

Fisken og havet, særnummer 2-2004
ISSN 0802 0620

Havets miljø 2004

Redaktør Kjersti Sjøtun

Innhold

Forord	4
Prognoser for 2004	7
Prognoses for 2004	8
Sammendrag	9
Summary	11
Kapittel 1	
Økosystemet i Barentshavet	13
1.1 Havklima	14
1.2 Plankton	18
1.3 Yngelproduksjon	22
Kapittel 2	
Økosystemet i Norskehavet	23
2.1 Havklima	24
2.2 Plankton og næringssalter	31
2.3 Yngelproduksjon	35
Kapittel 3	
Økosystemene i Nordsjøen og Skagerrak	37
3.1 Havklima	38
3.2 Plankton og næringssalter	44
Kapittel 4	
Økosystemene på kysten og i fjordene	47
4.1 Kystklima	48
4.2 Plankton og næringssalter	52
4.3 Skadelige alger	57
Kapittel 5	
Kartlegging og overvåking av korallrev	61
Kapittel 6	
Forurensning	67
6.1 Oljeforurensning i fisk	68
6.2 Radioaktivitet	69

Kapittel 7	
Aktuelle tema	71
7.1 Boken "The Norwegian Sea Ecosystem" <i>Hein Rune Skjoldal og Roald Sætre</i>	72
7.2 Samarbeidstoktet i Barentshavet sommeren og høsten 2003; kan dette utvikles til et økosystemtokt? <i>Petter Fossum og Harald Gjøsæter</i>	76
7.3 Hva vet vi om framtidens klima i nordområdene? <i>Harald Loeng</i>	79
7.4 Barskt vær i Barentshavet <i>Sighjorn Grønås, Universitetet i Bergen</i>	82
7.5 Økosystemeffekter av kongekrabbe – en presentasjon av Havforskningsinstituttets forskningsplan <i>Lis Lindal Jørgensen og Jan H. Sundet</i>	85
7.6 Den eksotiske rødalgen <i>Heterosiphonia japonica</i> på norskekysten <i>Vivian Husa</i>	87
7.7 Giftalger og algegifter i norske farvann – erfaringer fra de siste fem årene <i>Einar Dahl, Tore Aune*, Karl Tangen**, Tonje Castberg, Eli Gustad, Lars Naustvoll, John Aasen*, Lai Nguyen** og Johanne Arff**</i>	91
7.8 <i>Emiliana huxleyi</i>-oppblomstringen i Barentshavet sommeren 2003 observert ved hjelp av satellitt <i>Helge Sagen og Padmini Dalpadado</i>	96
7.9 Er seismikk skadelig for tobis og tobisfisket? <i>Arne Hassel</i>	98
7.10 Technetium-99 (Tc-99) i marine næringskjeder i norske havområder <i>Hilde Elise Heldal, Penny Alvestad, Ingrid Sværen og Lars Føyn, Anne Liv Rudjord, Statens Strålevern</i>	102
7.11 Vertikalfordeling av fiskeegg <i>Erling Kåre Stenevik, Anders Thorsen og Svein Sundby</i>	105
7.12 Genetiske analyser påviser kompleks bestandsstruktur hos torsk i Skagerrak-Nordsjøområdet <i>Halvor Knutsen og Per Erik Jorde, Nils Chr. Stenseth, Universitetet i Oslo</i>	109
7.13 Havets oppløste oksygen – hvor kommer det fra, hvorfor er det så nødvendig og hvordan måler vi det? <i>Trygve Gytre</i>	111
7.14 MAR-ECO-prosjektet vinner ny kunnskap om dyrelivet i Midt-Atlanteren <i>Tone Falkenhaug og Odd Aksel Bergstad</i>	116

* Norges veterinærhøgskole, Institutt for mattrygghet og infeksjonsbiologi

** OCEANOR

Havets miljø 2004 består av to hovuddeler. I den første delen, som famnar om kapitla 1-6, blir det rapportert frå det faste miljøovervakingsprogrammet til Havforskningsinstituttet. I den andre delen, kapittel 7, blir ein del aktuelle tema presenterte meir grundig. Vi vil også visa til rapportane *Havets ressurser 2004* og *Havbruksrapporten 2004*. Den første gjev ein oversikt over utvikling og tilstand til dei viktigaste bestandane for dei norske fiskeria, medan *Havbruksrapporten* presenterer aktuelt stoff for havbruksinteresserte.

Innhaldet i kapittel 1-6

Oppgåva til Havforskningsinstituttet er å få fram, gjennom forskning og overvaking, kunnskapsgrunnlaget for ei bærekraftig forvaltning av det marine miljøet og for ei økologisk forsvarleg hausting av fiskebestandar og andre ressursar. Analyser av dei lange tidsseriane som Havforskningsinstituttet har, viser at det er eit nært samspel mellom havmiljøet og fiskebestandane. Variasjonar i havmiljøet verkar inn på den geografiske fordelinga, veksten og rekrutteringa til fiskebestandane. Miljøtilstanden i havet blir difor no teken meir og meir omsyn til når utviklinga i fiskebestandar skal vurderast. I dei siste åra har botnsamfunna i hava kome meir i fokus, og kartlegginga av korallførekomstane langs norskekysten er å sjå på som ein oppstart av dette viktige arbeidet. Vidare veit vi at havområda blir tilført forureiningar av ulike slag, og det er viktig å overvaka nivået av forureining i hava, både for å kunna varsle om skadeverknadar på miljøet og for å kunna garantera at norsk mat frå havet er rein og av høg kvalitet. Miljøundersøkingar har difor alltid hatt ein viktig plass i verksemda til Havforskningsinstituttet.

I den seinare tida er også problemstillingar knytta til klimasvingingar og eventuelle menneskeskapte klimaendringar blitt svært aktuelle. For å kunna visa endringar i klima, naturlege og eventuelt menneskeskapte, er det viktig å ha lange tidsseriar av miljødata. Havforskningsinstituttet har nokre av dei lengste tidsseriane på havmiljødata i verda. I dag er Havforskningsinstituttet medeigar og aktiv samarbeidspartnar i Bjerknessenteret, som er eit nasjonalt "senter for framfrå forskning" innan marint klima.

Overvakinga

Eit stort nett av observasjonar i faste snitt og stasjonar i havområda kring Norge er sjølve ryggrada i Havforskningsinstituttet si miljøovervaking (Figur 0.1 og 0.2). I tillegg kjem overflatedekninga i havområda gjennom toktverksemd knytt til fiskebestandsovervakinga. Kwart år blir det også samla inn miljødata frå 44 fjordar frå og med Oslofjorden til Aust-Finnmark. Gjennom den såkalla termograftenesta blir temperatur og saltinnhald målt i overflata heile året

langs strekninga Aberdeen-Rogaland og opp langs kysten til Varangerfjorden ved hjelp av rutegående skip, m.a. Hurtigruta.

I økosystema i Barentshavet og Norskehavet er hovudvekta lagt på overvaking av havklima, dyreplankton og fiskelarver. Dette gjev grunnlag for å vurdere miljøtilhøva for vekst, fordeling og rekruttering av bestandane av lodde, torsk og sild. I Barentshavet vart overvakinga av miljøgifter og radioaktivitet trappa opp etter 1991, og i 1994 vart det utført innleiande undersøkingar av miljøgifter i Norskehavet.

I Skagerrak og Nordsjøen og økosystema på kysten og i fjordane er overvakinga hovudsakleg knytt til havklima, antropogent tilførte næringssalt, skadelege alger og miljøgifter. I tillegg har kartlegginga av botnsamfunna langs kysten fått meir merksemd på Havforskningsinstituttet dei siste åra, og i 1997 starta arbeidet med ei rutinemessig kartlegging og registrering av korallførekomst. Korallreva er viktige levestader for andre dyr, mellom anna for botntilknnyta fisk, og har eit svært høgt biologisk mangfald.

Økosystemtilnærming i overvakinga

Kapitla 1-4 i rapporten avspeglar at ei økosystemtilnærming ligg til grunn for miljøovervakinga, då overvakingresultata er samla for Barentshavet (Kapittel 1), Norskehavet (Kapittel 2), Nordsjøen og Skagerrak (Kapittel 3) og for kysten og fjordane (Kapittel 4). Innan områda blir havklima og produktivitet vurdert. Produktiviteten innan eit havområde avheng av miljøtilhøva her, og bestemmer kor mykje mat som blir tilført næringsnettet i området. Utviklinga av fiskebestandar kan difor ikkje sjåast isolert frå miljøtilhøva og matproduksjonen for fiskelarver og vaksen fisk der fisken finn maten sin. Likevel finn ein oftast ikkje enkle samanhengar mellom variasjonar i miljøtilhøve og utviklinga av fiskebestandar. Det er difor ei utfordring å finna betre måtar å nytta miljødata på, slik at desse kan brukast for å få sikrere tal på utviklinga av fiskebestandar. Også når det gjeld overvakinga av miljøgifter i økosystema kan ei klare økosystemtilnærming gjeva betre og meir målretta resultat. Mange farlege miljøgifter blir berre seint brotne ned, noko som gjer at konsentrasjonen av dei i næringsnettet blir større di nærare vi kjem topp-byttedyretarane. Dette er årsaka til at vi ser størst skadeverknadar av miljøgifter, t.d. i form av redusert rekrutteringsevne, hos desse.

Havforskningsinstituttet er no blitt omorganisert, og økosystemtankegangen speglar seg klarare i den nye strukturen. Miljødata-innsamlinga, og utviklinga av kunnskap om økosystema og korleis økosystema fungerer, blir då viktigare enn nokonsinne. Vi gjev ordet til **Ole Arve Misund**, tidlegare

Denne rapporten refereres slik: This report should be cited:
Kjersti Sjøtun (red.), 2004. Havets miljø 2004. Fisken og havet, særnr. 2-2004.

forskningsdirektør ved Senter for marint miljø, og noverande forskningsdirektør med ansvar bl.a. for Norskehavs- og Nord-sjøprogrammet:

Fra fagsentrert til økosystembasert havforskning

Siden sommeren 2002 har vi ved Havforskningsinstituttet arbeidet med å utvikle en ny organisasjon for bedre å kunne levere økosystembasert havforskning og rådgivning. Organisasjonsutviklingen kommer som en konsekvens av myndighetenes målsetting om økosystembasert forvaltning av ressurser og miljø i våre havområder slik det er uttrykt i Stortingsmelding nr. 12 (2001–2002) *Rent og Rikt Hav*, som ble lagt frem i mars 2002. En viktig motivasjon for organisasjonsutviklingen har også vært å finne frem til en virksomhetsmodell som gir Havforskningsinstituttets medarbeidere anledning til å levere bedre forskning og rådgivning, og dermed høyne kvaliteten på produktene til instituttet.

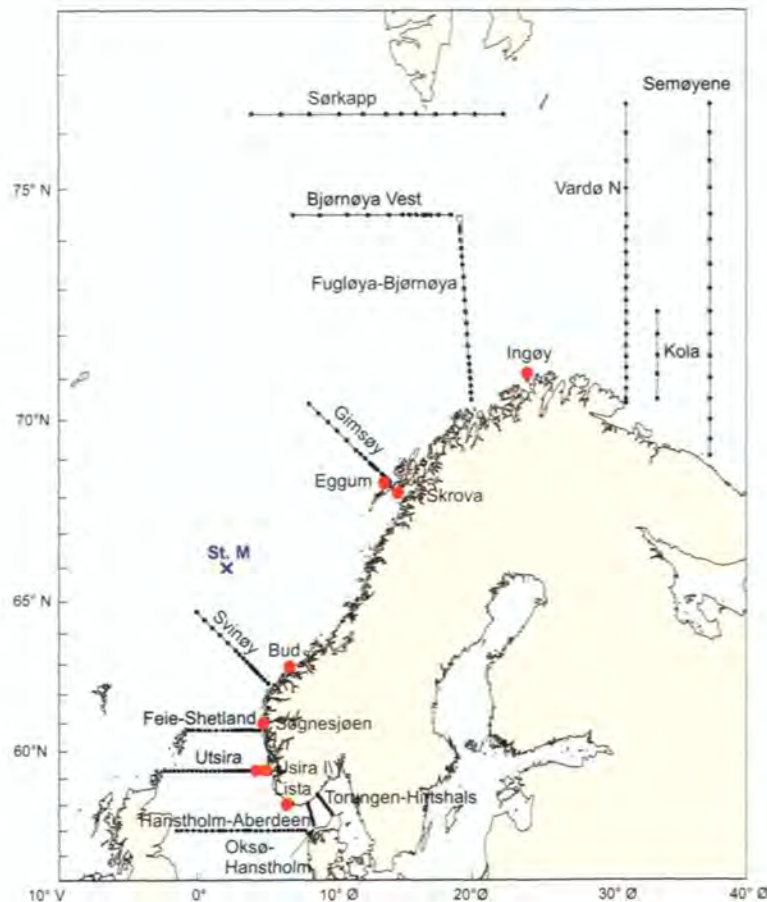
Som videreføring av Havforskningsinstituttets miljørettede forskning og rådgivning er organisasjonsutviklingen som nå er gjennomført, en konsekvens av den faglige argumentasjon som har vært ført fra ledende forskere ved instituttet. At Havforskningsinstituttet tar konsekvensene av egen faglig argumentasjon til forvaltningsmyndighetene ved å gjennomføre en organisasjonsutvikling, som gjør med arbeiderne

bedre i stand til å gjennomføre og levere økosystembasert forskning og rådgivning, er derfor helt naturlig. Det er nå opp til instituttets ledelse og medarbeidere å vise frem en forsknings- og rådgivningsorganisasjon som fungerer gjennom å gi innhold til det nye begrepet "økosystembasert forskning og rådgivning".

I årets utgave av *Havets ressurser* gir kollega Åsmund Bjordal og jeg en nærmere redegjørelse for begrepet økosystembasert forvaltning, samt en oversikt over organisasjonsutviklingen ved instituttet.

Innholdet av temadelen, kapittel 7

Denne delen av *Havets miljø 2004* er avsett til forskarar ved Havforskningsinstituttet samt deira samarbeidspartnarar, for presentasjonar av nye og spennande tema og forskingsresultat. Aller først i år kjem ei omtale av ei bok om økosystemet i Norskehavet, som blir ferdig i desse dagar. Boka oppsummerer den kunnskapen som forskarar ved Havforskningsinstituttet no har om økosystemet i Norskehavet, og vil utan tvil bli ei nøkkelbok i utviklinga av ei økosystembasert forvaltning av Norskehavet. Deretter kjem ein artikkel om den omfattande samordninga ved Havforskningsinstituttet av datainnsamlinga i Barentshavet i fjor. Artikkelen viser at arbeidet med å få fram eit betre kunn-



Figur 0.1
Faste oseanografiske snitt og stasjoner.
Fixed oceanographic sections and stations.

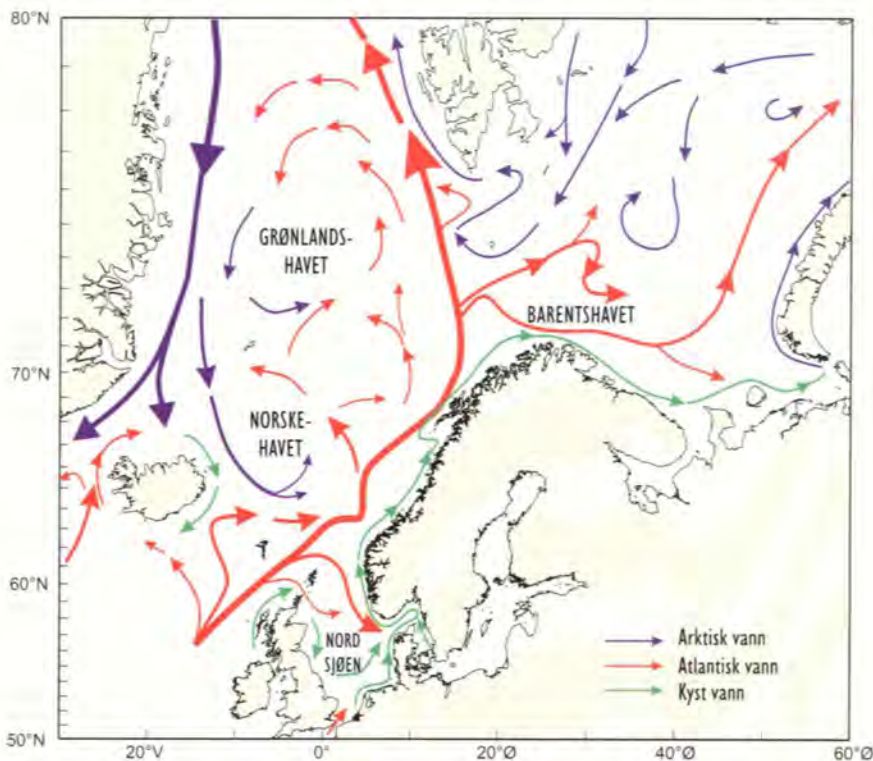
skapsgrunnlag for ei meir økosystembasert forvaltning av dette området er i gang.

Deretter blir ei rekkje aktuelle tema handsama: havklima, introduserte artar, algovervaking og effektar av seismikkaktivitet og utslepp av technetium-99 på det marine miljøet. To artiklar handsamar klima og vær i nordområda. Den første peikar på at det ikkje er usannsynleg at vi vil få det varmare og meir isfritt i nordområda i framtida, og i den andre kjem det ei åtvaring mot å ta for lett på været i Barentshavet når ein tenkjer seg oljeproduksjon i dette området. Frå siste halvdel av 1990-talet av har temperaturane i havområda våre stort sett vore høge. Det er tankevekkjande at dei var høge også i 2003. Vi kan imidlertid ikkje vita om dette har si årsak i menneskeskapt aktivitet som verkar inn på det globale klimaet. Ei rekkje andre aktuelle problem i det marine miljøet er derimot utan tvil menneskeskapte. Introduserte marine artar er artar som ikkje er naturleg heimheyrande i våre farvatn, men som har havna her med litt hjelp av menneske på ein eller annan måte. Det er viktig å få kunnskap om kva verknadar slike introduserte artar kan ha på våre heimlege artar. I ein artikkel om ein svært aktuell introdusert art i Barentshavet, kongekrabben, blir Havforskningsinstituttet sin forskningsplan over problemstillingar knytta til denne arten presentert. Eit stadig tilbakevendande problem for skjellnæringa langs kysten er oppblomstringar av giftige planktonalger, og ein temaartikkel tek føre seg resultatane frå overvaking og forskning på giftige planktonalger dei siste fem åra. Seismikkaktivitet og og utslepp av miljøgifter er døme på menneskeskapte aktivitetar som har verknadar på

miljøet av ulik grad og med ulike fylgjer, og desse to tema blir handsama i kvar sin artikkel. Seismikkaktiviteten er blitt mistenkt for å kunna verka inn på forekomstar av tobis i Nordsjøen. Tilførsla av technetium-99 har ikkje har ført til konsentrasjonar over tiltaksgrensa i organismer langs norskekysten, men det gjev grunn til uro at halveringstida for denne isotopen er på ufattelege 213 000 år. I siste delen av kapittel 7 fylgjer to temaartiklar som handlar om fisk. Den første tek føre seg fordeling av fiskeegg i hava, og den andre viser at kysttorsken langs Sørlandskysten i stor grad held seg til kvar sin fjord. Heilt til slutt kjem to litt spesielle tema; i ein artikkel om oksygenet i havet blir vi presenterte for det som kanskje blir den framtidige måten å måla oksygen på, og til slutt kjem ein rapport frå det store MAR-ECO-prosjektet med presentasjonar av nyoppdaga artar frå djupet langs den Midt-Atlantiske ryggen.

