i bundvandet. Andre faktorer som invasive arter og fiskeri påvirker ligeledes biologien i de frie vandmasser og på havbunden.

[tom side]

18 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

Aerob – ånding med ilt.

Ammoniak (NH_3) – 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 (NH_4^+) – er en kvælstofforbindelse, der indgår som en positiv ion i salte. Ammonium kan uden brug af energi omdannes til gassen ammoniak, NH_3 .

Anaerob – ånding uden ilt.

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

Antibegroningsmidler, antibegroningsmiddel – 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.

Antropogen – menneskeskabt

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".

Assimilere – optag af næringsstoffer, som organismen indbygger i mere komplekse organiske forbindelser.

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.

Autotrof – organisme, der udelukkende ernærer sig ved fotosyntese.

B

BI₅ – biologisk iltforbrug på fem døgn, et mål for mængden af organisk stof.

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

Bioirrigation – bunddyrenes aktivitet med at pumpe vand – og dermed ilt og næringsstoffer – ud og ind af havbunden.

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.

BOD₅ – biologisk iltforbrug på fem døgn, et mål for mængden af organisk stof.

BPA – bisphenol-a er en phenolforbindelse med 2 phenolgrupper (6-ring-0H), som siden 1930'erne er mistænkt for at være farlig for mennesker, men stadig indgår som additiv til plastik.

Bufferkapacitet – se svovlbrintebufferkapacitet.

Bundfauna – dyr som lever på og i havbunden.

Bundmaling – en specialmaling til skibsbunde, der indeholder antibegroningsmidler.

Bq – becquerel, enhed for radioaktivitet.

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. Blågrønaler 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-faktor – 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.

DEHP – diethyl hydrogen phtalat, blødgører der anvendes i mange plasticstoffer.

Denitrifikation – at omdanne eller reducere nitrat (NO_3^-) til luftformig kvælstof (N_2).

Deposition – se atmosfærisk nedfald.

Detritus – dødt, organisk materiale.

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.

Dioxin – Oprindeligt navnet på 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin; dækker nu en række lignende klorerede forbindelser, der typisk opstår i forbindelse med afbrænding af 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 diarréfremskaldende muslingeforgiftning. Forkortelsen er dannet ud fra den engelske betegnelse "Diarrhetic Shellfish Poisoning".

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

E

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.

Endosymbiont – organisme, der lever symbiotisk med en anden organisme inde i denne.

Epifyt – en plante, som bruger en anden plante som struktur at vokse på (substrat), uden at den tager næring fra værtsplanten.

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

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.

Estuarie – overgang mellem flod og hav, dvs. bugt, fjord eller lignende.

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.

Fedtprocent – indholdet af fedt (lipid), 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.

Filtrator – dyr, der samler føde ved at filtrere det omgivende vand for mikroalger. Bruges typisk om muslinger og andre større filtrerende bunddyr.

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.

Fouling-organismer – dyr eller planter, der sætter sig fast på faste genstande i havet som skibsbunde, bøjer eller bundgarvspæle.

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.

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.

Første ordens proces – er en proces, der er afhængig af koncentrationen af et stof, der indgår i processen. Er processen uafhængig af koncentrationen, kaldes den en 0. ordens proces.

G

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

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

H

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

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

HD – habitatdirektivet.

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

HELCOM – Helsinki Kommissionen, samarbejde om Østersøens havmiljø.

Heterotrofi – når organismer optager organisk stof enten i opløst form eller ved at spise andre organismer. Heterotrofe organismer får energi fra det organiske stof.

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.

Humusstoffer – større organiske molekyler, som danner komplekser med metaller og brunfarver vand.

Hypoxi – iltsvind.

I

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

Iltoptagelse – 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. strandsnegl, hvor hunnens normale køns karakterer (pallial ovidukt) omdannes til hanlige karakterer som prostatakirtel. Skyldes hormonforstyrrelser pga. miljøgiften TBT.

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

K

Kemisk speciering – bestemmelsen af de individuelle "specier" (former), som et stof findes på.

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.

Kompleksdanner – et stof, der går i kemisk forbindelse med fx metaller. Kan fx bevirke, at et metal bliver mere fedtopløseligt.

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.

Kulstofbiomasse – biomassen udtrykt som mængden af kulstof (C) i et givent område eller vandvolumen (fx $\mu\text{g C pr. liter}$).

Kvalitetsmålsætninger – konkrete miljømål for tilstanden i et vandområde. Typiske kvalitetsmål er sommermiddeldkoncentration af klorofyl eller dybdegrænse for ålegræs.

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.

Kvælstofilter (NO_x) – luftformige, kemiske forbindelser mellem kvælstof (N) og ilt (O) betegnes ofte NO_x'er. NO_x'er dannes bl.a. ved forbrænding af fx olie, benzin, kul og gas. NO_x'er er opløselige i vand eller kan reagere med vandet eller stoffer i vandet og omdannes til nitrat.

L

Lagdeling – se skilleflade.

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

Livscyklus – et dyrs eller en plantes livsforløb fra hhv. æg eller spore til voksen.

M

Makroalger – store alger, tang.

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

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

MEC/PNEC-ratio – er forholdet mellem "Measured Effect Concentration" og "Predicted No Effect Concentration", dvs. forholdet mellem målte koncentrationer og koncentrationer, hvor der ikke forventes effekter. MEC/PNEC-ratio under 1 er altså en forudsigtelse af, at man ikke forventer effekter af et givent stof, hvorimod MEC/PNEC over 1 siger, at der er en risiko for effekter af stoffet i miljøet.

M-FDC – står for "Det Marine Fagdatacenter".

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.

Mesozooplankton – dyreplankton med størrelse 0,2 - 2,0 mm.

Mikronæringsstof – grundstof eller kemisk forbindelse, der er nødvendig i små mængder for opretholdelse af livet. Nogle af mikronæringsstofferne er fx metaller.

Mikrozooplankton – dyreplankton med størrelse 0,02 - 0,2 mm.

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.

Mineralisering – nedbrydning af organiske stoffer til uorganiske (mineralske) stoffer.

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.

Nanoplankton – planktonorganismer med størrelse 0,002 - 0,02 mm (2-20 μm).

NAO – den nordatlantiske oscillation, beskrives med et indeks, der angiver forskellen i atmosfærisk tryk mellem Azorerne og Island.

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

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

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

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

Nitrificerende – nitrificerende bakterier er specielle bakterier, der kan omdanne ammoniak eller ammonium til nitrat. Processen kaldes nitrifikation og foregår kun under iltrige forhold.

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 analyser.

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

Oceanografi – havforskning, fysisk, kemisk og biologisk udforskning af havet.

Operationel – målbart og kvantificerbart i forhold til formål.

Opholdstid – den tid, et vandvolumen har været isoleret fra kontakt med overfladen (i relation til ilt-svind) eller den tid, det tager at udskifte hele vandvolumenet (opholdstid i fjorde).

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

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

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

Organotinforbindelser – en række kemiske forbindelser med tin bundet til kulbrinter. Anvendes som anti-svampemiddel og i nogle skibsmalinger som anti-begroningsmiddel.

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

Oxidationstrin – kemisk tilstand, som har betydning for, hvordan et stof reagerer, fx iltning af Fe(II) til Fe(III) i sediment (romertallet i parentes angiver oxidationstrin 2 og 3).

P

PAH – polycykliske aromatiske hydrocarboner er tjærestoffer fra bl.a. forbrændingsprocesser og olie-spild.

Partiel oplukning – en oplukningsmetode, der ikke destruerer alle dele af prøven (fx ved brug af salpetersyre, som ikke angriber silikater).

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

P – se fosfor.

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

pg – forkortelse for pikogram, dvs. 1/1.000.000.000.000 g (10^{-12} g).

Picoplankton – planktonorganismer med størrelse mindre end 0,002 mm (2 µm).

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

pl – forkortelse for pikoliter, dvs. 1/1.000.000.000.000 l (10^{-12} l).

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

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

Planteplankton – se planktonalger.

POM – partikulært organisk materiale.

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

Primærproduktion – opbygning af organisk stof vha. fotosyntese.

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

R

Raphidophyceer – en gruppe af planktonalger, hvoraf mange kan producere giftstoffer, der kan slå fisk ihjel.

Redoxpotentiale – evne til at optage eller afgive elektroner (udtrykkes i mV). Bestemmes fx i havbunden ved at måle potentialeforskelle mellem brintelektrode og platinelektrode placeret i hhv. vandet og bunden. Positivt potentiale viser oxiderende forhold, mens negativt potentiale tyder på reducerende forhold.

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

Rodzonen – det øverste jordlag ned til ca. 1 meters dybde, hvor bl.a. iltforholdene muliggør rodvækst.

Remineralisering – nedbrydning af organisk stof til uorganiske forbindelser.

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

Respiration – ånding.

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

S

Salinitet – se saltholdighed.

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

s.d. – se *standardafvigelse*.

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 vægtylde. Skillefladen dannes typisk på grund af forskelle i temperatur eller saltholdighed.

Springlag – se skilleflade.

Standardafvigelse (s.d.) – et deskriptivt mål for variationen i data, som beregnes ud fra de observerede værdier.

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.

Succession – rækkefølge. Bruges i biologisk sammenhæng, især om forandringer i artssammensætningen over tid.

Sulfatreduktion – sulfatreducerende bakteriers ånding med sulfat (SO_4^{2-}). En anaerob respirationsproces, hvor der produceres svovlbrinte (H_2S).

Svovlbrintebufferkapacitet – hav- eller fjordbundens evne til at tilbageholde svovlbrinte (H_2S), der dannes i den iltfrie bund, når organisk stof nedbrydes med sulfat (SO_4^{2-}) som åndingsmiddel.

Svovlbrintefront – hvor dybt i havbunden, der er H_2S nok til at farve en sølvtråd sort (også benævnt detektionsdybde). Svarer nogenlunde til den dybde, hvortil H_2S når op efter, at H_2S er dannet nede i havbunden under den iltede zone.

Symbiose – flere forskellige arter lever sammen. Anvendes ofte om sameksistens, der giver begge organismer fordele.

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).

Typefjorde – NOVA 2003-terminologi omfattende Roskilde Fjord, Odense Fjord, Horsens Fjord, Ringkøbing Fjord, Limfjorden og Skive Fjord, hvor der gennemføres både en omfattende eutrofieringsovervågning og modellering af vand- og stoftransporter.

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 er 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.

VRD – vandrammedirektivet

VV – vådvægtsbasis.

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

Y

Ydre danske farvande – Nordsøen, Skagerrak og Østersøen plus de sydlige dele af Øresund (syd for Drogden Tærsklen).