Vi takkar for at vi har fått høve til å nytta data frå Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen og Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk. Innan algovervakinga takkar vi for samarbeidet med Fiskeridirektoratet, OCEANOR, NIVA, Norges veterinærhøgskole, Næringsmiddelkontrollen i Midt-Rogaland og Statens næringsmiddeltilsyn.

Redaksjonskomiteen for Havets miljø har bestått av: Kjersti Sjøtun (redaktør), Karen Gjertsen (teknisk redaktør), Bjørnar Ellertsen og Hege Iren Svensen (formgjeving). Korrektoren er lesen av redaksjonskomiteen. Ingunn Bakke-teig og Berit M. Gullestad.



Figur 0.2
Midlere strømforhold i Nordsjøen, Norskehavet, Grønlandshavet og Barentshavet.
The mean current system of the North Sea, Norwegian Sea, Greenland Sea and Barents Sea.

Havklimaet

Det var forholdsvis varmt i hele det sørlige Barentshavet i store deler av 2003, men med relativt mye is. Det er ventet lavere temperatur i 2004 sammenlignet med 2003, mens det derimot ikke ventes endringer i isforholdene. Det er derfor ikke ventet at klimaet vil bidra til at vi får sterke årsklasser av fisk i 2004.

I Norskehavet ventes det ikke noen vesentlig omlegging av varmetransporter og sirkulasjon i 2004 og 2005. I den østlige delen vil temperaturen i det innstrømmende atlantehavsvannet til Norskehavet forventes å ligge over normalen i 2004. Den sørvestlige delen vil fortsatt være under sterk innflytelse av arktiske vannmasser, mens det i den sentrale og nordlige delen forventes en fortsatt økt atlantisk innflytelse.

Produksjonsforhold

Bestanden av dyreplankton i Barentshavet høsten 2003 var litt lavere enn året før, og nær opp til langtidsmiddelet for 1988-2003. En viktig faktor som bestemmer mengden av

dyreplankton er mengden av planktonspisende fisk, først og fremst lodde. Loddebestanden var liten i 2003 og vil også være det i 2004. Det betyr fortsatt lavt beitetrykk på dyreplanktonet. De oseanografiske prognosene for 2004 antyder kaldere vann enn i 2003, noe som kan bidra til en lavere planktonproduksjon. Det er usikkert om planktonmengden totalt sett vil øke eller minke, men det ligger ikke an til store endringer.

Loddebestanden er sterkt redusert, og prognosen for årets gytebestand tilsier at bare under svært gode overlevelsesforhold for larvene vil det kunne produseres en god årsklasse i 2004.

Når det gjelder Norskehavet er gytebestanden av sild på et stabilt og høyt nivå, slik at grunnlaget for at vi skal få en god årsklasse er det beste. Om det kommer til å skje er helt avhengig av det abiotiske og biotiske forholdene vår og sommer 2004.

Ocean climate

In 2003 the southern Barents Sea was warmer than average, but there were more sea ice than average. In 2004, we expect lower temperatures compared with last year, while the ice conditions will be approximately the same as in 2003. It is not expected that the climate conditions will be favorable for strong year-classes of fish in 2004.

In the Norwegian Sea no major changes in the main patterns for circulation or transport of heat are expected in 2004 and 2005. The Atlantic water in the eastern part is expected to be warmer in 2004 than normal. The south-western part will continue to be dominated by Arctic water. In the central and northern Norwegian Sea the influence of Atlantic water will increase.

Production of zooplankton

The zooplankton biomass in 2003 was close to the mean (7.0 g m^{-2}) for 1988-2003. Capelin is the most important predator on zooplankton in the Barents Sea. The fish stock was low in 2003 and will remain low in 2004, exerting a low grazing pressure on the zooplankton. The sea temperature is expected to decrease in 2004, reducing the production possibilities. In all, the biomass and production of zooplankton will not change much in 2004.

The capelin stock is strongly reduced, and only very good conditions for survival of the larvae will result in a good year class in 2004. The spawning stock of herring in the Norwegian Sea holds a stable and high level, and the conditions for production of a strong year class are thus present. However, the realization of a strong year class of herring is dependent on both biotic and abiotic conditions during spring and summer 2004.

Rapporten presenterer resultater fra Havforskningsinstituttets miljøovervåkningsprogram i norske kyst- og havområder. Området er delt inn i fire store økosystemer: Barentshavet, Norskehavet, Skagerrak og Nordsjøen, kysten og fjordene. Disse økosystemene har karakteristiske fysiske, kjemiske og biologiske forhold som følges fra år til år. I økosystemene i Barentshavet og Norskehavet er hovedvekten lagt på overvåkning av havklima, dyreplankton og fiskelarver. Dette gir grunnlag for å vurdere miljøforholdene for vekst, fordeling og rekruttering for bestandene av lodde, torsk og sild. Havforskningsinstituttet har siden 1997 gjennomført en årlig feltundersøkelse for å kartlegge korallforekomster i norske havområder, og alle rapporterte forekomster registreres i en database. I Barentshavet ble overvåkingen av miljøgifter og radioaktivitet trappet opp etter 1991, og i 1994 ble det utført innledende undersøkelser av miljøgifter i Norskehavet. I Skagerrak og Nordsjøen, og økosystemet på kysten og i fjordene, er overvåkingen hovedsakelig knyttet til problemstillinger omkring antropogent tilførte næringsalter, skadelige alger og miljøgifter.

Barentshavet

Havklima. På årsbasis var 2003 varmere enn gjennomsnittet for perioden 1977-2003. Særlig vår- og sommertemperaturene var høye, med over $0,5^{\circ}\text{C}$ over langtidsmiddelet. Dette skyldes stor innstrømming av atlantehavsvann i første halvdel av året. Utover høsten avtok temperaturen og nærmet seg langtidsmiddelet. Ismengden i 2003 var større enn normalt, og det var mer is i Barentshavet enn hva temperaturforholdene skulle tilsa. Ismeltingen startet omtrent en måned senere enn hva som har vært vanlig de siste årene.

Planktonproduksjon. Fra 2002 til 2003 sank den gjennomsnittlige planktonbiomassen i Barentshavet fra $6,88$ til $6,61$ g m^{-2} og ligger nå litt under gjennomsnittet for 1988-2003. Den høyeste verdien ble registrert i 1994 ($12,8$ g m^{-2}).

Loddelarver. Loddelarvene hadde en sentral og vestlig utbredelse i 2003, i tråd med den vestlige gytingen dette året. Det totale antallet loddelarver ble beregnet til $11,2 \times 10^{12}$, noe som er ca. halvparten av hva som ble funnet i 2002, men det høyt i forhold til de fleste år i denne tidsserien.

Norskehavet

Havklima. Det relativt varme atlantehavsvannet som strømmer inn i Norskehavet i syd, medfører at det nordvestlige Europa har et meget mildt klima i forhold til sin geografiske bredde. Varmemengden som tilføres via havstrømmen er et resultat av både mengden vann i strømmen og temperaturen på dette vannet. I Færøy-renna ble det i 2003 observert de høyeste verdiene av både temperatur og saltholdighet siden 1950. Høye temperaturverdier i det atlantiske vannet er også observert i det sørlige Norskehavet. Året 2003 var det varmeste året siden tidsserien startet i 1978, med en sommertemperatur på ca. $0,7$

$^{\circ}\text{C}$ over langtidsmiddelet. I 2003 var det også en større vestlig utbredelse av det atlantiske vannet i både det sørlige og sentrale Norskehavet enn det som har vært normalt de siste ti årene. Temperaturen for mai i 100 m dyp var i de sentrale områdene ca. $0,5$ $^{\circ}\text{C}$ over middelet og i enkelte områder $1,5$ $^{\circ}\text{C}$ over middelet. I det nordlige Norskehavet var det derimot en liten nedgang i temperaturen.

Planktonproduksjon og sild. Mengden av dyreplankton i arktiske vannmasser i Norskehavet var høyere i 2003 enn året før. I de atlantiske vannmassene var det en nedgang i planktonmengdene i forhold til fjoråret. Lave planktonmengder i øst og høye i vest kan være med å forklare den vestlige fordelingen av sildebestanden i mai 2003. Kondisjonsindeksen for silda i 2003 var rundt gjennomsnittet for tidsperioden 1995-2003, dette kan skyldes sildas evne til å beite i de høyeste planktonkonsentrasjonene.

En horisontaldeknning av Norskehavet i juli/august har vært foretatt hvert år siden 1994. Gjennomsnittsbio-massen av dyreplankton fram til 2003 er $7,15$ g m^{-2} pr. år. I 2003 var planktonkonsentrasjonene svært lave, i snitt ca. 4 g m^{-2} , det laveste som er registrert siden undersøkelsene startet. En sammenlikning med tidligere år er usikker pga. en lavere dekningsgrad i 2003 enn tidligere.

Sildelarver. Det ble i 2003 observert mye færre sildelarver enn vi har gjort de siste årene, og det er ikke funnet så få larver på over 10 år. Det ble funnet sildelarver fra Malanggrunnen, der undersøkelsene startet, til Røstbanken. Det ble i tillegg funnet sildelarver ved Sklinnabanken og i området fra Stad til Haltenbanken. Tyngdepunktet i sildelarvefordelingen var i 2003, som i 2002, lenger nord enn det som har vært vanlig siden vi startet opp igjen disse undersøkelsene i 1985.

Nordsjøen og Skagerrak

Havklima. Sirkulasjonen i Nordsjøen var ganske normal i 2003, men med den svakeste innstrømmingen gjennom Den engelske kanal siden 1976. Innstrømmingen av atlantisk vann til den nordlige Nordsjøen var noe sterkere enn normalt. I 3. og 4. kvartal av 2003 var temperaturen henholdsvis over 2 $^{\circ}\text{C}$ og 1 $^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt i overflatevannet av Nordsjøen. Utenfor Skagerrakkysten var det i 2003 betydelig mindre brakkvann enn året før. En meget varm sommer og ettersommer resulterte i en kraftig oppvarming av overflatelaget, og utenfor Havforskningsinstituttet Flødevigen var overflatetemperaturen i juli 2 $^{\circ}\text{C}$ høyere enn gjennomsnittstemperaturen de siste 30 år. Det fant sted en utskiftning av dypvannet i Skagerrakbassenget våren 2003.

Plankton og næringsalter. I den nordlige delen av Nordsjøen viste beregninger foretatt ved hjelp av en modell en høyere primærproduksjon i 2003 enn den midlere primærproduksjonen beregnet for 1985-2003. Dette skyldes den noe sterkere innstrømmingen av næringsrikt atlantisk vann i 2003. Sam-

tidig viste beregningene en lavere primærproduksjon i sør og øst, spesielt langs danskekysten. Dette skyldes bl.a. den reduserte innstrømmingen gjennom Den engelske kanal, som igjen resulterte i at reduserte mengder næringsrikt vann fra tyske elver, med utløp i den sydlige del av Nordsjøen, ble fraktet nordover langs danskekysten. Forholdet mellom nitrogen og fosfat (N:P) var betydelig lavere i dette området enn hva det har vært de siste to årene. Algeåret 2003 i Skagerrak var normalt, og uten større oppblomstringer. Vår oppblomstringen av kiselalger på norsk og dansk side var nokså synkron. Gjennom siste halvår av 2003 var det gjennomgående relativt lite alger.

Kysten og fjordene

Kystklima. Temperaturene i øvre lag av kystvannet var i hele 2003 høyere enn det normale, og særlig i august og september var det varmt. Det ble f.eks. målt temperaturer opptil 5 °C over normalen ved Utsira i begynnelsen av august 2003. I dypere lag av kystvannet (150 m) var det også i 2003 forholdsvis varmt langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark.

Plankton. I et bredt nasjonalt samarbeid presenteres løpende informasjon om planktonalgeoppblomstringer langs kysten, med særlig vekt på skadelige typer, på Internett (<http://algeinfo.imr.no>). I 2003 var det en relativt kraftig vår oppblomstring av kiselalger langs kysten av Skagerrak i mars-april. Det samme var tilfellet langs kysten av Vestlandet nord til Trøndelag. Lenger nord kom vår oppblomstringen, som vanlig, litt senere. Ved siden av kiselalger, var gelealgen *Phaeocystis* vanlig under vår oppblomstringen langs kysten fra Vestlandet og nordover, med økende innslag nordover. Etter vår oppblomstringen var det i Åfjorden i Nord-Trøndelag en uvanlig oppblomstring av flagellaten *Eutreptiella cf. gymnastica*, der nærmere 23 mill. celler per l ble påvist i første uke av mai. Ellers var det tidvis mye kiselalger i mange av fjordene, og særlig utover sommeren og høsten var slekten *Pseudo-nitzschia* vanlig. I nord var kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* uvanlig tallrik i 2003.

Organisk belastning. Den organiske belastningen i fjorder på Sørlandskysten har økt betydelig etter ca. 1980. Dette har ført til økt oksygenforbruk, som igjen har ført til forverrede oksygenforhold under terskeldypet i en rekke fjord- og kystbasseng langs Skagerrakkysten. I april 2003 ble en innstrømming av nytt, oksygenrikt vann til bassengvannet i Nordfjorden ved Risør og i Håøyfjorden og Frierfjorden i Langesundsområdet observert, etterfulgt av minkende oksygenverdier gjennom resten av året. I Lysefjorden i Rogaland har oksygenforholdene i fjordbassenget vært gode fram til midten på 1990-tallet. I de senere årene er en forverring observert grunnet manglende innstrømming av nytt vann, og i 2003 var oksygenforholdene kritiske i fjorden.

Skadelige alger. Det var ikke noen spesielt store problemer knyttet til skadelige alger langs kysten i 2003, men noen uvanlige hendelser fant likevel sted. ASP-gifter over faregrensen for konsum ble for første gang påvist i blåskjell i Norge. Forekomsten av potensielt skadelige alger i

Nord-Norge var gjennomgående noe større enn vi har sett tidligere, og det var en del påvisninger av algegifter i skjell, både diarégivende og lammende. Algegiftene azaspiracider ble påvist i konsentrasjoner over faregrensen i skjell i Troms og Finnmark i perioden august-oktober, og omtrent samtidig også i skjell fra Skagerrakkysten. Lammende gifter ble påvist i skjell flere steder langs kysten av Skagerrak fra slutten av mai til begynnelsen av juli 2003, selv om *Alexandrium* spp., som kan være kilde til de lammende giftene, knapt ble påvist.

Kartlegging og overvåking av koraller

Det nye forskningsskipet FF G.O. Sars byr på nye muligheter for effektiv kartlegging av korallrev i norske farvann. Dette viser erfaringene fra toktet i juli 2003, der korallrev for første gang ble kartlagt ved hjelp av to nye multistråle-ekkolodd. Bekreftelser av ekkoloddregistreringer av korallrev ble utført ved hjelp av videofilming utført med miniubåten "Aglantha". Kartleggingen ble konsentrert om Røstrevet, som ligger nord for Trænadypet, og om området langs eggakanten fra Bleikdjupet nord til Sveinsgrunnen. Steinavær i Andfjorden ble også kartlagt. I Trænadypet ble et område på 23 x 13 km kartlagt. Multistrålekartene ble tolket av marinbiologer og maringeologer. Resultatene viser at det er mer enn 1400 mulige korallrev med en gjennomsnittlig lengde på 150 m i dette området. Det ble dokumentert klare effekter av bunntråling langs eggakanten utenfor Sveinsgrunnen.

Forurensning

Oljeforurensning i fisk. I 2003 ble det i regi av et samarbeidsprosjekt mellom Havforskningsinstituttet, ITM-Universitetet i Stockholm, NIFES, NIVA, RF-Akvamiljø og SINTEF analysert fiskeprøver tatt fra Tampen- og Sleipnerregionen i Nordsjøen i 2002. Nivåene av alkylfenoler og aromatiske hydrokarboner (NPD/PAH) i fisk fra områder med utslipp fra oljeinstallasjoner er sammenlignet med nivåene i fisk fra et referanseområde (Egersundbanken). Det ble også blant annet gjennomført målinger av gallemetabolitter av NPD/PAH i fisken, og målinger av biomarkører for å bestemme biologiske effekter av operasjonelle utslipp. Foreløpige resultater viser at nivåene av oljekomponenter i fisk fra områder med store utslipp fra oljeinstallasjoner er like lave som de i fisk fra referanseområdet, men enkelte av de biologiske analysene kan tyde på at utslippene kan påføre hyse effekter på arvestoffet.

Radioaktivitet. De viktigste menneskeskapt radionuklidene i våre farvann er technetium-99 (Tc-99) med en halveringstid på 213 000 år og cesium-137 (Cs-137) med en halveringstid på 30 år. I dag er Tsjernobyl-ulykken en viktig kilde til Cs-137-forurensning, mens utslippene fra Sellafield-anlegget er den viktigste kilden til Tc-99-forurensning. Havforskningsinstituttet og Statens Strålevern samarbeider om overvåking av radioaktiv forurensning i det marine miljø, og Havforskningsinstituttet holder nå på med å etablere en metode for overvåking av Tc-99 i norske havområder. I 2003 ble arbeidet konsentrert om Barentshavet, og det ble tatt prøver av fisk, sedimenter og sjøvann. Konsentrasjonene av Cs-137 i fisk fra Barentshavet i 2003 tilsvarer det som er målt i tidligere år, og ligger langt under faregrensen.

The report presents results from the environmental monitoring programme in Norwegian coastal and ocean areas. The areas are divided into four large ecosystems: the Barents Sea, the Norwegian Sea, the Skagerrak and the North Sea, and the coastal zone including the fjords. Physical, chemical and biological properties of all these ecosystems have been monitored. For the Barents Sea and Norwegian Sea emphasis was placed on the monitoring of ocean climate, zooplankton and fish larvae. This provides the basis for the consideration of the environmental conditions for growth, distribution and recruitment of capelin, cod and herring. Since 1997 there has been an annual registration and monitoring of coral reefs in Norwegian waters. Coral reef registrations are collected in a data base. In the Barents Sea the monitoring of organic contaminants and radioactivity was increased after 1991, and in 1994 the investigations of organic contaminants in the Norwegian Sea started. The monitoring of the Skagerrak and the North Sea, the coastal zone and the fjords has focussed on the anthropogenic nutrient loads, harmful algae and organic contaminants.