Å

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

19 Referencer

- Al-Hamdani, Z.K., Lundsteen, S., Jensen, J.B., 2003: Seabed classification and habitat mapping of stone reefs in Denmark. A multibeam and ground truthing pilot study. The Baltic Sea Science Congress, Helsinki, 2003. GEUS, ikke publiceret.
- Bendtsen, J., Gustafsson, K.E., Söderkvist, J. & Hansen, J.L.S. 2009: Ventilation of bottom water in the North Sea-Baltic Sea transition zone. - *Journal of Marine Systems* 75: 138-149.
[doi:10.1016/j.jmarsys.2008.08.006](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.08.006)
- 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., Ols-gard, 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.
- By- og Landskabsstyrelsen 2008: Natura 2000 - Arter og naturtyper. By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet.
www.blst.dk/Natura2000/Habitat/Arter_og_naturtyper
- Cappelen, J. 2008: Danmarks klima 2007 med Tórshavn, Færøerne og Nuuk, Grønland. Danmarks Meteorologiske Institut. - Teknisk rapport 08-01.
<http://www.dmi.dk/dmi/tr08-01.pdf>
- Carletti, A., Jowett, D. & Heiskanen, A.-S. (Eds.) 2008: Water Framework Directive intercalibration technical report. Part 3 Coastal and Transitional waters. JRC Scientific and Technical Reports.
www.circa.europa.eu/Public/irc/jrc/jrc_eewai/library?l=/intercalibration/intercalibration_2/coast_combinedpdf/EN_1.0_&a=d
- Carstensen, J. & Krause-Jensen, D. *in press*: Fastlæggelse af miljømål og indsatsbehov ud fra ålegræs i de indre danske farvande. - Faglig rapport fra DMU.
- Carstensen, J., Conley, D.J. & Müller-Karulis, B. 2003: Spatial and temporal resolution of carbon fluxes in a shallow coastal ecosystem, the Kattegat. - *Marine Ecology Progress Series* 252: 35-50.
- Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Dahl, K. & Henriksen, P. 2008: Macroalgae and phytoplankton as indicators of ecological status of Danish coastal waters. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 89 pp. - NERI Technical Report No. 683.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR683.pdf>
- Christensen, T., Kock, C., Thomsen, H. A. 1985: Distribution of algae in Danish salt and brackish waters. University of Copenhagen.
- Clarke, K. R. & Gorley, R.N. 2001: PRIMER v5: User manual/ tutorial. PRIMER-E: Plymouth: 91 pp.
- Conley, D.J., Kaas, H., Møhlenberg, F., Rasmussen, B., Windolf, J. 2000: Characteristics of Danish Estuaries. - *Estuaries* 23(6): 820-837.
- 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.
<http://www.esajournals.org/archive/1051-0761/17/sp...17-sp5-S165.pdf>
- 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://faglige-rapporter.dmu.dk>
- 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., Hansen, J., Helmig, S., Nielsen, R. & Larsen, H.S. 2001: Naturkvalitet på stenrev - Hvilke indikatorer kan vi bruge? Danmarks Miljøundersøgelser. 130 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 352.
http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR352.pdf
- Dahllöf, I., Mogensen, B.B., Bossi, R. & Jensen, I. 2008: Forekomst af herbicider i Nissum Fjord. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 21 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 244.
<http://www.dmu.dk/Pub/AR244.pdf>
- Danmarks Miljøportal 2008: Fiskbase, database for NOVANA-overvågningsdata af fiskesamfund.
www.miljoportal.dk
- Diaz, R.J. & Rosenberg, R. 2008: Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. - *Science* 321: 926-929.
- 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.
- Dye, C., Schlabach, M., Green, J., Remberger, M., Kaj, L. Palm-Cousins, A., Brorström-Lundén, E. et al. 2007: Bronopol, Resorcinol, m-Cresol and Triclosan in the Nordic Environment. Nordic Council of Ministers, 83 pp. - TemaNord 2007:585
<http://www.norden.org/pub/miljo/miljo/sk/TN2007585.pdf>
- Dyckjær, S. & Hoffmann, E. 1999: Muslingefiskeriet i Limfjorden. I: Havmiljøet ved årtusindskiftet. Olsen & Olsen, Fredensborg.
- Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Geels, C., Kemp, K., Løfstrøm, P., Mogensen, B.B. & Monies, C. 2009: Atmosfærisk deposition 2007. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. - Faglig rapport fra DMU nr. 708.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR708.pdf>
- Fishbase 2008: Extracts from the scientific database Fishbase2008. www.Fishbase.org
- Fødevarestyrelsen 2005a: Sporelementer i fisk og fiskevarer (CKL projekt 2005): Cederberg, D.L., Rokkjær, I. & Sloth, J.J.
http://www.foedevarestyrelsen.dk/kontrol/kontrolresultater/CKL-projekter/sporelementer_tungmetaller/forside.htm
- Fødevarestyrelsen 2005b: Sporelementer i blåmuslinger og østers (CKL projekt 2005): Cederberg, D.L., Rokkjær, I. & Sloth, J.J.
http://www.foedevarestyrelsen.dk/kontrol/kontrolresultater/CKL-projekter/sporelementer_tungmetaller/forside.htm
- Graneli, W. 1992: Below-halocline oxygen consumption in the Kattegat. - *Hydrobiologia* 235: 303-310.
- Gray, J.S., Wu, R.S. & Or, Y.Y. 2002: Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. - *Marine Ecology Progress Series* 238: 249-279.
- Greve, T.M., Borum, J., & Pedersen, O. 2003: Meristematic oxygen variability in eelgrass (*Zostera marina*). - *Limnology and Oceanography* 48: 210-216.
- Halling-Sørensen, B., Petersen, G., Stuer-Lauridsen, F., Slothuus, T., Kinnberg, K. & Bjerregaard, P. 2008: Kemiske stoffer der kan føre til misdannelser i fisk - Indkredsning af stoffer ud fra deres biokemiske virkemekanisme. - Rapport fra By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet, 112 s.
<http://www2.blst.dk/udgiv/Publikationer/2008/978-87-92256-41-6/pdf/978-87-92256-42-3.pdf>
- Hansen, J.L.S. & Bendtsen, J. 2006: Klimabetingede effekter på marine økosystemer. Danmarks Miljøundersøgelser. 50 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 598.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR598.pdf>
- Hansen, J.L.S. & Bendtsen, J. 2008 (*submitted*): Effects of global warming on hypoxia in the bottom water of the Baltic Sea - North Sea transition zone. - *Limnology and Oceanography*.
- Hansen, J. & Josefson, A.B. 2003: Accumulation of algal pigments and live planktonic diatoms in aphotic sediments during the spring bloom in the transition zone of the North and Baltic Seas. - *Marine Ecology Progress Series* 248: 41-54.