The Barents Sea

Ocean climate. The water temperatures in the Barents Sea were above the average in 2003. Early spring and summer temperatures were 0.5°C above the long-term mean. This was due to a very strong inflow of Atlantic water during the first four months of the year. In 2003 the sea ice cover differed from the previous years. It was more ice during winter, and the ice melting started approximately one month earlier than what has been "normal" the last 10 years.

Zooplankton production. The average zooplankton biomass in the Barents Sea decreased from 6.88 to 6.61 g m⁻² between 2002 and 2003. This is just below the mean value for 1988-2003. The highest level was recorded in 1994 with 12.8 g m⁻².

Capelin larvae. The capelin larvae were distributed in the central and western part of the Barents Sea in 2003, which is natural since the spawning took place in the western part. The total number of capelin larvae was estimated to 11.2 x 10¹², which is about half the number from 2002, but still relatively high compared to estimated numbers during most years of the time series.

The Norwegian Sea

Ocean climate. The relatively warm Atlantic water flowing into the Norwegian Sea in the south contributes to the mild climatic conditions in northern Europe. The amount of heat in the ocean current is a result of both the volume transport and the water temperature. In the Faroe-Shetland Channel, values of both the temperature and salinity were the highest observed since the start of the time series in 1950. High

temperature values were also observed in the southern part of the Norwegian Sea. Here the Atlantic water was about 0.7 °C above the long-term-mean. In 2003 the Atlantic water in the southern and central Norwegian Sea also had a larger westerly distribution than normal for the last ten years. At 100 m depth the temperature in May was about 0.5 °C above normal and in some areas 1.5 °C above normal. In the northern part of the Norwegian Sea, however, the temperature was less than normal.

Plankton production and herring. In 2003 the recordings of zooplankton showed higher values in the Arctic waters and lower values in the Atlantic waters than 2002. Low amounts of zooplankton in the eastern part and high amounts in the western part may partly explain the westerly distribution of the herring stock in May 2003. The condition index of herring was around average in 2003, which may be a result of the herrings' ability to feed in areas with highest plankton concentrations.

Zooplankton in the Norwegian Sea has been estimated from large-scale surveys annually since 1994. Average zooplankton biomass until 2003 is 7.15 g m⁻² yr⁻¹. In 2003 the concentrations were low, on average around 4 g m⁻², which is the lowest recording during the time series. However, a comparison between 2003 and previous years is difficult since sampling was reduced in 2003.

Herring larvae. In 2003 much fewer herring larvae were found than the previous years. The herring larvae were distributed from Malangsrunden to Røstbanken, at Sklinna-banken and in the area from Stad to Haltenbanken. The center of distribution has moved northwards compared to what we found in the 80'ies and 90'ies.

The North Sea and Skagerrak

Ocean climate. The circulation of the North Sea was normal in 2003 except from the lowest inflow through the English Channel since 1976. The inflow of Atlantic water to the northern part of the North Sea was somewhat stronger than normal. In the third and fourth quarter of 2003 the temperature of the surface of the North Sea was more than 2 °C and 1 °C higher than normal, respectively. Outside the coast of Skagerrak the water was more saline in 2003 than in 2002. A very warm late summer resulted in a high warming of the surface waters, and outside the Institute of Marine Research Flødevigen the temperature was 2 °C higher than average at the surface. An exchange of the deep water of the Skagerrak Basin was seen during spring 2003.

Plankton and nutrients. Model calculations suggested a higher primary production in the northern part of the North Sea during 2003 than the average primary production calculated for 1985-2003. This is due to a somewhat stronger inflow

than normal of Atlantic waters with high nutrient content. The calculations suggested a lower primary production in the eastern and southern part, in particular along the Danish coast. This is partly due to a low inflow of water through the English Channel, which in turn result in lower transport along the Danish coast of nutrient rich water from the German rivers with outlets in the southern North Sea. The N:P ratio was lower in this area than it has been the previous years. The phytoplankton conditions in Skagerrak were rather normal in 2003. No unusually large algae blooms were observed, nor were any harmful algae blooms detected. The spring bloom of diatoms was synchronous along the Norwegian and Danish coasts. Through the last six months of 2003 there were in average relatively small amounts of algae.

The coast and fjords

Ocean climate. In 2003 the temperatures of the surface coastal waters were above normal, and it was especially warm in August and September. It was e.g. recorded temperatures up to 5°C above normal at Utsira in the beginning of August 2003. Also the deeper parts of the coastal waters from Rogaland to Finnmark (150 m) had relatively high temperatures during 2003.

Plankton. In a national collaboration, updated information on algae blooms along the Norwegian coast is presented on the Internet (<http://algeinfo.imr.no>). The emphasis is on harmful species. The spring bloom of diatoms in southern Norway in 2003 occurred in March-April and was relatively large. In northern Norway the spring bloom occurred up to three weeks later compared to in the south. Besides diatoms the genus *Phaeocystis* is an important component of the spring bloom assemblage in the north. A flagellate, *Eutreptiella* cf. *gymnastica*, bloomed densely (23 million cells/l) for a short period in May in Åfjord in mid-Norway. Apart from that no exceptional blooms were reported, although *Emiliania huxleyi* was unusually numerous in the north during the summer 2003.

Organic load. The organic load of fjords along the coast of Sørlandet has increased considerably since around 1980. This cause an increase in oxygen consumption, which in turn results in impoverished oxygen conditions in several fjord and coastal basins along the coast of Skagerrak. In 2003 an inflow of oxygen rich water to the basin of the Nordfjord at Risør and in the Håøyfjord and Frierfjord in the Langesund area was observed, followed by decreasing levels of oxygen during the rest of the year. The oxygen conditions in the basin of the Lysefjord in Rogaland were good until around 1995, but has impoverished ever since, due to lack of inflowing water. In 2003 the oxygen level in the fjord reached a critical low level.

Harmful algae. There were no large problems due to harmful algae along the Norwegian coast in 2003, but a few unusual

incidents occurred. ASP-toxins above quarantine levels were for the first time recorded in blue mussels, and in August-October azaspiracides (AZA) were detected in blue mussels both in southern and northern Norway. In southern Norway paralytic toxins accumulated in mussels during May-June without significant presence of the classical source algae, *Alexandrium* spp., according to our monitoring. Toxin-producing bacteria could perhaps be the reason.

Recording and monitoring of corals

The new research vessel RV G.O. Sars is providing new possibilities for an effective mapping of coral reefs in Norwegian waters. This was demonstrated during the coral mapping cruise in July 2003 when two new and advanced multibeam echo sounders were used for the first time. Ground truthing was performed with the ROV "Aglantha". The survey was concentrated to the Røst-reef, the area north of the Træna deep, and the continental brake from Bleikdjupet north to Sveinsgrunnen. Steinavær in Andfjorden was also covered. In Træna a 23 x 13 km area was mapped. The multibeam maps were interpreted by marine biologists and marine geologists. The results indicate that there are more than 1400 possible coral reefs with an average length of 150 m in this area. Clear evidence of impact from bottom trawling was documented along the continental break off Sveinsgrunnen.

Pollution

Oil contamination in fish. In 2003 fish samples, collected in 2002 from areas with offshore petroleum activity in the North Sea, were analysed by the Institute of Marine Research, ITM-University of Stockholm, NIFES, NIVA, RF-Akvamiljø and SINTEF. Levels of alkylphenols and aromatic hydrocarbons (NPD/PAH) in fish from areas with oil and gas platforms were compared with those in fish from a control area. Analyses of NPD/PAH gall metabolites in fish were carried out, and indicators of biological effects due to discharges from oil platforms studied. Preliminary results show that the levels of oil components in fish from areas with oil and gas activities are as low as those in fish from the control area, but some of the biological analyses on haddock indicate genotoxic effects.

Radioactivity. The most important anthropogenic (man-made) radionuclides in Norwegian coastal waters are technetium-99 (Tc-99) and cesium-137 (Cs-137). The main sources of Cs-137 and Tc-99 are the Chernobyl accident and discharges from the Sellafield reprocessing plant, respectively. The Institute of Marine Research contributes to the monitoring of radioactive contamination in Norwegian waters, and a method for measuring and monitoring Tc-99 is now being implemented. In 2003 the monitoring was concentrated in the Barents Sea, where samples of fish, sediments and seawater were collected. As in previous years the concentrations of Cs-137 in fish from the Barents Sea were low in 2003, far below the level of concern.

Kapittel 1

Økosystemet i Barentshavet

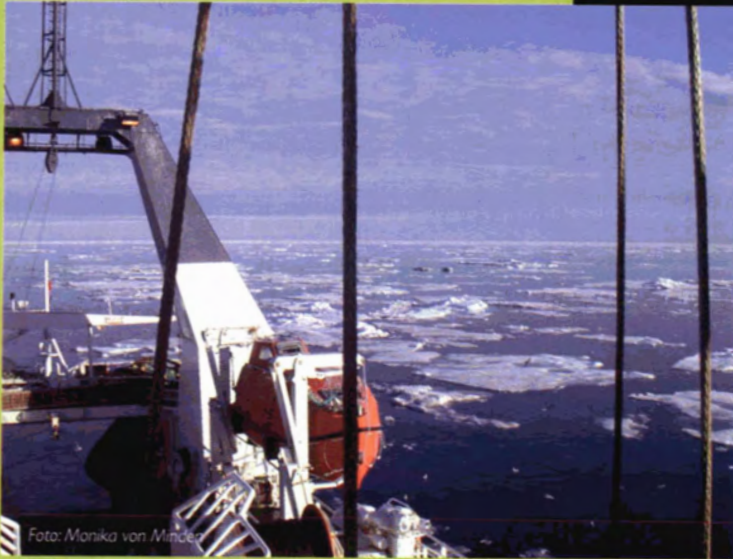


Foto: Manika von Minden

Økosystemet i Barentshavet

1.1

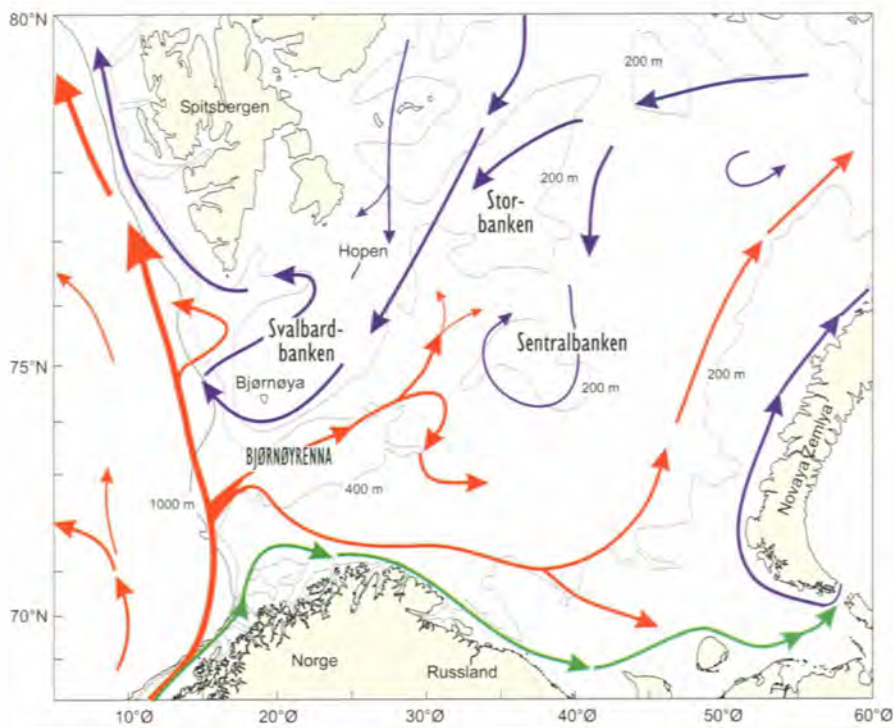
Havklima

Barentshavet er et sokkelhav på omtrent 1,4 millioner km² hvor størstedelen er grunnere enn 300 m og det midlere dypet er 230 m (Figur 1.1). Bunntopografien har stor innflytelse på fordeling og bevegelse av vannmassene. Innstrømningen av atlantehavsvann til Barentshavet skjer med Nordkappstrømmen, som deler seg i en nordlig og en sørlig gren. Strømmen av kaldt arktisk vann foregår fra nordøst mot sørvest. Barentshavet er karakterisert ved store variasjoner fra et år til et annet, både når det gjelder varmeinnhold og isforhold. Den viktigste årsaken til dette er endringer i mengden atlantehavsvann som strømmer inn i Barentshavet og temperaturen i dette vannet.

I perioden fra 1989 til 1995 var temperaturene i den vestlige del av Barentshavet høyere enn langtidsmidlet for perioden 1977-2000 (Figur 1.2). I slutten av 1995 avtok temperaturene i Barentshavet og lå stort sett under langtidsmidlet fram til

1998, og har deretter vært høyere enn gjennomsnittet. I januar 2003 var temperaturen i de vestlige deler nær langtidsmidlet mens det i de sentrale og østlige deler var noe lavere temperatur enn langtidsmidlet. I mars økte temperaturen betydelig i hele Barentshavet, spesielt i snittet mellom Fugløya og Bjørnøya hvor temperaturen var 0,8°C over midlet. Lengre øst var temperaturen 0,3°C over midlet. Hele denne oppvarmingen skyldes stor innstrømning av atlantehavsvann (se Figur 1.4 og tekst nedenfor). Resten av året lå temperaturen 0,5°C over midlet i de vestlige deler av Barentshavet, mens temperaturen i de sentrale og østlige deler lå ca. 0,3° over midlet, men med et liten økning helt mot slutten av året. På årsbasis var 2003 noe kaldere enn året før, men årsmidlet lå nesten en halv grad høyere enn midlet.

Figur 1.2 viser at saltholdigheten i snittet Fugløya-Bjørnøya i stor grad svinger i takt med variasjoner i temperaturen.



Figur 1.1

De viktigste trekkene ved sirkulasjonsmønstre og dybdeforhold i Barentshavet.

Røde piler: atlantisk vann. Blå piler: arktisk vann. Grønne piler: kystvann.

The main features of the circulation and bathymetry of the Barents Sea.

Red arrows: Atlantic water. Blue arrows: Arctic water. Green arrows: Coastal water.

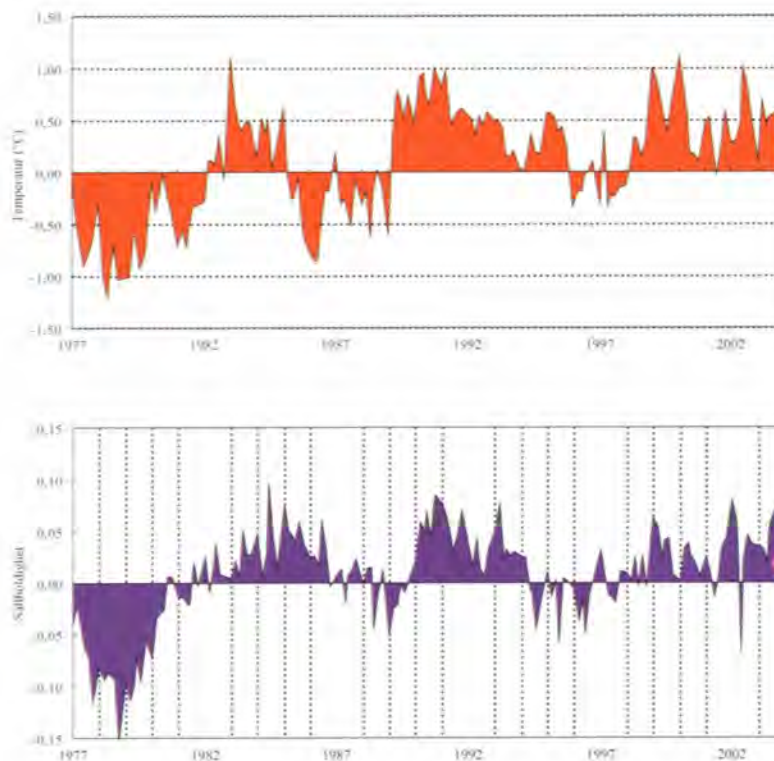
Dette gjelder også resten av de deler av Barentshavet som er influert av atlantehavsvann. Mot slutten av året var det tendenser til en økning av saltholdigheten i de sørlige deler av Barentshavet.

Med tanke på de forholdsvis høye temperaturene i 2003, var det ventet mindre is enn vanlig. Det viste seg å være feil, og året som helhet kom ut med mer is enn vanlig (Figur 1.3). I de vestlige deler av Barentshavet lå isen rundt 75°N nesten hele vinteren, mens den lenger øst lå sør til 73°N . Dette er veldig nær det som er gjennomsnittet. Imidlertid skjedde ismeltingen betydelig senere i 2003 enn det som har vært vanlig de siste årene. Blant annet trakk isen seg nord for 76°N mer enn en måned senere enn i 2002. Det som var karakteristisk under selve ismeltingen var et åpent område opp mot Frans Josefs Land rundt 40°Ø som var åpent hele sommeren. Vest for dette området ble isen liggende relativt langt sør, og det samme gjaldt øst for dette isfrie området. Det kan derfor konkluderes med at to forhold bidro til den negative isindeksen i 2003 (Figur 1.3):

- 1) Ismeltingen startet sent, slik at isen lå sør for 76°N lenger enn vanlig.
- 2) Ismeltingen i løpet av sommeren var mindre enn gjennomsnittet de siste årene.

For 2004 forventes det at ismengden blir den samme som i 2003, men isindeksen vil avhenge av ismeltingen sommeren 2004.