- 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., Jensen, M.H. & Andersen, P. 2009 (*i trykken*): Indikatorer for klimaændringer i det marine overvågningsprogram. - I: DMU faglig rapport.
- Hansen, A.B. & Lassen, P. 2008: Screening of phenolic substances in the Nordic environments. Nordic Council of Ministers, 145 pp. - TemaNord 2008:530.
<http://norden.org/pub/miljo/miljo/uk/TN2008530.pdf>
- Holmer, M. & Bondgaard, E.J. 2001: Photosynthetic and growth response of eelgrass to low oxygen and high sulfide concentrations during hypoxic events. - Aquatic Botany 70: 29-38.
- ICES 2008: Report of the Fourth ICES/OSPAR Workshop on Integrated Monitoring of Contaminants and their Effects in Coastal and Open Sea Areas (WKIMON IV), 5-7 February 2008, ICES, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2008/ACOM:49, 82 pp.
- Jensen, P.N., Boutrup, S., Bijl, L. van der, Svendsen, L.M., Grant, R., Bøgestrand, J., Jørgensen, T.B., Ellermann, T., Dahl, K., Josefson, A.B., Ejrnæs, R., Søgaard, B., Thorling, L. & Dahlgren, K. 2009: Vandmiljø og natur 2007. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. - Faglig rapport fra DMU nr. 714.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR714.pdf>
- Josefson, A.B. & Rasmussen, B. 2000: Nutrient retention by benthic macrofaunal biomass of Danish estuaries: importance of nutrient load and residence time. - Estuarine Coastal and Shelf Science 50: 205-216.
- Josefson, A.B. & Hansen, J.L.S. 2004: Species richness of benthic macrofauna in Danish estuaries and coastal areas. - Global Ecology and Biogeography 13: 273-288.
- Jørgensen, B.B. & Revsbech, N.P. 1989: Oxygen uptake, bacterial distribution and carbon-nitrogen-sulfur cycling in sediments from the Baltic - North Sea transition. - Ophelia 31: 1-15.
- Keats, D. W. 1991: American plaice, *Hippoglossoides platessoides* (fabricius), predation on green sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis* (muller, of), in eastern Newfoundland. - Journal of Fish Biology 38 (1): 67-72.
- Keats, D.W., Steele, D.H. & South, G.R. 1986: Atlantic wolffish (*Anarhichas lupus* L.; Pisces: Anarhichidae) predation on green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F.Mull.); Echinodermata: Echinoidea) in eastern Newfoundland. - Canadian Journal of Zoology 64 (9): 1920-1925.
- Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketzler, 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>
- Kramp, P.L. 1935: Polypdyr, (Coelenterata). - I Ferskvandspolypper og gølepolypper. Danmarks Fauna 41, 207 s.
- Krause-Jensen, D., Pedersen, M.F. & Jensen, C. 2003: Regulation of eelgrass (*Zostera marina*) cover along depth gradients in Danish coastal waters. - Estuaries 26: 866-877.
- Køie, M., Kristiansen, Aa. & Weitemeyer, S. 2000: Havets dyr og planter. Gads Forlag, København, 351 s.
- Little, C. & Kitching, J.A. 1996: The biology of rocky shores. Oxford University Press Inc., New York, 240 pp.
- Lundsteen, S. 2000: Faunaen på 26 stenrev i Bælthavet og Østersøen. Aquatic consult / (Hedeselskabet) for Skov- og Naturstyrelsen, 98 s.
- Lundsteen, S. 2001: Habitatkortlægning otte steder fra Østersøen til Nordsøen den 16-4 til 26-4 2001. Arbejdsrapport fra DMU for Skov- og Naturstyrelsen, 34 s. og bilag. Ikke publiceret.
- Lundsteen, S. & Dahl, K. 2004: Teknisk anvisning for marin overvågning. 4.2 Hårdbundsfauna. NOVANA. ver. 08-11-04. Danmarks Miljøundersøgelser. - Teknisk anvisning fra DMU's Marine Fagdatacenter; 7 s. (elektronisk).
http://www2.dmu.dk/1_Om_DMU/2_tvaerfunkt/3_fdc_mar/programgrundlag/TekAnv2004_2009/Del4/TA04_4_2_Haardbundsfauna.pdf

- Lundsteen, S., Dahl, K., & Tendal, O.S 2008: Biodiversity on boulder reefs in central Kattegat. BALANCE, The Danish Forest and Nature Agency. (BALANCE Interim Report 15), 25 pp.
<http://balance-eu.org/xpdf/balance-interim-report-no-15.pdf>
- Maggs, C.A. & Hommersand, M.H. 1993: Seaweeds of the British Isles. Volume 1 Rhodophyta. Part 3A Ceramiales. - HMSO, London, 1_444.
- Marcus, E.M. 1940: Mosdyr (Bryozoa eller Polyzoa) - Danmarks Fauna 46, 401 s.
- Martinez-Gómez, C., Benedicto, C.J., Campillo, J.A. & Moore M. 2008: Application and evaluation of the neutral red retention (NRR) assay for lysosomal stability in mussel populations along the Iberian Mediterranean coast. - Journal of Environmental Monitoring 10: 490-499.
- 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.
- Naturvårdsverket 2008: Provfiske i Östersjöns kustområden - Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät - Programområde Kust och Hav, version 1:2, 44 pp.
http://naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/Miljoovervakning/undersokn_typ/hav/provfisk_osj_on_v1_2.pdf
- Nicolajsen m.fl. in prep.: Fangstregistreringer fra nøglefiskere 2005 - 2007. - Rapport fra DTU-Aqua.
- 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.
- Olesen, M. & Lundsgaard, C. 1995: Seasonal sedimentation of autochthonous material from the euphotic zone of a coastal system. - Estuarine, Coastal and Shelf Science 41: 475-490.
- Olesen, B. & Sand-Jensen, K. 1994: Patch dynamics of eelgrass. - Marine Ecology Progress Series 40: 147-156.
- 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 2004: OSPAR/ICES workshop on the evaluation and update of background reference concentrations (B/RCS) and ecotoxicological assessment criteria (EACs) and how these assessment tools should be used in assessing contaminants in water, sediment and biota. Workshop, the Hague, 9-13 February 2004. Final Report, OSPAR Commission, 116 pp.
- OSPAR 2008: (Draft) Agreement on CEMP Assessment Criteria for the QSR 2010.
- Pedersen, M.F., Stæhr, P.A., Wernberg, T. & Thomsen, M. 2005: Biomass dynamics of exotic *Sargassum muticum* and native *Halidrys siliquosa* in Limfjorden, Denmark - implications of species replacements on turnover rates. - Aquatic Botany 83: 31-47.
- Rasmussen, P.C. & Jensen, C.A. 2004: Stamsild i Randers Fjord 2003. Århus Amt; 9 s.
www.nm.aa.dk/publikat/pdf/Stamsild2.pdf
- Richardson, K. & Christoffersen, A. 1991: Seasonal distribution and production of phytoplankton in the southern Kattegat. - Marine Ecology Progress Series 78: 217-227.
- Richardson, K. & Heilmann, J.P. 1995: Primary production in the Kattegat - past and present. - Ophelia 41: 317-328.
- Rydberg, L., Ærtebjerg, G. & Edler, L. 2006: Fifty years of primary production measurements in the Baltic entrance region, trends and variability in relation to land-based input of nutrients. - Journal of Sea Research 56: 1-16.
- Sampou, P. & Kemp, W. M. 1994: Factors regulating plankton community respiration in Chesapeake Bay. - Marine Ecology Progress Series 110: 249-258.

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>

Siegel, S. 1956: Nonparametric statistics for the behavioral sciences. McGraw-Hill, London.

Strand, J. 2006: Fiskeundersøgelser i kystnære marine områder. NOVANA teknisk anvisning, kapitel 6.1.

www.dmu.dk/Overvaagning/Fagdatacenter/Det+Marine+Fagdatacenter/Tekniske+anvisninger+NOVANA+2004-2009

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 2008:542.

<http://www.norden.org/pub/sk/showpub.asp?pubnr=2008:542>

Stuer-Lauridsen, F., Gustavson, K., Møhlenberg, F., Dahllöf, I., Strand, J., Bjerregaard, P., Korsgaard, B., Rasmussen, T.H. & Halling-Sørensen, B. 2008: Mis-dannet ålekvaabeyngel og andre biologiske effekter i danske vandområder - Litteraturudredning. - Miljøprojekt, 1151. By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet, 210 s.

Svendsen, L.M., Bijl, L. van der, Boutrup, S. & Norup, B. (red.) 2004: NOVANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse - del 2. Danmarks Miljøundersøgelser. 128 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 508.

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

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

Tendal, O. S. 1996: Bægerkorallen - ny koral for Danmark og Færøerne. - Dyr i natur og museum 2: 28-31.

Tendal, O. S. & Nielsen, C. 1997: Bægerkorallen (*Caryophyllia smithii*) - ny koral for Danmark. Flora og Fauna 103(1): 7-9.

Thomsen, M.S., Wernberg, T., Stæhr, P., Krause-Jensen, D., Risgaard-Petersen, N., & Silliman, B.R. 2007: Alien macroalgae in Denmark - a broad-scale national perspective. - Marine Biology Research 3: 61-72.

Thorson, G., 1968: Modiola-epifaunaen: et artsrigt samfund. - I: Nørrevang, A. & Meyer, T.J. (red.); Danmarks natur 3, Havet: s. 208-209.

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.

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J. & Watson, R. 2006: Impact on biodiversity loss on ocean ecosystem services. - Science 314: 787-790.

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

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

Ærtebjerg, G., Andersen, J., Carstensen, J., Christiansen, T., Dahl, K., Dahllöf, I., Fossing, H., Greve, T.M., Hansen, J.L.S., Henriksen, P., Josefson, A., Krause-Jensen, D., Larsen, M.M., Markager, S., Nielsen, T.G., Pedersen, B., Petersen, J.K., Risgaard-Petersen, N., Rysgaard, S., Strand, J., Ovesen, N.B., Ellermann, T., Hertel, O., Skjøth, C.A. 2002: Marine områder 2001 - Miljøtilstand og udvikling. NOVANA. 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 94 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 419.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR419.pdf

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

Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer

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:

1. 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 bliver den multiplikative model til en additiv model.
2. Store koncentrationer har større variationer end små koncentrationer. Ved logaritmisk transformering opnås varianshomogenitet.
3. 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

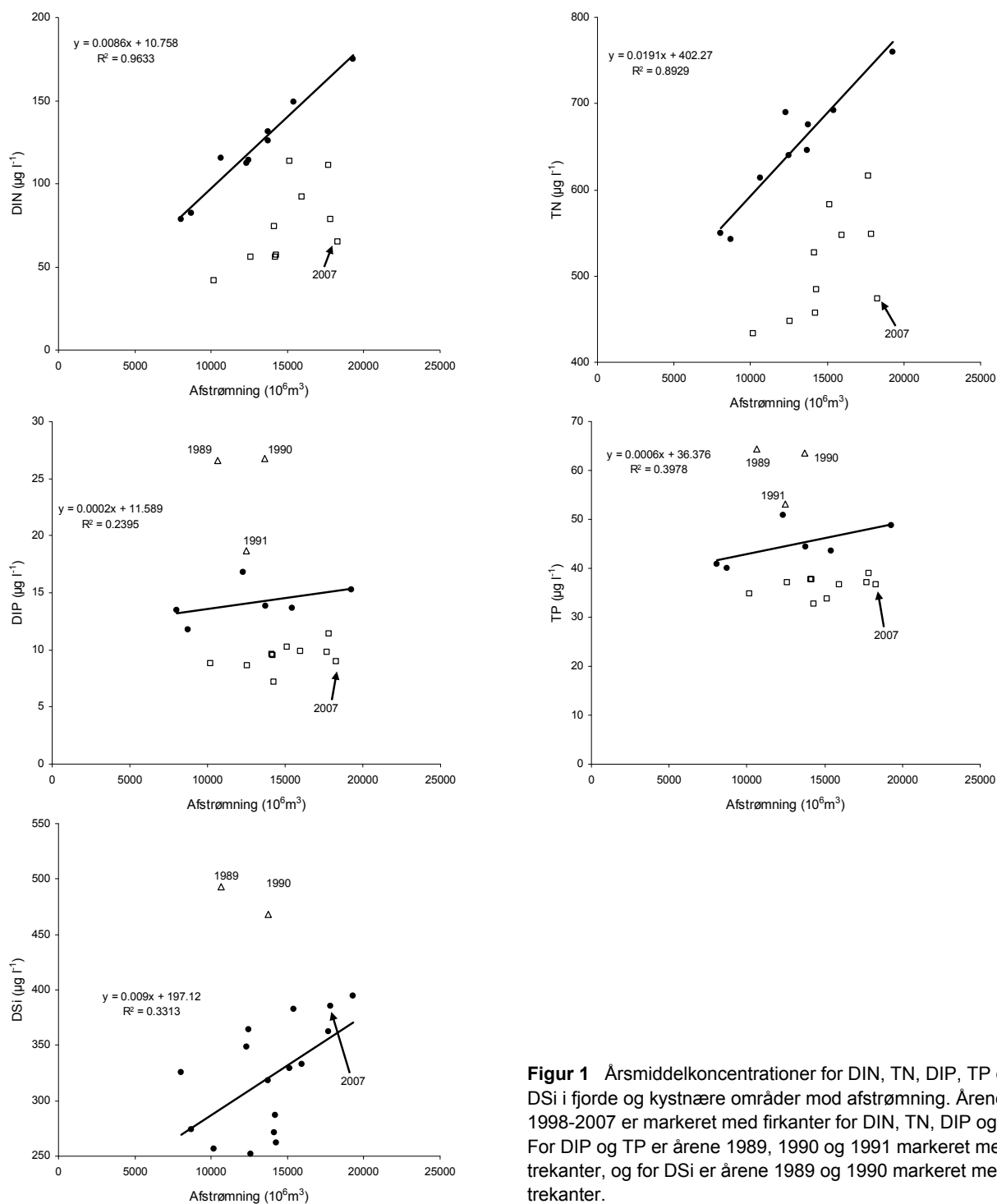
$$[\exp(\alpha - 2 \times \beta); \exp(\alpha + 2 \times \beta)]$$

Eksempelvis estimeres af variansanalysen, at middelniveauet for $\log(\text{DIN})$ i åbne farvande i 2007 var normalfordelt $N(2,44; 0,0592)$, hvilket ved transformationen ovenfor giver, at middelniveauet for DIN er $11,42 \mu\text{g N l}^{-1}$ med et 95% konfidensinterval på $[10,14; 12,86]$.