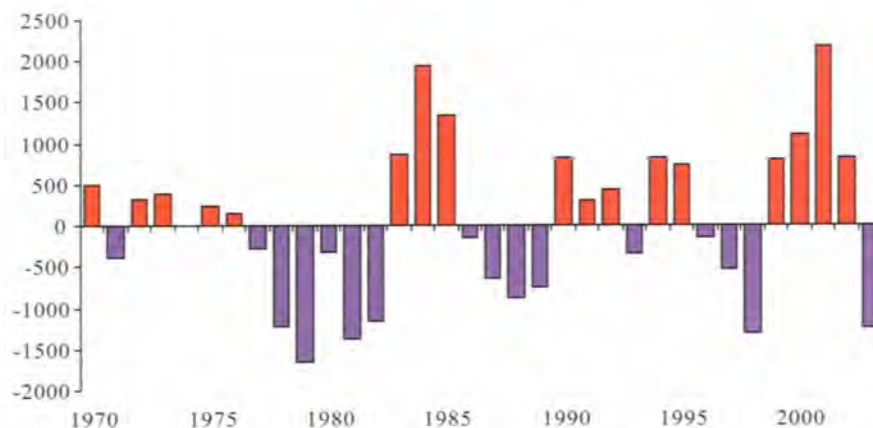
I 1997 begynte Havforskningsinstituttet med strømmålinger fra faste rigger i snittet mellom Fugløya og Bjørnøya. Figur 1.4 viser transport av atlantehavsvann inn i Barentshavet i perioden fra september 1997 og fram til september 2002. Figuren viser at det er store variasjoner i transporten fra måned til måned, og forskjellen er mer enn 10 Sverdrup (1 Sverdrup (Sv) er $1 \text{ mill. m}^3 \text{ s}^{-1}$, noe som tilsvarer transporten av vann i alle verdens elver til sammen). I gjennomsnitt transporteres det netto 2 Sv inn i Barentshavet, men i enkelte perioder strømmer det også betydelige mengder ut. Resultatene fra 2003 viser at den gjennomsnittlige innstrømningen av atlantehavsvann i de fire første månedene er den største som er observert siden målingene startet, noe som forklarer den store temperaturstigningen i begynnelsen av 2003. Lav innstrømning i mai var i tråd med det som er vanlig, nemlig lav innstrømning enten i april eller mai, slik som det er observert i tidligere år. Innstrømningen i løpet av sommeren 2003 var på nivå med det som ble observert i 1998 og 2002. Figur 1.5 viser modellert vinddrevet innstrømning til Barentshavet i 2002, framstilt som avvik fra et middel for perioden 1955-2002. Denne figuren viser at innstrømningen den første



Figur 1.2

Temperatur- og saltholdighetsavvik mellom 50 og 200 m dyp i snittet Fugløya-Bjørnøya i perioden 1977-2003.

Temperature and salinity anomalies between 50 and 200 m compared to the long-term mean 1977-2003.



Figur 1.3

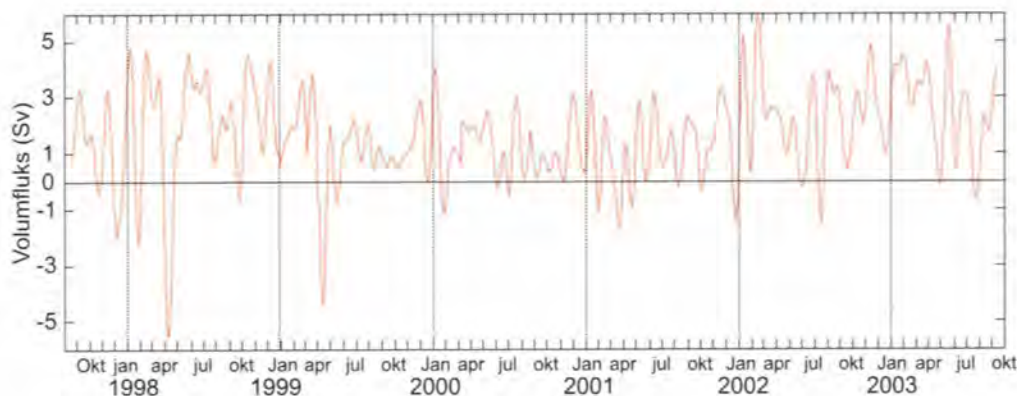
Isindeks for Barentshavet i perioden 1970-2003. Positive verdier betyr lite is, negative verdier indikerer mye is.

Ice index for the period 1970-2003. Positive values indicate little ice, while negative values show more severe ice conditions.

måneden var langt mindre enn gjennomsnittet. Dette er ikke urimelig, siden det i januar har vært en stor innstrømning i alle år målingene har pågått, men avviket er langt større enn hva observasjonene tilsier. De neste tre månedene stemmer godt med observasjonene. I tidsrommet mai–august viser modellen lavere innstrømning enn gjennomsnittet, noe som stemmer noenlunde godt med observasjonene, selv om disse viser langt større variasjoner fra måned til måned. De fire siste månedene av året viser modellen store variasjoner, fra en høy positiv anomali i august til en betydelig negativ anomali i desember. August ser ut til å stemme godt overens med de siste målingene som er utført så langt. Stort sett kan man konkludere med at observasjoner og modellresultater

stemmer relativt bra overens, men at samsvaret er noe dårligere noen måneder. Disse uoverensstemmelsene skyldes først og fremst at modellene kun gjenspeiler den vinddrevne delen av sirkulasjonen i havet, og resultatet i januar indikerer derfor at det stort sett var andre drivkrefter bak den observerte innstrømningen. Dette har tydeligvis vært tilfelle et par av sommermånedene også.

Analysen av lange tidsserier av temperaturforholdene i Barentshavet viser periodiske svingninger, med perioder fra to til omkring tjue år. Mye av den observerte variabiliteten kommer fra disse periodiske endringene, og vi kan derfor bruke statistiske metoder for å varsle de fremtidige tempera-



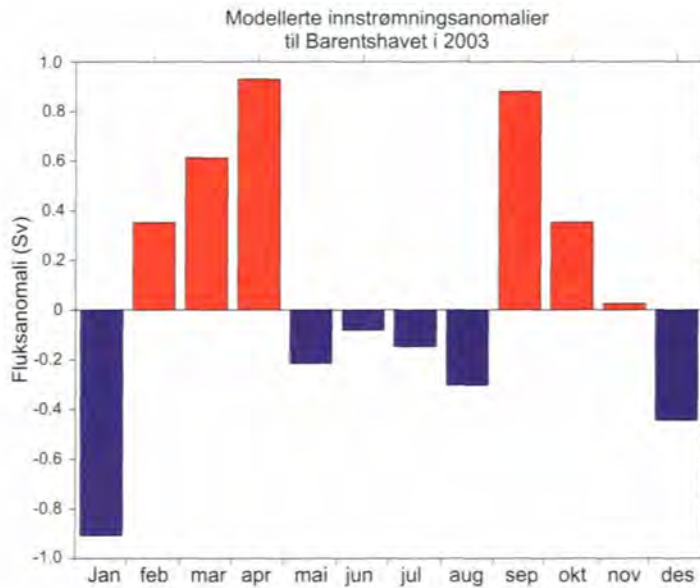
Figur 1.4

Månedsmiddel av observert transport av atlantehavsvann inn i Barentshavet for perioden september 1997 til september 2003.

Monthly mean of measured transport of Atlantic water into the Barents Sea.

turfluktasjonene i Barentshavet. Figur 1.6 viser at vi er inne i en periode hvor de observerte verdier ligger relativt langt høyere enn det den kurvetilpasningen som bygger på de statistiske metodene viser. I 2003 ble således temperaturen betydelig høyere enn hva som ble antydnet i fjor. Årsaken til den høye temperaturen i 2003 er forklart ovenfor. Ser man tilbake i tid vil man legge merke til at observasjonene har større utslag

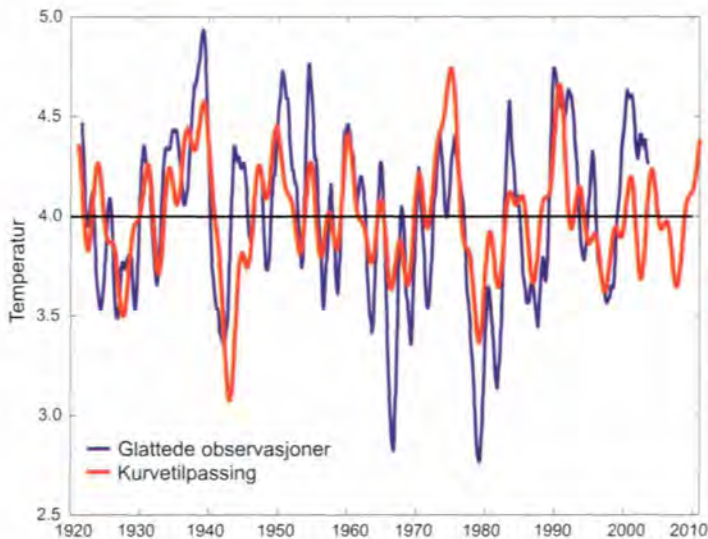
enn prognosene, men stort sett har variasjonsmønsteret vært noenlunde likt. De observasjonene vi har tatt i løpet av 2003 gir få eller ingen indikasjoner på utviklingen utover i 2004. Som antydnet i fjorårets rapport kom det en stor innstrømning i 2003. Det vil være overraskende om den store innstrømningen fortsetter inn i 2004, og det forventes at temperaturen vil avta utover året med påfølgende svak rekruttering av sild og torsk.



Figur 1.5

Modellert innstrømning til Barentshavet for hver måned i 2003, vist som avvik fra langtidsmiddelet 1955-2003.

Monthly anomalies of Atlantic inflow to the Barents Sea in 2003.



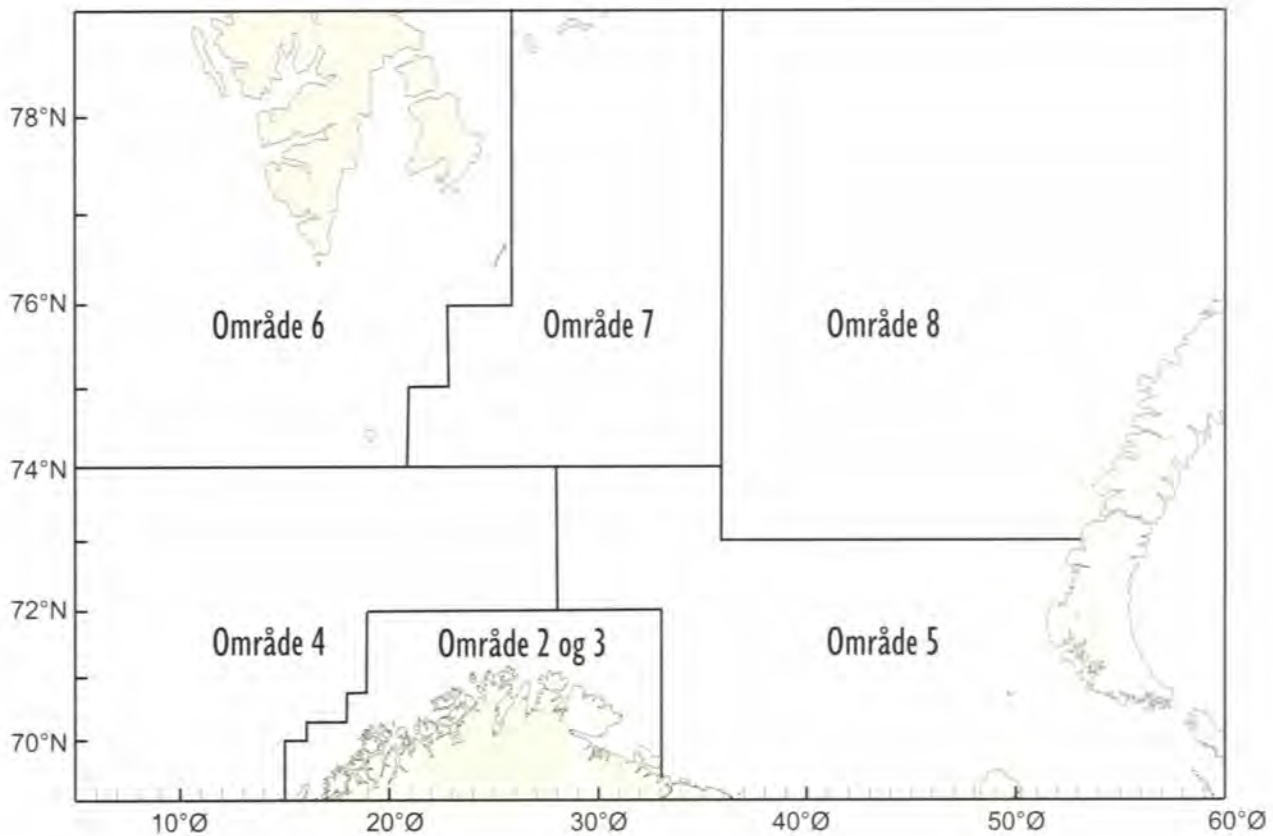
Figur 1.6

Observert og modellert temperaturutvikling i Kolasnittet i Barentshavet sammen med prognose for denne fram til 2010.

Observed and modelled development of the temperature in the Kola section together with temperature prognosis up to 2010.

Fra tidlig i 1980-årene har Havforskningsinstituttet gjennomført flere prosjekter for å undersøke koblingen mellom lodde og dyreplankton i Barentshavet. Området er også viktig for oppvekst av andre arter, som torsk og sild. Den høye produksjonen av dyreplankton skyldes både egenproduksjon og plankton som følger med i innstrømmingen av atlantisk vann. Raudåta, *Calanus finmarchicus*, er desidert den viktigste arten i dyreplanktonet og står for den høyeste biomassen og produksjonen. Den er et viktig byttedyr for pelagisk fisk som sild, lodde og polartorsk. De varierende oseanografiske forholdene gjør at planktontilførslene og den målte biomassen kan endre seg fra år til år. Andre mekanismer som regulerer planktonmengden er predasjon fra pelagisk fisk, og fra evertebrater som maneter og kammaneter. Ved siden av kopepodene er krill og amfipoder de store bidragsyterne til biomassen.

Fra 1986 har fordeling og sammensetning av dyreplankton i Barentshavet blitt undersøkt årlig med WP2-håv og MOCNESS-håv i august–september/oktober under 0-gruppe- og loddetoktene. I september er isutbredelsen i Barentshavet minst, slik at et størst mulig område kan kartlegges. På denne tiden har også primærproduksjonen og beitepresset fra planktonspisende fisk avtatt, og dyreplanktonets biomasse er en god indikator på størrelsen av overvintringsbestanden. I de senere årene har norske fartøyer ikke hatt tilgang til russisk sone, og vi har derfor ikke hatt mulighet til å dekke de østlige områdene. I 2003 ble det imidlertid innledet et samarbeid med PINRO i Murmansk, der det ble enighet om at russiske fartøyer skulle stå for prøvetakingen av dyreplankton i øst under fellestoktene om høsten. Russiske data fra 2003 er ikke kommet med i denne rapporten, men vi regner med at de kan innlemmes i tallmaterialet på et senere tidspunkt. På grunn



Figur 1.7
Områdeinndeling av Barentshavet (tidligere "flerbestandsområder").
Division of the Barents Sea into subregions ("multispecies regions").

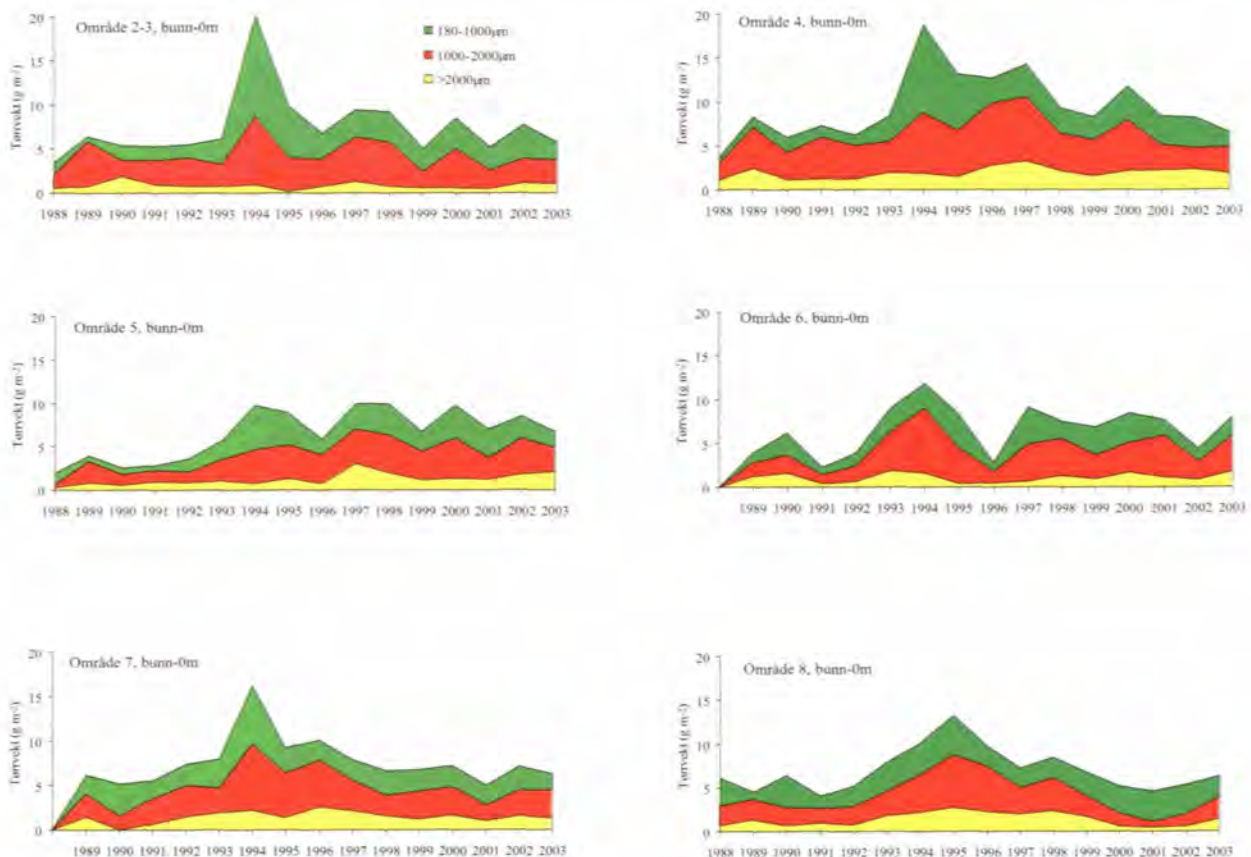
av endringer i Havforskningsinstituttets toktstruktur ble vårt eget innsamlingsprogram noe avkortet i 2003, slik at vi kun hadde ca. 90 stasjoner med WP2- håv, mens gjennomsnittet siden 1991 har vært rundt 150 stasjoner.

Tidsserien fra 1988-2003 viser biomassen av dyreplankton fra bunn-0 m i forskjellige områder av Barentshavet (Figur 1.7 og 1.8). Planktonet blir sortert etter størrelse ved siling på duk med forskjellig maskevidde før prøvene blir tørket og veid. Størrelsesgruppen 1000-2000 μm (røde felter i figurene) inneholder for det meste overvintrende raudåte i stadium IV-V, mens krill, amfipoder og pilormer dominerer i den største størrelsesgruppen $>2000 \mu\text{m}$ (gule felter). De minste dyreplanktonformene utgjøres for det meste av små kopepoder og yngre raudåtestadier i 180-1000 μm -fraksjonen (grønne felter). I de fleste områdene var det mest dyreplankton i 1994, mens toppen var markert høyest i 1995 i område 8. I årene etter har det vært en ujevn utvikling, med en tendens til redusert dyreplankton. I 2003 var det mest plankton i nordøst i område 6 (8 g m^{-2}). Imidlertid var dekningsen i 2003 redusert i forhold til tidligere år, og datagrunnlaget er tilsvarende svakt med hensyn til å bedømme forskjeller områdene mellom.

Oversiktskartet gir et mer nyansert bilde av planktonfordelingen i 2003 (Figur 1.9).

Dyreplanktonet i Barentshavet under ett er vist i Figur 1.10 der data fra alle stasjonene er midlet for hvert år. Både i bunn-0 m og 100-0 m var det en svak nedgang i biomasse i 2003, henholdsvis til $6,61$ og $2,68 \text{ g m}^{-2}$. Andelen av små organismer var markert større i de øverste 100 m enn i resten av vannsøylen. Dette skyldes at utviklingen av larvestadiene hos raudåte og andre planktonformer er mest knyttet til overflaten, mens nedvandringen av de større overvintringsstadiene for lengst har kommet i gang. Både i bunn-0 m ($12,8 \text{ g m}^{-2}$) og 100-0 m ($5,44 \text{ g m}^{-2}$) ble det registrert mest dyreplankton i 1994, men forholdet mellom de forskjellige størrelsesgruppene varierer mellom årene. Gyting, vekst, innstrømming og predasjon er nøkkelord til å forstå disse forskjellene.

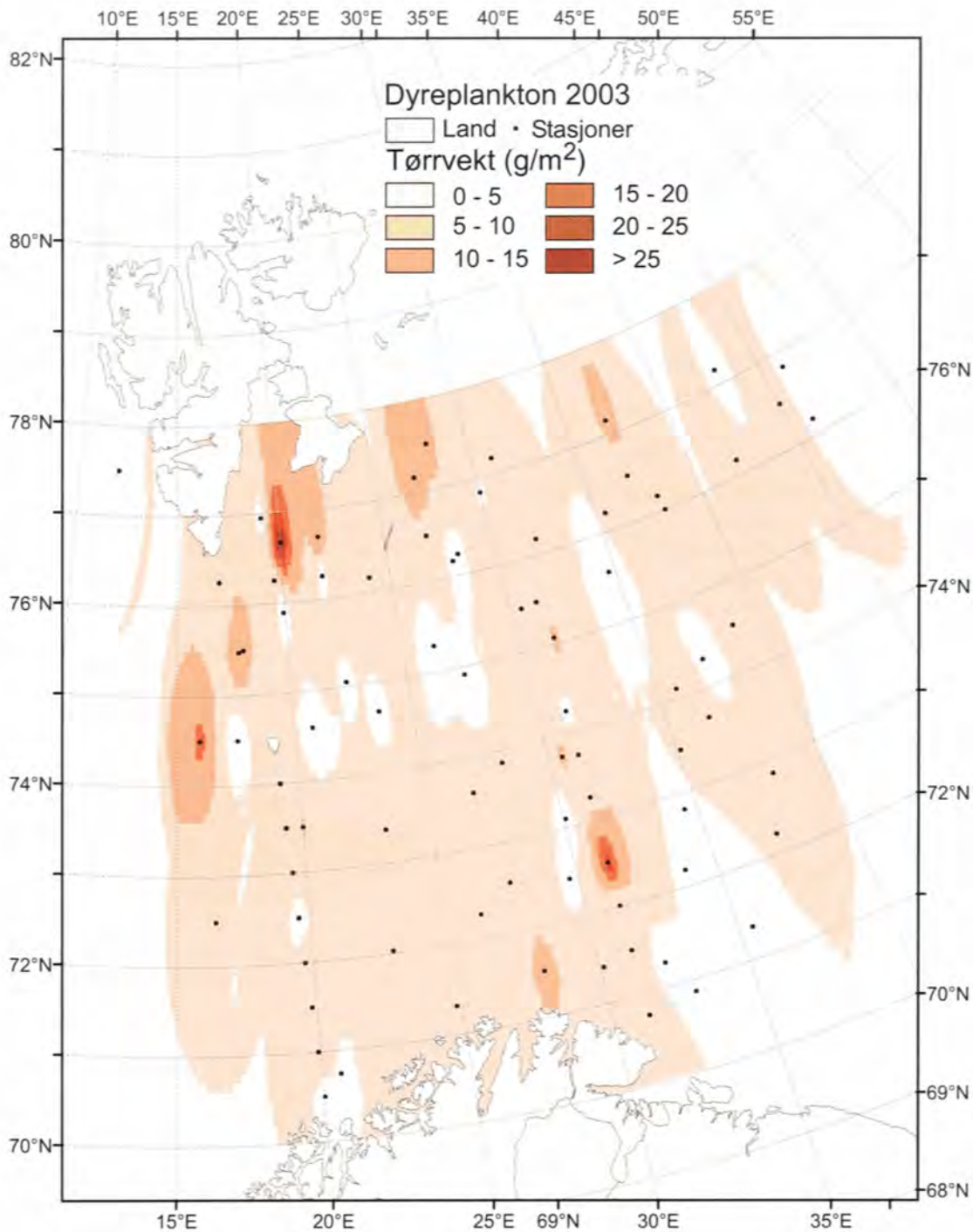
Siden begynnelsen av 90-tallet har utvalgte stasjoner på snittene Fugløy-Bjørnøya og Vardø-Nord blitt undersøkt med hensyn til dyreplanktonbiomasse, med 4-7 dekningsen årlig. I januar og februar er det lite dyreplankton til stede, spesielt i de øverste 100 m, som vist i eksemplet fra 2003



Figur 1.8

Middelverdier av størrelsesfraksjonert dyreplanktonbiomasse, g m^{-2} (askefri tørrvekt 1988-89 og tørrvekt 1990-2003), fra bunn-0 m i «flerbestandsområdene» 2-8. Askefri tørrvekt tilsvarer ca. 80 % av tørrvekt.

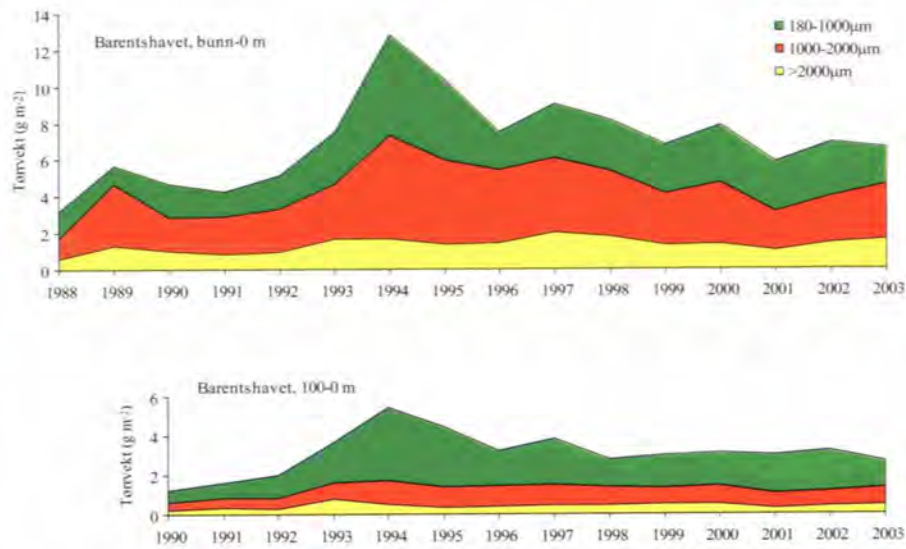
Mean values of size separated zooplankton biomass, g m^{-2} (ash free dry weight 1988-89, dry weight 1990-2003), from bottom-0 m in the «multispecies» region 2-8. Ash free dry weight is about 80 % of dry weight.



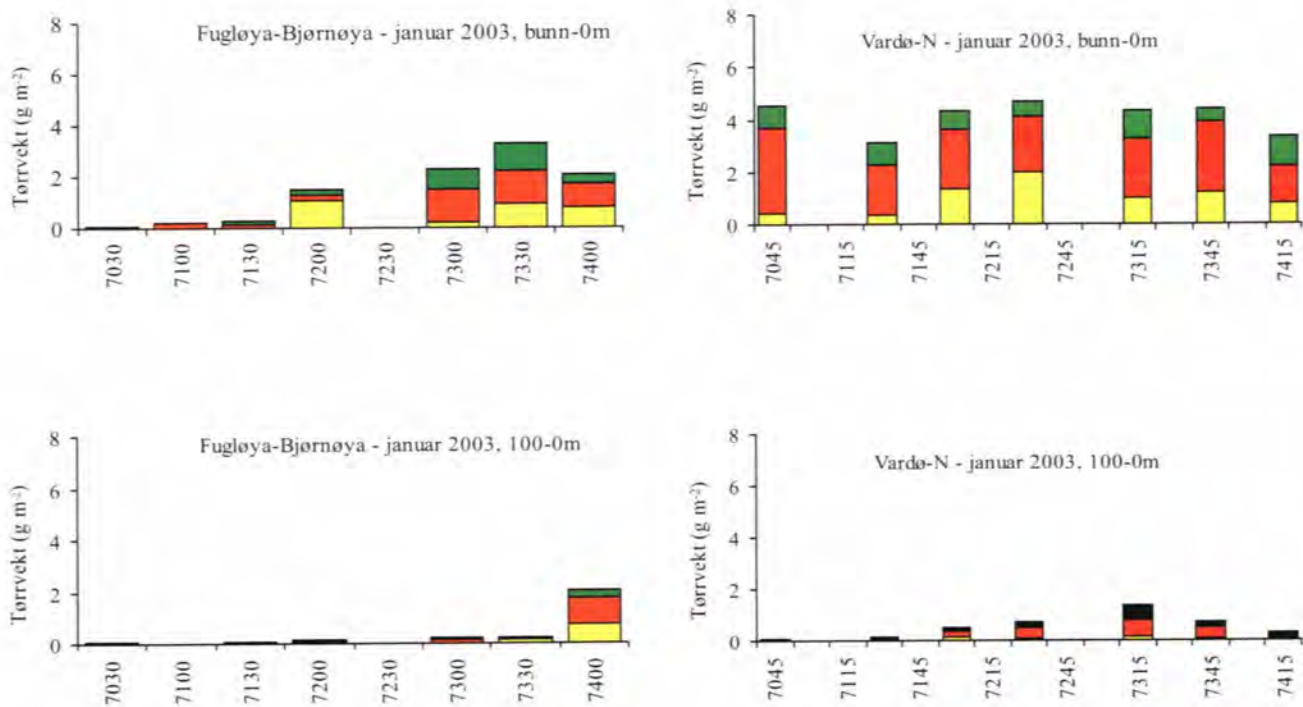
Figur 1.9
 Fordelingskart av dyreplankton i Barentshavet høsten 2003.
 Distribution of zooplankton in the Barents Sea in 2003.

(Figur 1.11). Innstrømningen av dyreplankton er redusert siden raudåta i Norskehavet overvintret på dypt vann under terskelen til Barentshavet, og våroppblomstringen og gytingen hos dyreplanktonet ikke har startet. Det er et typisk trekk at det er lite plankton i den sørlige delen av Fugløya-snittet, likeledes er det vanlig å finne mer plankton på Vardø-N enn på Fugløya-Bjørnøya på denne tiden.

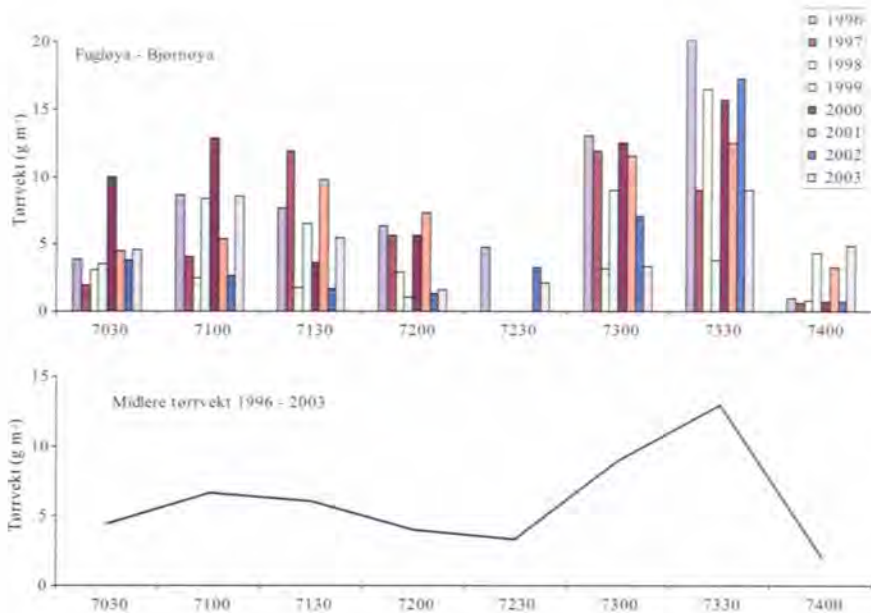
De største enkeltverdiene av biomasse kan observeres som sommeren og høsten. Fugløya-Bjørnøya blir dekket i begynnelsen av oktober, og til tross for variasjoner mellom år og mellom stasjoner kan en tydelig se en trend i planktonmengden langs snittet (Figur 1.12). Rundt 71°N i kyststrømvann er det et lite maksimum i biomassen, med middelverdi 6,6 g m⁻² for årene 1996 til 2003. I de midtre deler av snittet i atlantisk vann faller middelverdien, mens det igjen er mye plankton i nord på 73°30'N (13,0 g m⁻²).



Figur 1.10
 Dyreplanktonbiomasse fra bunn-0 m (øverst) og fra 100-0 m (nederst), middelverdier for hele Barentshavet, fra 1988-2003.
 Zooplankton biomass from bottom-0 m (top) and from 100-0 m (bottom), mean values for the whole Barents Sea, from 1988-2003.



Figur 1.11
 Dyreplanktonbiomasse på snittet Fugløya-Bjørnøya og Vardø-N fra 70°30'N til 74°15'N i slutten av januar 2003. Fargekoding som i Figur 1.8 og 1.10.
 Zooplankton biomass on the transect Fugløya-Bjørnøya and Vardø-N from 70°30'N to 74°15'N, end of January 2003. Colours as in Figures 2 and 4.



Figur 1.12
Dyreplanktonbiomasse på Fugløya-Bjørnøya 70°30'N til 74°N i begynnelsen av oktober, fra 1996-2003. Biomassen er midlet for hver stasjon (nederst).
Zooplankton biomass at Fugløya-Bjørnøya 70°30'N til 74°N in the beginning of October, from 1996-2003. Mean values for each station (lower graph).

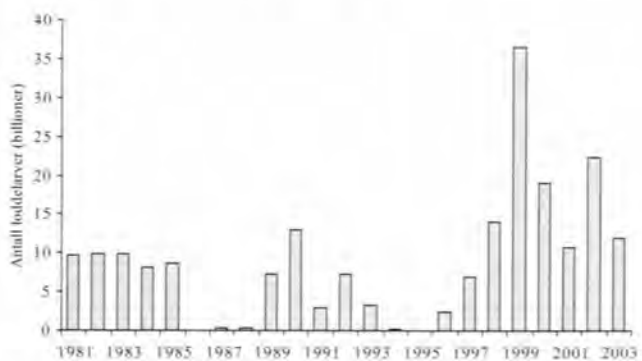
1.3

Yngelproduksjon

Det ble samlet inn loddelarver med FF Sarsen i Barentshavet fra 10. juni til 27. juni 2003. Det ble også gitt tillatelse til å gå inn i russisk økonomisk sone på dette toktet, men pga tidsnød ble det ikke mye tid til å dekke den russiske delen av området. Grunnet den ekstremt vestlige gytingen i 2003 ble likevel østgrensen av larvefordelingen stort sett dekket. Det ble tatt 202 skråtrekk til 60 m dyp med Gulf III-planktonsamler. Larvefordelingen gjenspeilte den vestlige gytingen.

Det ble funnet larver spredt utover et stort område mellom 18°Ø og 35°Ø og til ca. 73°30'N. Det var lave konsentrasjoner over mesteparten av utbredelsesområdet, og de tette konsentrasjonene ble funnet nær kysten. Det høyeste antall pr. m² overflate ble funnet her (850 NV for Berlevåg og 730 larver utenfor Laksefjorden). De største larvene var hovedsakelig fordelt lengst ut fra kysten, og de minste larvene, som antas å være klekket nylig, var fordelt nær kysten. Sammenliknet med tidligere år og samme tidspunkt var larvene kommet langt i utviklingen i 2003. I gjennomsnitt var loddelarvene ca. 5-6 mm lenger i 2003 enn i perioden 2000-2002. Antallet larver ble estimert til $11,2 \times 10^{12}$, som er omtrent halvparten av mengden funnet i 2002. Det er likevel høyt sammenlignet med de fleste årene i tidsserien (Figur 1.13). Det kan derfor konkluderes med at gytingen i 2003 var vellykket, i den forstand at en betydelig mengde loddelarver ble produsert. 0-gruppeundersøkelsene høsten 2003, som ble gjennomført som en del av et nytt økosystemtokt, gav også et positivt

bilde av årets yngelproduksjon. Mengdeindeksen beregnet for lodde var da omtrent dobbelt så høy som gjennomsnittet for de siste 20 årene og den høyeste siden 1999. En svært stor del av larvene ble funnet vest av Svalbard, og det er usikkert hvordan dette eventuelt kan påvirke overlevelsen av disse. De senere årenes undersøkelser har tydelig demonstrert at et stort antall larver på disse stadiene ikke nødvendigvis medfører en vellykket rekruttering. Hvor stor årsklassen 2003 blir, er derfor ikke kjent før årsklassen måles akustisk som ettåringer høsten 2004. Prognoser for utviklingen i loddebestanden er nærmere beskrevet i *Havets Ressurser 2004*.



Figur 1.13
Antall loddelarver for perioden 1981-2003.
The number of capelin larvae during the period 1981-2003.