Korrektioner for klimatiske variationer

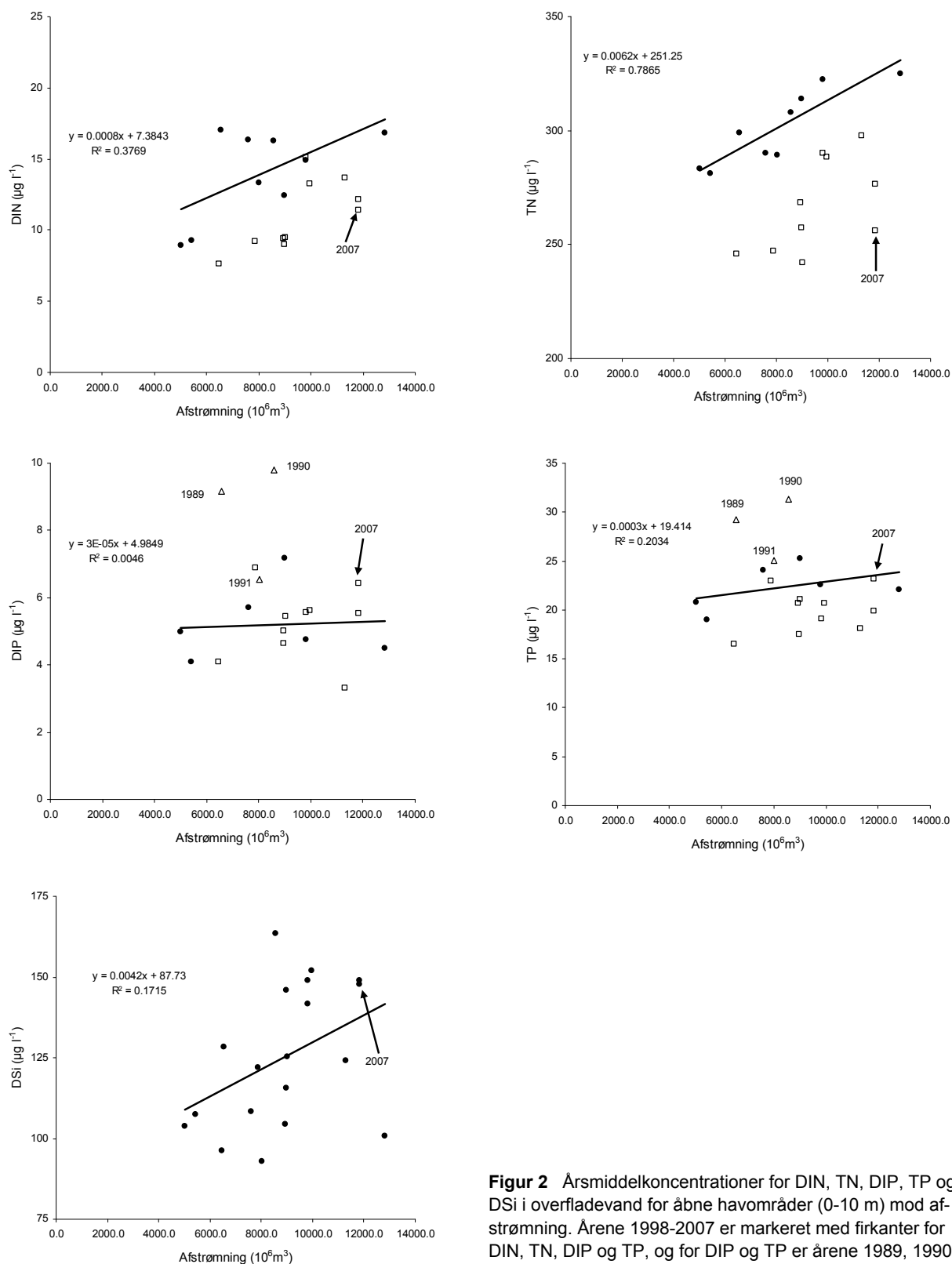
Ferskvandsafstrømningen er den vigtigste klimatiske faktor som påvirker næringsstofkoncentrationerne, og afstrømningen blev derfor anvendt til at korrigere for klimatiske variationer.

Relationen mellem afstrømning og middelmiddelt koncentrationerne af DIN og TN på basis af årene 1989-97 var særdeles gode (figur 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.



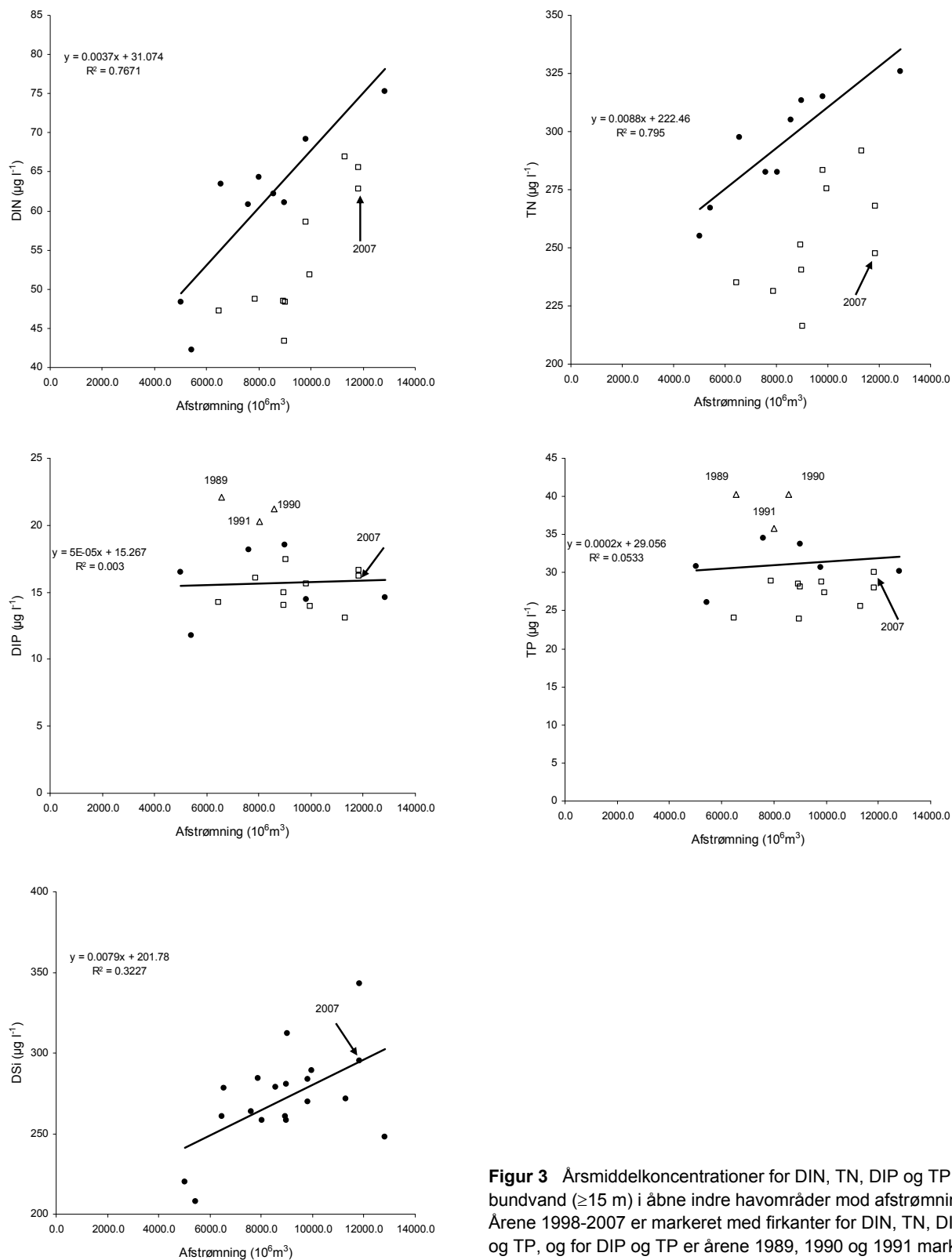
Figur 1 Årsmiddelmiddelt koncentrationer for DIN, TN, DIP, TP og DSi i fjorde og kystnære områder mod afstrømning. Årene 1998-2007 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP og TP. For DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter, og for DSi er årene 1989 og 1990 markeret med trekanter.