Kapittel 2

Økosystemet i Norskehavet



Foto: Havforskningsinstituttet

2

Økosystemet i Norskehavet

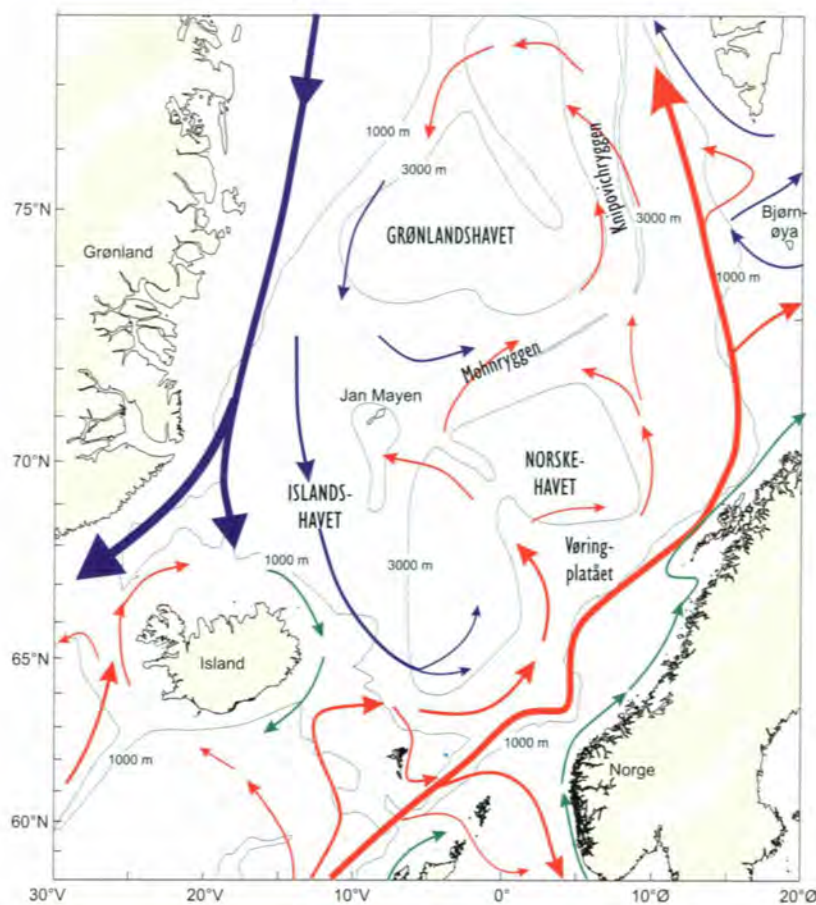
2.1

Havklima

Det varmeste og salteste vannet som kommer inn i Norskehavet fra Atlanterhavet går hovedsakelig gjennom Færøyrenna der det følger eggkanten nord av Skottland (Figur 2.1). En annen strømgren, som også fører atlantisk vann, kommer inn nord av Færøyene, etter å ha krysset Grønland/Skottlandryggen mellom Færøyene og Island. Lenger vest er det innstrømming av atlantisk vann til nordislandske kystfarvann. Atlanterhavsvannet som strømmer inn i Norskehavet avgir store varmemengder til atmosfæren, slik at det nordvestlige Europa har et meget mildt klima i forhold til sin geografiske

bredde. Dette fører til at hele Norskehavet og store deler av Barentshavet er isfritt og åpent for biologisk produksjon.

Variasjoner i transporten av atlantisk vann og de temperatursvingningene som dette fører til, er en viktig økologisk faktor som virker inn på de biologiske forholdene i havet. Ofte rekrutteres store årsklasser av fiskebestandene i varme perioder. Temperaturvariasjonene er nødvendigvis ikke et mål for varmemengden som kommer inn i Norskehavet, fordi denne også avhenger av volumtransporten. Variasjoner



Figur 2.1

De viktigste trekkene ved sirkulasjonsmønstre og dybdeforhold i Norskehavet, Islandshavet og Grønlandshavet. Røde piler: atlantisk vann. Blå piler: arktisk vann. Grønne piler: kystvann.

The main circulation pattern and bathymetry of the Iceland Sea, Norwegian Sea and Greenland Sea. Red arrows: Atlantic water. Blue arrows: Arctic water. Green arrows: Coastal water.

i volumtransporten har vi langt mindre kjennskap til enn temperaturvariasjonene. Grunnen til dette er at transportmålinger er meget kostbare å gjennomføre.

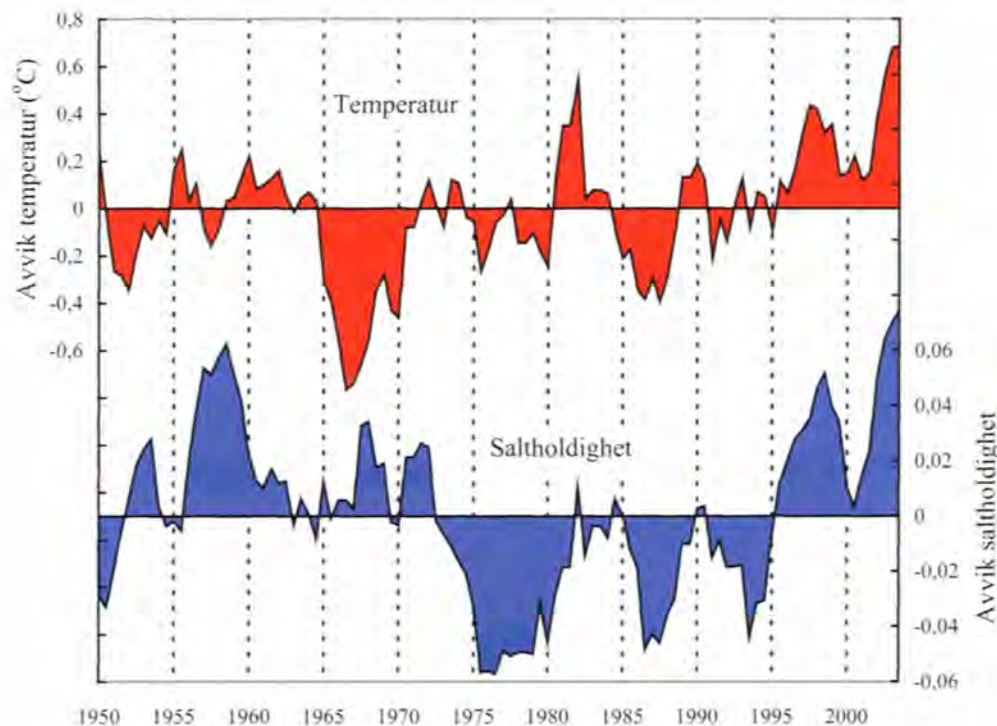
Langtidsserier

Atlantehavsvannet på den skotske siden av Færøyrenna kommer i hovedsak inn i området sør av Færøybanken, spesielt langs kontinentalskråningen vest av De britiske øyer (Figur 2.1). Temperaturen og saltholdigheten i dette vannet har vært målt siden 1902. Figur 2.2 viser målingene fra og med 1950 og til og med 2003. Måleserien viser flere perioder som enten har vært kalde eller varme. Den kaldeste perioden i måleserien var i siste halvdel av 1960-tallet. På det kaldeste var da temperaturen mer enn $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ under langtidsmiddelet fra 1950 til 2003. I samme periode var atlantehavsvannet litt saltere enn langtidsmidlet. Fra 1973 til 1981 var atlantehavsvannet betydelig ferskere enn normalen. Dette relativt ferske atlantehavsvannet strømmet videre nordover, og kunne således ses i de hydrografiske snittene i Norskehavet. Siden 1995 har både temperaturen og saltholdigheten i det innstrømmende atlantehavsvannet vært bemerkelsesverdig høy. I tillegg hadde 2003 de

høyeste verdiene av både temperatur og saltholdighet som er observert i tidsseriene, på henholdsvis $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $0,07$ over langtidsmidlene.

Figur 2.3 viser temperatur- og saltholdighetsvariasjoner fra 1978, i snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V (se Figur 0.1 for posisjoner). Snittene viser forholdene i henholdsvis sørlige, sentrale og nordlige deler av det østlige Norskehavet. Verdiene representerer sommerforholdene i kjernen av atlantehavsvannet, mellom 50 og 200 m dyp, like utenfor eggakanten. Dataene er basert på målinger som er tatt i perioden fra slutten av juli til begynnelsen av september. Noen likhetstrekk med forholdene nord av Skottland (Figur 2.2) forekommer også i disse snittene, som for eksempel lav saltholdighet på slutten av 1970-årene og perioden med lave temperaturer og saltholdighetsverdier på slutten av 1980-årene.

I det sørlige Norskehavet har både saltholdigheten og temperaturen vært relativt høy siden 1997, noe som er i samsvar med det som er observert i det innstrømmende vannet i Færøyrenna (Figur 2.2). Siden 1996 har det derimot



Figur 2.2

Tidsserier av temperatur og saltholdighet i atlantehavsvann over eggakanten nord av Skottland. Verdiene er vist som avvik der sesongvariasjonen er fjernet. Kurven viser 24 måneders glidende midler beregnet fra 6-månedersintervaller. Gjengitt med tillatelse fra Marine Laboratory, Aberdeen.

Time series of temperature and salinity in surface waters lying at the shelf edge north of Scotland. Values are presented as anomalies where the seasonal cycle has been removed. The curves are the result of 24 months centred running means, calculated at 6 months intervals. Courtesy of the Marine Laboratory, Aberdeen.

vært en saltholdighetsøkning for alle de tre snittene i Norskehavet. At svingningene ikke er de samme for alle tre snittene i Norskehavet, skyldes blant annet at det atlantiske vannet blir påvirket av andre tilstøtende vannmasser etter hvert som det strømmer nordover.

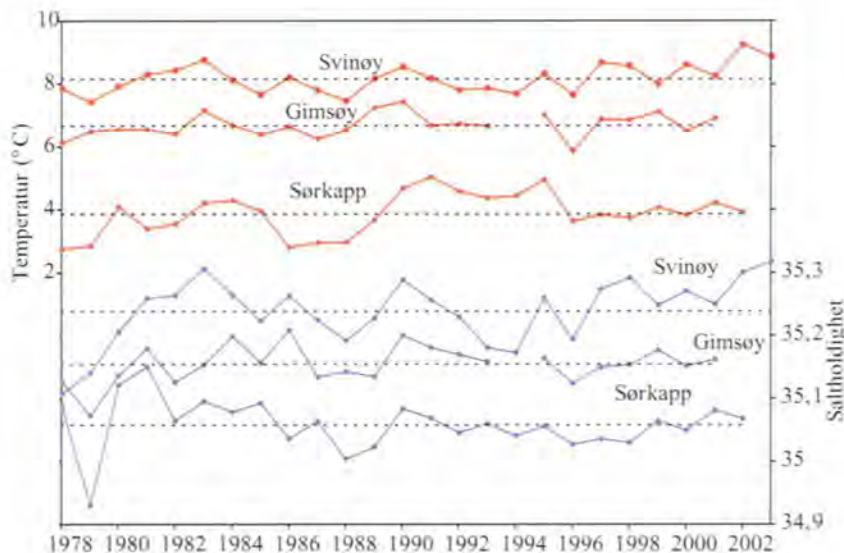
I 2002 og 2003 har det vært en kraftig oppgang i både temperatur og saltholdighet i det sørlige Norskehavet. Temperaturen for 2003 var da den nest høyeste i hele tidsserien. Bare i 2002 var temperaturen høyere. Saltholdigheten for 2003 var derimot den høyeste som er målt i hele tidsserien. Økningen i både temperatur og saltholdighet de siste to årene henger sammen med at det innstrømmende atlantiske vannet fra Atlanterhavet og inn i Norskehavet har blitt varmere og saltere de siste årene (Figur 2.2).

Variasjoner i vannmassefordeling

Variasjoner i areal og i middeltemperatur av atlantisk vann i Svinøysnittet om våren og sommeren er vist i Figur 2.4. Atlantisk vann er her definert som alt vann med saltholdighet høyere enn 35. Høye verdier av areal er et resultat av en større utbredelse av atlantisk vann i snittet. En større utbredelse kan forekomme ved at det atlantiske vannet har en mer vestlig utbredelse, eller ved at det har en dypere utstrekning i ett eller flere områder. Mye vestavind vil føre til at det atlantiske vannet blir presset østover, dvs. mindre vestlig utbredelse som gir et lavere areal i snittet. I perioden 1992-1995 var arealet av det atlantiske vannet i snittet langt lavere enn lang-

tidsmiddelet fra 1978 til 2003 for både vår og sommer. De tre årene 1993-1995 hadde de laveste verdiene siden 1979 i begge tidsseriene. Temperaturen i det atlantiske vannet har hatt en oppadgående trend, og langtidstrenden viser at det atlantiske vannet har blitt ca. 0,6 °C varmere fra 1978 til 2003. I 2002 og 2003 var temperaturene de høyeste som er observert i tidsserien. Sommeren 2003 hadde da den høyeste verdien, 8 °C, som var 0,7 °C over langtidsmidlet. Arealet av atlantehavsvannet var også relativt høyt for sommeren 2003.

Endringene i havklima og vannmassefordeling som er observert i Norskehavet, styres i hovedsak av den storstilte fordeling av atmosfæretrykk i den nordatlantiske sektoren og tilhørende vindforhold. En indeks for variasjon i trykkforskjellen mellom Azorene utenfor Portugal og Island er mye benyttet som et mål for intensiteten i vindsystemet over det nordlige Atlanterhavet. Denne trykkvariasjonen er kjent som "Den nordatlantiske oscillasjon" (NAO) og står i nær sammenheng med vindforholdene i Norskehavet, og dermed med utbredelsen av de ulike vannmassene. Med høy NAO, som gir mye vestavind, blir påtrykket av arktiske vannmasser fra vest også større. Som et eksempel var det mye vestavind første halvdel av 1990-årene, noe som medførte en mindre vestlig utbredelse av atlantisk vann i Norskehavet. Dette kan ses i tidsseriene for areal av atlantehavsvann i perioden 1992-1995 (Figur 2.4). Endringene mot mer arktiske og kaldere forhold i vestlige og sentrale deler av Norskehavet siden slutten av 1960-årene står således i forbindelse med



Figur 2.3 Temperatur og saltholdighet i kjernen av atlantisk vann for snittene Svinøy-NV, Gimsøy-NV og Sørkapp-V. Verdiene er midlet mellom 50 og 200 m dyp og er basert på målinger tatt i juli/august (1978-2003). (Lokalisering av snittene er vist i Figur 0.1).
Temperature and salinity, July/August in the core of Atlantic water in the sections Svinøy-NW, Gimsøy-NW and Sørkapp-W, averaged between 50 and 200 m depth (1978-2003). (Positions of the sections are indicated in Figure 0.1).

årsakene til en økt NAO-indeks. Klimaforhold og utbredelse av vannmasser har stor betydning for produksjon og fiskefordeling i Norskehavet. I flere år har for eksempel silda ikke vandret inn i islandsk sone på grunn av økt østlig utbredelse av kaldt arktisk vann.

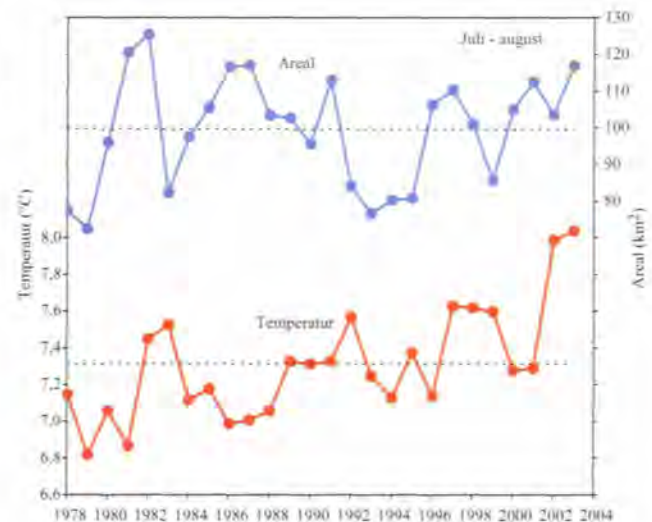
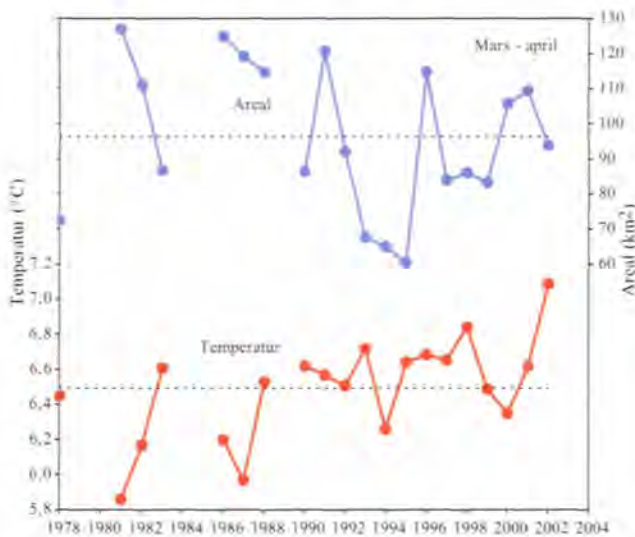
Horisontal fordeling av temperatur

Siden 1995 har Havforskningsinstituttet gjennomført årlige tokt i Norskehavet fra slutten av april til begynnelsen av juni. Disse innbefatter målinger av hydrografi, dyreplankton og sild. Figur 2.5 viser temperaturfordelingen i 100 m dyp i Norskehavet for mai 2003 (øverst) og for et middelår (nederst). Fra figurene ser man tydelig effekten av Øst-Islandsstrømmen og Jan Mayen-strømmen med et pådrag av relativt kaldt arktisk vann i fra vest. Den arktiske fronten som skiller de varme og kalde vannmassene ses der hvor temperaturisolinjene er tettest. For 2003 var det en mer vestlig utbredelse av atlantisk vann enn for middelåret. Dette førte til en økning av temperaturen i det vestlige Norskehavet. I enkelte områder mellom 65°N og 72°N var temperaturen der opptil 1,5 °C høyere for 2003 enn for middelåret. I det

sentrale Norskehavet var temperaturen ca. 0,5 °C høyere enn middelet. Derimot var temperaturen for 2003 i de nordlige områdene (nord for 73°N) ca. 0,5 °C lavere enn middelet.

Volumtransport

Volumtransporten av atlantisk vann inn i Norskehavet er de siste årene blitt målt med strømmålere i Svinøysnittet. Målerne er plassert slik at de fanger opp variasjoner av strømmen i kjernen av det atlantiske vannet ved eggakanten. Målerne fanger derimot ikke opp strøm lenger ute i snittet. Figur 2.6 viser tre måneders og ett års glidende midler av transporten fra mai 1995 til juni 2003. Innstrømningen er størst om vinteren og lavest om sommeren. Selv om tidsserien viser mange og raske svingninger, eksisterer det også langperiodiske svingninger. Fra 1999 var det en nedadgående trend frem til sommeren 2001, som hadde de laveste verdiene i hele tidsserien. Deretter var det en kraftig stigning av transporten frem til vinteren 2002, som hadde de høyeste verdiene i hele serien. Frem til slutten av serien sank derimot transporten. I første halvdel av 2003 var da transporten nær eller litt under langtidsmidlet.



Figur 2.4

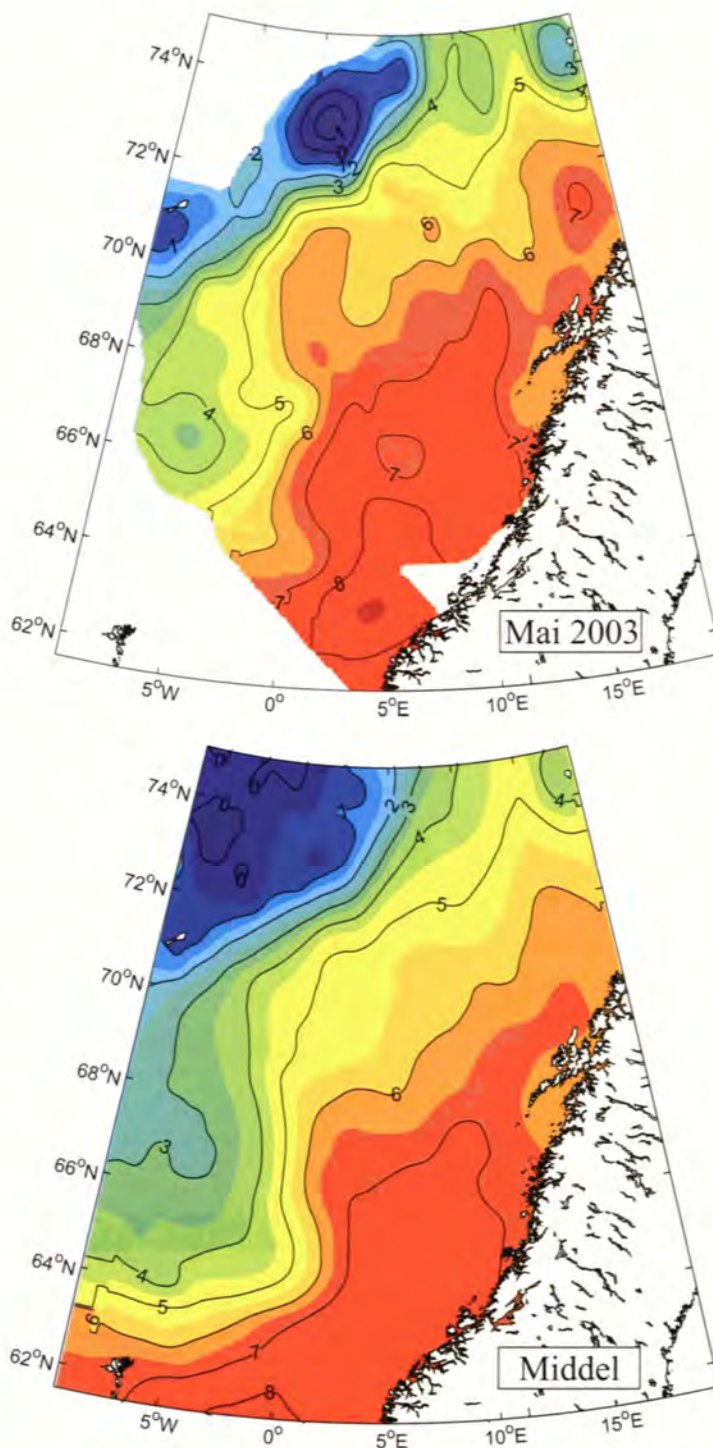
Area (km^2) og middeltemperatur av atlantisk vann i Svinøysnittet, observert i mars/april (øverst) og juli/ august (nederst) fra 1978 til 2003. Atlantisk vann er her definert som vann med saltholdighet høyere enn 35. Høye verdier av areal er et resultat av en større utbredelse av atlantisk vann i snittet.

Area (km^2) and averaged temperature of Atlantic water in the Svinøy section, observed in March/April (upper figure) and July/August (lower figure) from 1978 to 2003. Atlantic water is defined as water with salinity above 35. High values of area are results of a larger distribution of Atlantic water in the section.

Bruk av ny teknologi: Argo-bøyer

I juni 2002 ble ny teknologi tatt i bruk for å overvåke klimaet i Norskehavet. Havforskningsinstituttet utplasserte da tre Argo-bøyer sørvest i Norskehavet. I august 2003 satte Havforskningsinstituttet ut seks nye bøyer. Bøylene vil der drive fritt i 1500 m dyp, og hver tiende dag stige opp til over-

flaten mens de måler temperatur og saltholdighet. Dataene blir sendt via satellitt til land (se Figur 2.7). Dette gir oss anledning til en mer kontinuerlig overvåkning, samtidig som vi får ny og mer kunnskap fra områder som vanligvis ikke er dekket med toktvirksomhet. En Argo-bøye har en levetid på 4-5 år. Utsettingen av bøylene er en del av det internasjonale



Figur 2.5

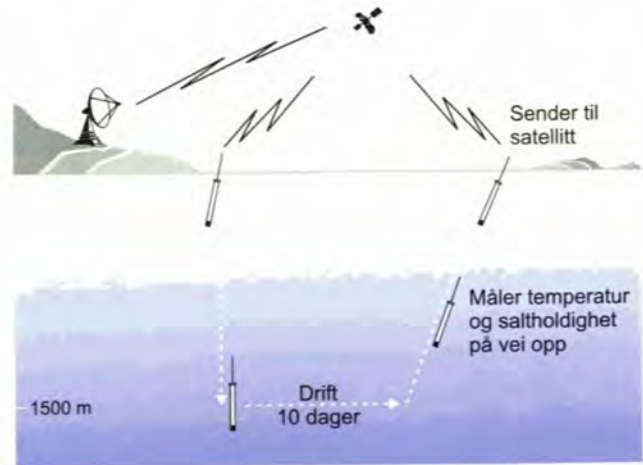
Temperaturfordelingen i Norskehavet i 100 m dyp i mai. Øverst: 2003. Nederst: gjennomsnitt for mai måned i årene 1993-2003.
Distribution of temperature at 100 m depth in the Norwegian Sea in May. Upper panel: 2003. Lower panel: mean temperature for May in 1993-2003.



Figur 2.6

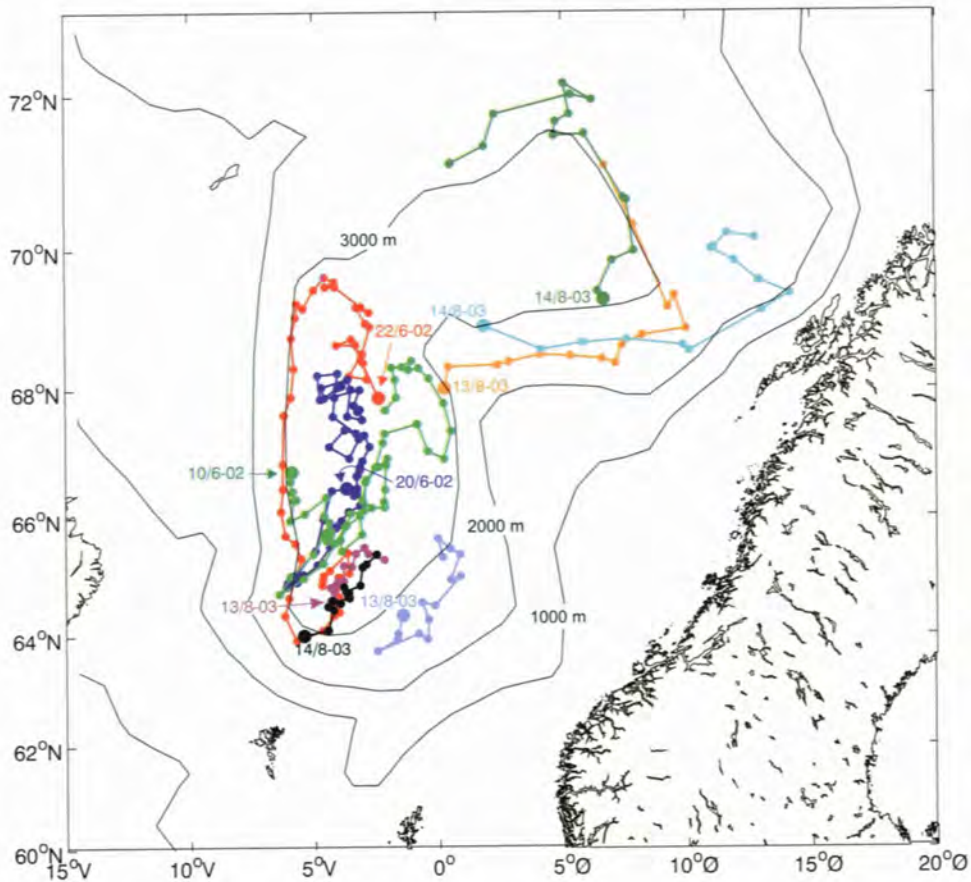
Volumtransporter av atlantisk vann fra mai 1995 til juni 2003 ved eggkanten gjennom Svinøysnittet. Tidsseriene er tre måneders og ett års glidende midler av dataene. Verdiene er gitt i Sverdrup (en Sverdrup er $106 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Gjengitt med tillatelse fra Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Volume transports of Atlantic water from May 1995 to June 2003 at the shelf edge through the Svinøy section. The time series are three months and one year running means of the data. The values are in Sverdrup (one Sverdrup is $106 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Courtesy of the Geophysical Institute, University of Bergen.



Figur 2.7

Skjematisk oversikt over en syklus til Argo-bøyen. Schematisk oversikt av a single cycle of an Argo float.

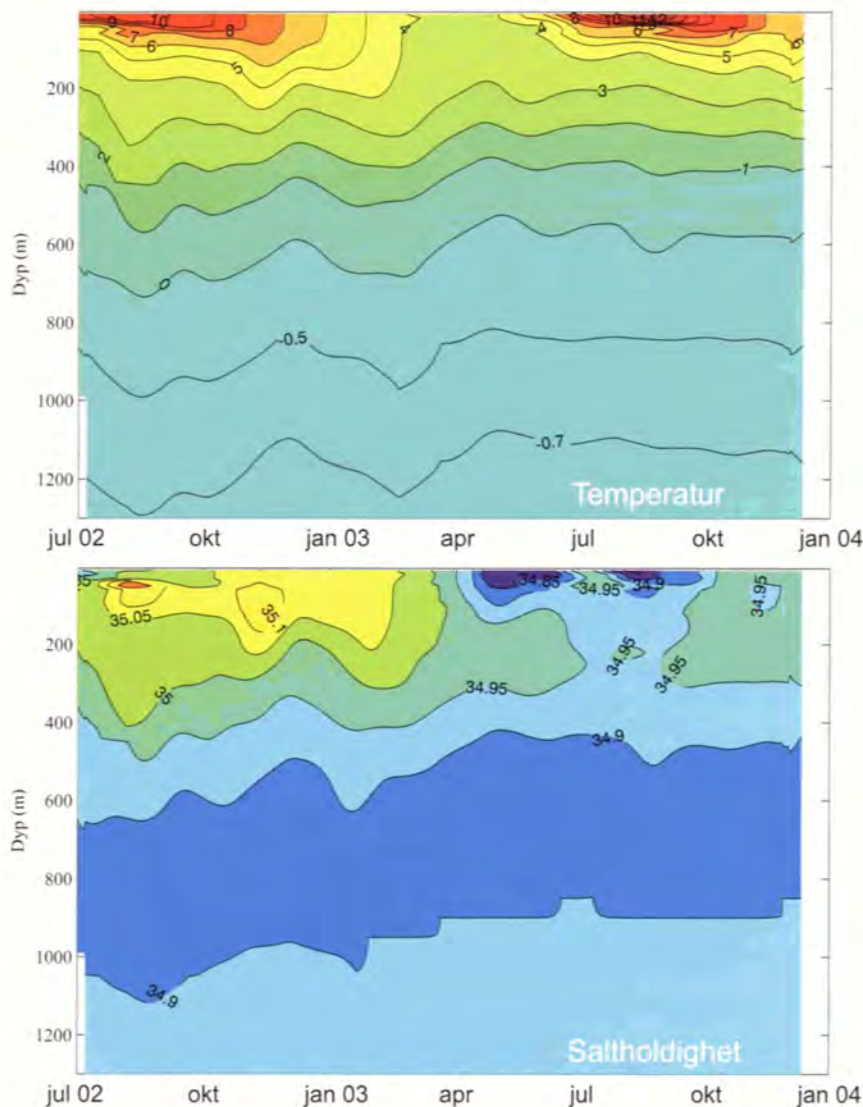


Figur 2.8

Oversikt over drivbanene, oppdatert frem til 1. januar 2004, til Havforskningsinstituttets ni Argo-bøyer i De nordiske hav. Det er 10 dager mellom hvert punkt, der stort punkt angir første måling. Overview of the drift to the nine Argo-floats from the Institute of Marine Research, updated 1 January 2004 in the Nordic Seas. There are ten days between each point, and a large point indicates first measurement.

Argo-programmet med målsetting om å sette ut 3000 bøyer globalt innen 2-3 år. Til nå er det over 1000 aktive bøyer globalt, derav 14 bøyer i De nordiske hav (Norskehavet, Grønlandshavet og Islandshavet). Figur 2.8 viser drivbanene til Havforskninginstituttets ni bøyer frem til 1. januar 2004. Det er ti dager mellom hver posisjon, markert som en prikk. For hver tiende dag får man da en vertikal profil av temperatur og saltholdighet, fra overflaten og ned til 1500 m dyp. Et interessant hovedtrekk ved drivbanene er at bøyene for det meste følger topografien, dvs. at de følger en bestemt dybdekontur. Middelfarten til bøyene har vært mellom 2 cm/s og 6 cm/s.

Tidsutviklingen av temperatur og saltholdighet ned til 1300 m dyp for en drivbøye er vist i Figur 2.9. Denne bøyen er markert med rød farge i Figur 2.8. Man ser tydelig sesongsyklusen med et varmt overflatelag om sommeren. Etter hvert som bøyen drev sørover fjernet den seg fra områder med atlantisk vann i de øverste 400 metrene, og drev inn i områder med mer arktiske vannmasser. Det intermediære laget mellom 600 og 1000 m dyp, som har saltholdighet lavere enn 34,9, ligger også høyere oppe i vannsøylen lenger sør. Data som blir sendt fra Argo-bøyene er fritt tilgjengelige, og på internetsiden <http://www.coriolis.eu.org/cdc/argo.htm> kan man hente data og få informasjon fra alle eksisterende Argo-bøyer.



Figur 2.9

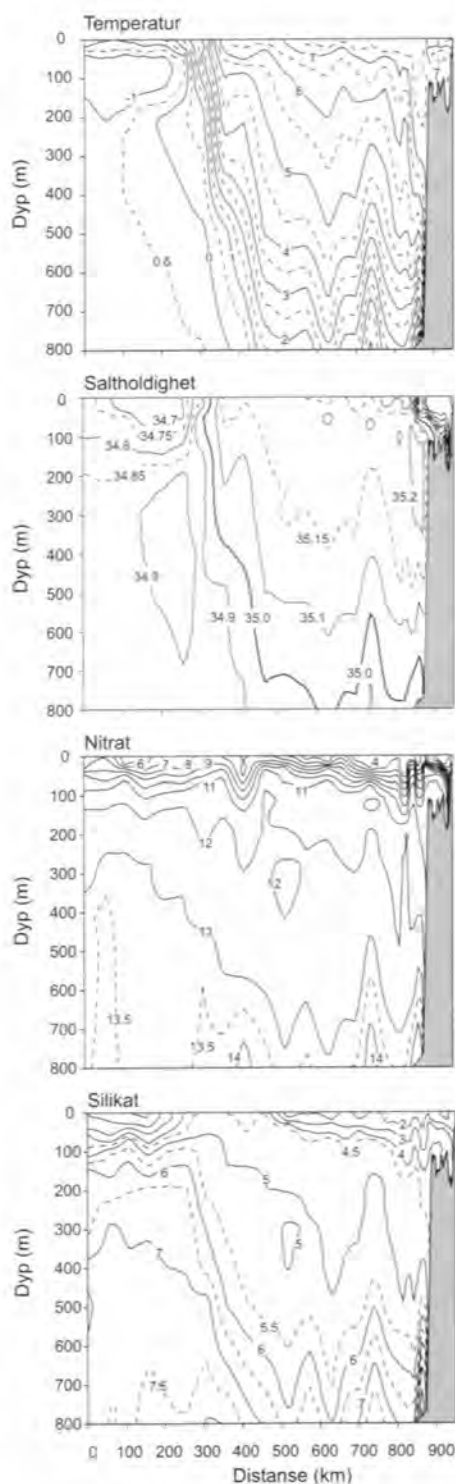
Tidsutvikling av potensiell temperatur (øverst) og saltholdighet (nederst) fra en av Argo-bøyene, markert med rød farge i Figur 2.8.

Time development of potential temperature (upper figure) and salinity (lower figure) from one of the Argo floats, marked with red colour in Figure 2.8.

Norskehavet og Grønlandshavet er to viktige områder for instituttets virksomhet. Norskehavet pga. sin betydning som beiteområde for viktige fiskeslag som sild, kolmule, makrell og laks, og Grønlandshavet som et område for dypvannsdannelse. Dypvannsdannelsen er regnet som en av flere viktige drivkrefter i strømsystemene i De nordiske hav. Havforskningsinstituttet har styrket overvåkingen i disse havområdene i de siste årene med et fast tokt i mai/juni. På disse toktene gjennomføres undersøkelser av fysikk, kjemi og biologi.

Noen av de viktigste faktorene for den biologiske produksjonen i Grønlandshavet er isutbredelsen om vinteren og våren, og ismeltingen om sommeren. Når isen smelter, dannes det et lett ferskvannslag i overflaten som er så stabilt at det ikke lett blandes med det saltere vannet under. Et slikt stabilt lag er en nødvendig betingelse for oppblomstring av planteplankton tidlig om våren. I områder som ikke blir dekket av is om vinteren utvikler stabiliteten i overflatelaget seg mye langsommere, og da hovedsakelig som et resultat av oppvarmingen fra atmosfæren. Undersøkelsene gjennomført i perioden 1993-2003 har vist at oppblomstringen begynner ved iskanten og fortsetter i de sentrale deler av Grønlandshavet. Som regel er oppblomstringen dominert av kiselalger (diatomeer). Utover våren blir kiselalgenes vekst hemmet av silikatmangel, og flagellaten *Phaeocystis pouchetii*, som ikke er avhengig av silikat, overtar. Utover sommeren forbraker denne algen det meste av nitrattet i overflatelaget.