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 om end ikke statistisk signifikante (figur 2). Alle år blev benyttet for DSi, da der ikke var noget karakteristisk skift omkring 1998.



Figur 2 Årsmiddeldkoncentrationer for DIN, TN, DIP, TP og DSi i overfladevand for åbne havområder (0-10 m) mod afstrømning. Årene 1998-2007 er markeret med firkanter for DIN, TN, DIP og TP, og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter.

I de åbne indre farvandes bundvand (≥ 15 m) blev de samme kriterier for valg af data til bestemmelse af relationer benyttet som for overfladevand (DIN, TN: 1989-97; DIP, TP: 1992-97; DSi: 1989-2004). For DIN, TN og DSi gav dette statistisk signifikante sammenhænge med afstrømningen, hvorimod DIP og TP ikke viste nogen stærk sammenhæng mod afstrømningen (figur 3).



Figur 3 Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP og TP for bundvand (≥ 15 m) i åbne indre havområder mod afstrømning. Årene 1988-2007 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

Parametre

Ålegræssets maksimale dybdegrænse er opgjort af dykkere som den største dybde, hvor der er observeret ålegræsskud. Frem til 2001 var der én opgørelse pr. transekt, men siden 2001 er dybdegrænsen opgjort som flere delprøver pr. transekt, og DMU har benyttet gennemsnittet af disse i beregningerne.

Dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse er her defineret som den største dybde med mindst 10% dækning. Frem til 2001 opgjorde dykkere én samlet dækningsgrad (skala fra 1 - 5) pr. dybdeinterval, men efter 2001 er dækningsgraden (i procent) opgjort for punkter inden for dybdeintervaller, 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:

- Vi har antaget, at den gennemsnitlige dækningsgrad i et interval repræsenterer middeldybden af dette interval. Hvis dette interval eksempelvis er intervallet 4-6m, med en dækning på 15%, så har vi antaget, at intervallets midtpunkt – dvs. dybden 5 meter - har præcis 15% dækning.
- Hvis det dybeste interval har en dækning over 10%, antages den største dybde i intervallet at repræsentere dækningsgraden 0,1%. Eksempelvis hvis intervallet 4-6 m er det dybeste og har en dækning på 15%, sættes dækningen til 0,1% på dybden 6 m.

Ålegræssets hovedudbredelse findes ved lineær interpolation af punktobservationerne for at finde den største dybde med 10% dækning. I de sjældne tilfælde at den dybeste punktobservation er større end 10% (for data efter 2001), sættes hovedudbredelse lig denne dybde. (Teoretisk set burde man tilpasse punktobservationerne med en eksponentielt aftagende funktion, svarende til lysets svækkelse, men denne metode ville blive for usikker for data før 2001, fordi det er nødvendigt at fastsætte dækningsgraden for det yderste ålegræsstrå som en arbitrær lav værdi (fx 1; 0,1 eller 0,01%) og med en eksponentielt aftagende funktion, ville det give en kæmpe forskel, om det ene eller det andet blev valgt).

Ålegræssets dækningsgrad i dybdeintervaller er opgjort af dykkere, som beskrevet ovenfor.

Dataanalyser

Samtlige data er analyseret områdevist, således at alle stationer inden for et område betragtes som tilfældige replikater af variationen inden for et område (stokastisk effekt). Hvert område er desuden kategoriseret som enten 'åben kyst', 'yderfjord' eller 'inderfjord', og data fra Limfjorden er behandlet separat.

Analyserne inkluderer samtlige oplysninger om ålegræssets dybdegrænse og dækningsgrad, som er tilgængelige i MADS-databasen. Det betyder, at analyserne omfatter flere stationer og områder end tidligere – eksempelvis også områder, der kun har været undersøgt et enkelt eller få år gennem overvågningsperioden. Det er blevet muligt at inkludere sådanne datasæt uden at de skævvrider det samlede datasæt, fordi vi er gået over til at analysere data vha. 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 er modellen udvidet til også at medtage en lineær dybdeafhængighed af punktmålingerne inden for disse intervaller, dvs.

$$Y_{ijk} = \text{område}_i + \text{år}_j + \text{dybde}_{ijk} + e_{ijk}$$

Modellen vægter de enkelte observationer i forhold til hvilket år og område (og faktiske dybder for dækningsgraden), der er analyseret, og årsmidler repræsenterende alle områder samlet udregnes for de enkelte år som marginale middelværdier i modellen.

Tidslig udvikling i dybdegrænse og dækningsgrad er analyseret vha. lineær regressionsanalyse af disse middelværdier mod tiden.

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 Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi Afdeling for Systemanalyse
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

- 705 Hazardous substances and heavy metals in the aquatic environment. State and trend, 1998-2003. By Boutrup, S. (ed.), Fauser, P., Thomsen, M., Dahllöf, I., Larsen M.M., Strand, J., Sortkjær, O., Ellermann, T., Rasmussen, P., Jørgensen, L.F., Pedersen, M.W. & Munk, L.M. 44 pp.
- 704 Contaminants in the traditional Greenland diet – Supplementary data. By Johansen, P., Muir, D., Asmund, G. & Riget, F. 22 pp.
- 703 Projection of Greenhouse Gas Emissions 2007 to 2025. By Nielsen, O.-K., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Gyldenkerne, S., Lyck, E., Plejdrup, M., Hoffmann, L., Thomsen, M., Fauser, P. 211 pp.
- 702 Rastende vandfugle i Margrethe Kog og på forlandet vest for Tøndermarsken, 1984-2007. Af Laursen, K., Hounisen, J.P., Rasmussen, L.M., Frikke, J., Pihl, S., Kahlert, J., Bak, M. & Amstrup, O. 78 s.
- 700 Drivhusgasopgørelse på kommuneniveau. Beskrivelse af beregningsmetoder. Af Nielsen, O.-K., Winther, M., Gyldenkerne, S., Lyck, E., Thomsen, M., Hoffmann, L. & Fauser, P. 104 s.
- 699 Omsætning af formalin i danske dambrug. Af Sortkjær, O., Pedersen, L-F. & Ovesen, N.B. 126 s. (2008)
- 698 Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2008. By Glahder, C.M., Asmund, G. & Riget, F. 30 pp.

2008

- 697 OML-spredningsberegninger på basis af 10 års meteorologi i relation til Luftvejledningen. Af Løfstrøm, P. & Olesen, H.R. 35 s.
- 696 Beregning af skovtilstand – tilstandsvurdering af Habitatdirektivets skovtyper. Af Fredshavn, J.R., Johannsen, V.K., Ejrnæs, R., Nielsen, K.E. & Rune, F. 48 s.
- 695 Værdisætning af natur- og kulturgoder. Et metodestudie af betydningen for ændringer i skala og betalingsformat. Af Hasler B., Jacobsen, J.B., Lundhede, T.H., Martinsen, L., Thorsen, B.J. 78 s.
- 694 Life in the marginal ice zone: oceanographic and biological surveys in Disko Bay and south-eastern Baffin Bay April-May 2006. By Frederiksen, M., Boertmann, D., Cuykens, A.B., Hansen, J., Jespersen, M., Johansen, K.L., Mosbech, A., Nielsen, T.G. & Söderkvist, J. 92 pp.
- 693 The NERO line. A vegetation transect in Kobbefjord, West Greenland. By Bay, C., Aastrup, P. & Nymand, J. 40 p.
- 692 Skovmårens biologi og levevis i Danmark. Af Elmeros, M., Birch, M.M., Madsen, A.B., Baagøe, H.J. & Pertoldi, C. 62 s.
- 691 Control of Pesticides 2007. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T. 23 pp.
- 690 Hvor nedlægges krondyrene – og hvorfor? Betydningen af landskab, urbanisering og tidligere udbredelse for det lokale jagtudbytte af krondyr i Jylland i jagtsæsonen 2001/02. Af Sunde, P., Asferg, T., Andersen, P.N. & Olesen, C.R. 38 s.
- 689 Kvælstofbelastning af naturområder på Bornholm og Sjælland. Opgørelse for udvalgte Natura 2000 områder. Af Geels, C., Frohn, L.M., Madsen, P.V. & Hertel, O. 58 s.
- 688 Partikelprojekt 2005-2008. Af Wählin, P. 31 s.
- 687 Udsætning af gråænder i Danmark og påvirkning af søers fosforindhold. Af Noer, H., Søndergaard, M. & Jørgensen, T.B. 43 s.
- 686 Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until year 2006. By Winther, M. 217 pp.
- 685 Analyse af miljøtilstanden i Mariager Fjord fra 1986 til 2006. Af Markager, S., Bassompierre, M. & Petersen, D.L.J. 55 s.
- 684 Environmental monitoring at the lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland, in 2007. By Johansen, P., Asmund, G., Riget, F. & Johansen, K. 54 pp.
- 683 Macroalgae and phytoplankton as indicators of ecological status of Danish coastal waters. By Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Dahl, K. & Henriksen, P. 90 pp.
- 682 Arealanvendelse i Danmark siden slutningen af 1800-tallet. Af Levin, G. & Normander, B. 44 s.

MARINE OMRÅDER 2007

NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten

I lighed med konklusionen fra sidste års rapport må det konkluderes, at miljøtilstanden i 2007 ikke var særlig god på trods af de store reduktioner i udledningen af næringsstoffer til hav- og kystområderne, som har fundet sted fortrinsvis i 1990'erne. En årsag til dette er en klimatisk betinget stor afstrømning i foråret 2007, der efterfølgende medførte høje klorofylkoncentrationer. Relativt kraftige vindhændelser hen over sommerperioden forhindrede udviklingen af en forventet alvorlig iltsvindshændelse i sommer- og sensommerperioden. Generelt har der ikke været forbedring af vandets sigtbarhed i de danske farvande, siden vandmiljøplanen blev iværksat, og det afspejler sig også i manglende forbedringer af tangskovenes dybdeudbredelse og tæthed. En sandsynlig årsag til manglende forbedring af specielt iltforhold er den igangværende opvarmning af havet som følge af den globale opvarmning, og som i 2007 var særlig udtalt. Opvarmningen har øget iltforbruget og mindsket vandets evne til at indeholde ilt og kan også mindske transporten af ilt fra havoverfladen til bundvandet. Artsrigdom af bundfauna i de åbne dele af Kattegat er reduceret til det laveste niveau siden midt i 1990'erne. For miljøfarlige stoffer er det fortsat TBT fulgt af enkelte PCB'er og PAH'er, som udviser forhøjede niveauer i sediment og dyr. Et udtryk for dette er mindsket lysosomal membranstabilitet hos blåmuslinger i flere af de undersøgte kystområder. Undersøgelser af enzymaktivitet og embryonale misdannelser hos ålekvabbe indikerer en kobling til øget belastning af organiske miljøfarlige stoffer og tungmetaller.