Etter mange års undersøkelser av næringssalter og planteplanktonvekst i Grønlandshavet og Norskehavet, kan man av erfaring si noe om forløpet av våroppblomstringen ved å betrakte mengden av næringssalter og temperaturforholdene i de forskjellige vannmassene. Figur 2.10 viser (ovenfra og ned) fordeling av temperatur, saltholdighet, nitrat og silikat i juni 2003 langs et utvidet Gimsøy-NV-snitt fra norskekysten og ut til de sentrale delene av Grønlandshavet. Temperatur- og saltholdighetsfigurene viser tydelig den arktiske fronten ca. 600 km fra den norske kysten (tette, nesten vertikale temperatur- og saltsolinjer), som skiller de kalde vannmassene i Grønlandsbassenget fra de varme vannmassene i Norskehavet. Man ser også en forsterket lagdeling i saltholdighet og temperatur i det øvre laget over den norske kontinentalsockelen og på vestsiden av den arktiske fronten. Disse gradienter har stor betydning for planteplanktonoppblomstringen, idet de øker mulighetene for algene til å holde seg nær overflaten hvor lysforholdene er gode for veksten. Lave nitrat- og silikatverdier indikerer at næringssalter forbrukes og at oppblomstringen er i gang. Nedgangen i nitrat og silikat er som regel noenlunde lik når planteplanktonsamfunnet består av en blanding av diatomeer og andre mikroalger. I juni 2003 ble det observert at i de områder langs Gimsøysnittet hvor lagdelingen var sterkest,



Figur 2.10

Vertikalfordeling av temperatur ($^{\circ}\text{C}$, øverste panel), saltholdighet, nitrat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) og silikat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, nederste panel) i de øverste 600 m langs Gimsøy-NV-snittet i juni 2003.

Vertical distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$, upper panel), salinity, nitrate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) and silicate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$, lower panel) in the upper 600 m along the Gimsøy-NW-section in June 2003.

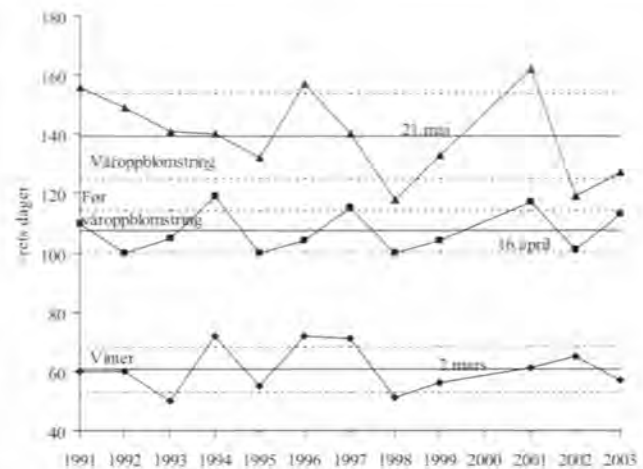
var nærings saltene lavest. Silikatet var nesten uttømt i de områdene på begge sider av den arktiske fronten, mens det fortsatt var betydelige mengder av nitrat igjen. Disse områdene var nesten fullstendig dominert av diatomeer. I de smalt område over kontinentalsokkelen var både silikat- og nitratkonsentrasjoner ekstremt lave, noe som indikerer at i tillegg til diatomeene var andre planteplanktonarter også sterkt representert.

Værskipsstasjon M (66°N, 02°Ø)

Som nevnt tidligere har de fysiske forholdene i overflatelaget stor betydning for utviklingen av primærproduksjonen i Norskehavet. Viktigste i denne sammenheng er faktorer som lysforhold og lagdeling i vannmassene. Oseanografiske undersøkelser foretatt siden 1948 på Værskipsstasjon M (Mike) i Norskehavet (Figur 0.1), har bidratt til utforming av teorien om hvordan fysiske forhold påvirker utviklingen av planteplanktonets vekst om våren. Havforskningsinstituttet har siden 1990 utført regelmessige fysiske og biologiske observasjoner på Stasjon M i Norskehavet. Observasjonene tas fra værskipet MS Polarfront. Innsamlingshyppigheten er avhengig av type parameter og har variert fra daglige til ukentlige målinger.

Tidsvariasjonene i konsentrasjonen av klorofyll *a* (en indeks for algemengde) brukes for å anslå utviklingen i planteplanktonsamfunnet ved Stasjon M. I tidligere rapporter (se *Havets miljø 2000*) har vi sett at utviklingen av planteplanktonvekst i det første halvåret kan deles i tre faser. En vintersituasjon fram til månedsskiftet februar-mars, en føroppblomstringsperiode fra februar-mars til ca. midten av april, etterfulgt av våroppblomstringen som kulminerer i andre halvdel av mai.

Den nå tretten år lange tidsserien av målinger ved Stasjon M (1991-2003) gir oss anledning til å se hvordan tidspunktet for våroppblomstringen varierer fra år til år i denne delen av Norskehavet. I Figur 2.11 er de tre fasene for planteplanktonets utvikling angitt. Vi ser at vinterperioden i et "normalår" varer fram til ca. 2. mars. I hele perioden ligger varigheten av vinterperioden innenfor ett standardavvik fra det normale. Føroppblomstringsperioden strekker seg i gjennomsnitt fra 2. mars til 17. april. Også her ligger de årlige variasjonene som regel innenfor ett standardavvik. Selve våroppblomstringen starter normalt om lag 17. april og oppnår et maksimum ca. 21. mai, men her har de årlige variasjonene vært langt større, og da særlig i de siste årene. I perioden 1991-1998, med unntak av 1996, ser det ut til at våroppblomstringen har inntruffet tidligere for hvert år og har kortere varighet. Fra 1998 til 2001 har selve oppblomstringen vart lenger og kulminert senere. I 2002 var situasjonen fram til føroppblomstringsperioden noenlunde som forventet, men våroppblomstringen tok til mye tidligere enn i 2001, nesten på samme tidspunkt som i 1998, som er tidligst i undersøkelsesperioden. I 2003 varte føroppblomstringsperioden noe lenger enn i 2002, men overgangen til våroppblomstringen skjedde ganske raskt. Det som skiller 2003 fra tidligere år er at vekstsesongen etter våroppblomstringen strakk seg over en lengre periode enn vanlig. Helt ut i juli måned kunne man fortsatt observere forholdvis høye klorofyll-verdier.



Figur 2.11

År-til-år-variasjoner i diverse faser i planteplanktonets utvikling ved Stasjon M i perioden 1991-2003. Sirkler: vinterperiode; firkanter: føroppblomstringsperiode; diamanter: våroppblomstring. Hel linje representerer middel og stiplet linje ett standardavvik.

Year to year variation in the different phases of the development of phytoplankton at Ocean Weather Station Mike in the period 1991 to 2003. Circles: winter phase; squares: pre-bloom phase; diamonds: spring bloom. Continuous lines represent the average for each period. Broken lines represent one standard deviation for each period.

Dyreplankton

Innsamling av dyreplankton i Norskehavet er som tidligere år foretatt med en flerposeplanktonhåv (MOCNESS) og med en ordinær loddrett trukket planktonhåv, WP-2. I disse relativt små redskapene fanges hovedsakelig de mindre planktonorganismene, mens store organismer som krill og amfipoder fanges dårlig. Det har også vært tatt et stort antall prøver med en ny finmasket pelagisk trål (krilltrål) for å fange større planktonorganismer, spesielt krill.

Dyreplanktonbiomassen i store deler av Norskehavet måles i mai med håv i de øvre 200 m. Når dataene presenteres deles Norskehavet inn i tre vannmasser basert på vår kunnskap om hydrografien. Dette er viktig, fordi produksjonsforholdene er svært forskjellige i de ulike vannmassene. Vannmassene i øst, med en saltholdighet under 35, blir definert som norsk kystvann, vannmassene i det sentrale Norskehavet, med en saltholdighet over 35, blir definert som atlantisk vann, og vannmassene i vest med en saltholdighet under 35 blir definert som arktisk vann.

Dyreplanktonbiomassen er generelt høyest i arktisk vann, mens variasjonen i biomasse mellom år er relativt lik i atlantisk og arktisk vann (Figur 2.12). I begge vannmasser var biomassen høy i 1995, for så å avta til et minimum i 1997. Deretter økte biomassen igjen. I kystvannet var endringene i biomasse forskjellige fra det som ble observert lenger vest i havet. Det synes altså som om prosessene som bestemmer dyreplanktonproduksjonen i de norske sokkelområdene er forskjellige fra prosessene lenger ute i havet. Dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann og i kystvann i 2002 viste en klar oppgang sammenlignet med 2001. På grunn av redusert toktid kunne dyreplanktonbiomassen i arktisk vann ikke måles i 2001. I 2002 var biomassen i arktisk vann under

middels. I 2003 ble det målt en nedgang i dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann, mens biomassen i arktisk vann viste en økning. En situasjon med lavere dyreplanktonbiomasse i øst og høye konsentrasjoner i vest kan være med på å forklare den vestlige fordelingen av sildebestanden i mai 2003. Silda vandret heller ikke så langt nord som vanlig i løpet av juni og juli, noe som kan skyldes de bedrete beiteforholdene vest i Norskehavet.

I tillegg til innsamlingen i Norskehavet ble det også tatt planktonprøver på to snitt fra norskekysten og ut i Norskehavet, det ene ved Svinøy (Møre og Romsdal), det andre ved Gimsøy (Nordland) (Figur 0.1).

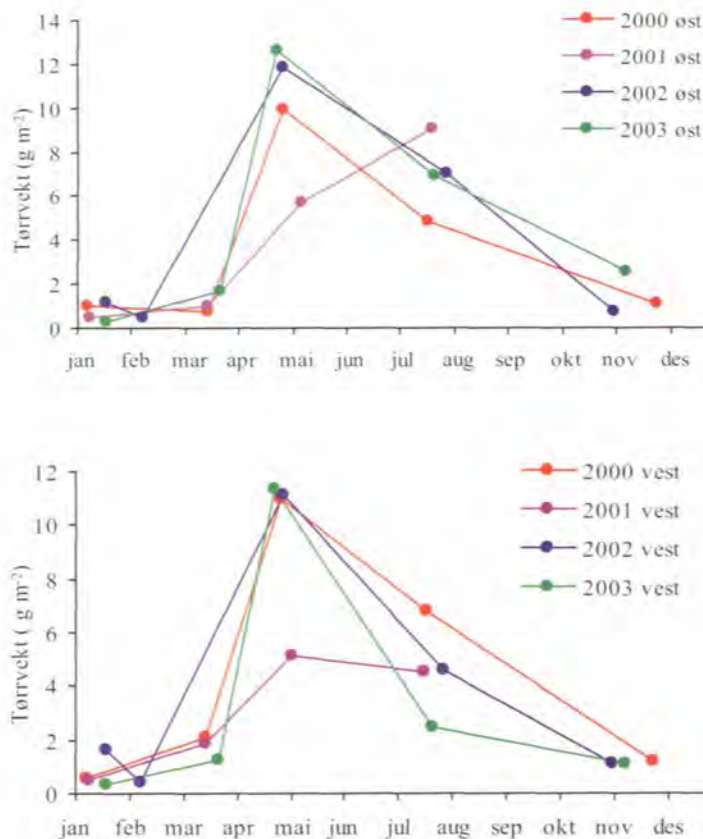
Miljøundersøkelser av denne typen har de senere årene vært gjenstand for en redusert prioritering ved Havforskningsinstituttet. Snittet ble dekket ti ganger i 1998, og dette ga et relativt godt innblikk i planktonmengde- og sammensetning. Totalantallet dekkinger de påfølgende årene har variert mellom fire og seks. I fjor ble Svinøy- og Gimsøysnittene dekket henholdsvis fem og to ganger.



Figur 2.12

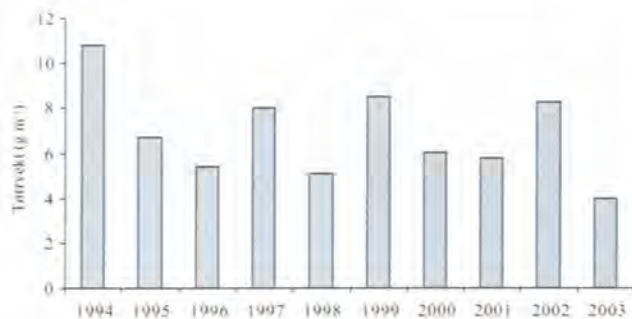
Dyreplanktonbiomasse (g tørrvekt m⁻²) i ulike vannmasser i Norskehavet i mai 1995-2003.

Zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in different water masses in the Norwegian Sea in May 1995-2003.



Figur 2.13

Dyreplanktonmengder (g tørrvekt m⁻²) på Svinøysnittet fra 2000 til 2003. Øverst: østlige del av snittet; sokkel og kontinentalskråning. Nederst: vestlige del av snittet, kontinentalskråning og dyphav. Zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) at the Svinøy transect from 2000 to 2003. Upper figure: Eastern part of the transect. Lower figure: Western part of the transect.



Figur 2.14

Midlere biomasse av dyreplankton (tørrvekt g m⁻²) i Norskehavet i juli-august fra 1994 til og med 2003.

Mean zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in the Norwegian Sea in July-August 1994-2003.

Figur 2.13 viser mengdene av dyreplankton i de øvre 200 meter på Svinøysnittet i 2000-2003 som et gjennomsnitt for henholdsvis de østlige og vestlige deler av snittet, basert på prøvetakingene med WP-2 håv. Den østlige delen omfatter stasjoner over kontinentalsokkelen og noe av kontinentalskråningen, og er i hovedsak karakterisert av kystvannmasser. Den vestlige delen av snittet strekker seg fra kontinentalskråningen og nordvestover mot den arktiske fronten, hovedsakelig i atlantiske vannmasser.

Planktonmengdene var normalt lave i midten av januar 2003 (ca. 0.3 g m⁻² både i østlige og vestlige del av snittet), og viste en liten økning til hhv. 1,6 og 1,2 g m⁻² i østlige og vestlige del av snittet i slutten av mars. I månedsskiftet april/mai ble det observert 12,6 g plankton m⁻² i øst, 11,3 g m⁻² i vest. Dette er ganske likt med verdiene foregående år. Den fjerde dekingen tidlig i slutten av juli viste at planktonmengdene var redusert til ca. 7 g m⁻² i østlige del og til 2,4 g m⁻² i vestlige del. På dette tidspunkt var planktonmengdene i kystvannet og over kontinentalsokkelen svært lik 2002, mens planktonmengdene i atlantisk vann var lavere enn året før. Den femte og siste dekingen av snittet ble foretatt i midten av november. I den østlige delen av snittet var biomassen 2,6 g m⁻². Lenger til havs var planktonmengden lavere, ca. 1,1 g m⁻².

Totalt sett var planktonbiomassene i østlige del av Svinøysnittet i 2003 ganske lik dem vi observerte året før, med unntak av en noe høyere biomasse på slutten av 2003. Fram til mai var også planktonbiomassene i vestlige del av snittet svært lik de fra 2002, i juli var biomassen omtrent halvparten av den fra juli året før, mens novemberverdiene i 2003 og 2002 var omtrent identiske.

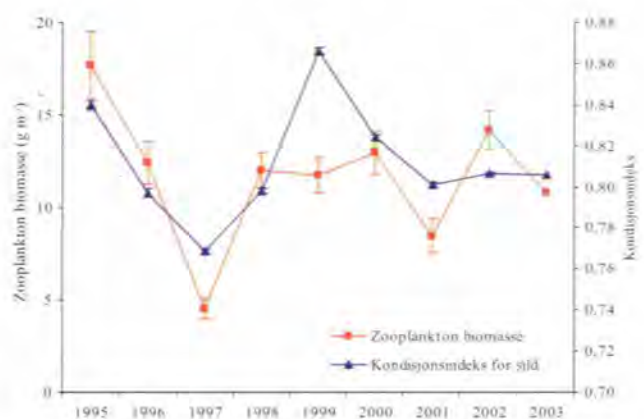
Det ble foretatt en ganske omfattende horisontaldeking av dyreplanktonmengden i Norskehavet i juli/august i perioden 1994-2002. En noe redusert innsamling ble foretatt på samme tid i 2003. Mens det i 1994 ble observert en gjennomsnittlig planktonmengde på ca. 11 g m⁻² i Norskehavet, fant en i 1998 under 6 g m⁻². Dette var fram til 2003 den laveste verdien som er registrert. Snittet for 1994-2002 er 7,15 g m⁻². Innsamlingsfrekvensen er blitt gradvis redusert. I 2001 ble det foretatt 70 håvtrekk i området, i 2002 kun 24 og siste

år 20. I 2003 ble undersøkelsene også foretatt noe lenger øst og nord enn tidligere år. Gjennomsnittsbio massen i 2003 var lav, ca. 4 g m⁻², det laveste som er registrert siden undersøkelsene startet (Fig. 2.14). Et redusert antall stasjoner og et noe endret undersøkelsesområde medfører imidlertid at sammenligningsgrunnlaget er usikkert.

En relativt stor årlig variasjon mellom planktonbiomassene i overflatelaget om sommeren må forventes, siden stadiet utviklingen hos de viktigste planktonorganismene varierer noe i tid mellom årene, lik ens tidspunktet da store deler av planktonmengden søker mot større dyp for overvintring. En lav dekningsgrad av disse undersøkelsene innebærer at en mellomårlig sammenligning er usikker.

Beiteforhold for sild

Silda beiter hovedsakelig på dyreplankton i atlantisk vann og i blandingsvannmassene nær den arktiske fronten vest i Norskehavet. Det er derfor naturlig å sammenligne veksten hos silda med dyreplanktonbiomassen i atlantiske vannmasser. Det ble funnet en god sammenheng mellom dyreplanktonbiomasse i atlantisk vann om våren og kondisjonen hos silda ved tilbakekomst til overvintrings-området i desember (Figur 2.15). I 1999 så vi en klar endring i vandringsatferden hos silda, i og med at silda hadde en mer vestlig fordeling. Det året beitet derfor silda i større grad i arktiske vannmasser der dyreplanktonbiomassen er betydelig høyere. Det kan forklare den høye kondisjonen hos silda i 1999 i forhold til dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann. I mai 2003 var dyreplanktonbiomassen i atlantisk vann rundt gjennomsnittet for tidsperioden fra 1995 til 2003. Det var også kondisjonsindeksen for silda. Sammenlignet med 2002 var dyreplanktonbiomassen noe lavere, men kondisjonsindeksen har ikke endret seg så mye. Vi tror det skyldes sildas evne til å beite i de høyeste konsentrasjonene. For eksempel var det i 2003 spesielt høye konsentrasjoner av plankton i arktisk vann, og den eldste silda ble observert uvanlig langt mot sørvest der Øst-Islandsstrømmen fører arktisk plankton inn i Norskehavet.



Figur 2.15

Dyreplanktonbiomasse (g tørrvekt m⁻²) i atlantisk vann i Norskehavet i mai og kondisjonsindeks for sild målt i desember.

Zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in Atlantic water in the Norwegian Sea in May and condition factor for herring in December.

Sild

Årets sildelarvetokt startet 13. april, og ble avsluttet i Bergen 21. april. Det ble i alt tatt 109 CTD-stasjoner. I 2003 fant vi mye færre sildelarver enn vi har gjort de siste årene (Figur 2.16), og det er ikke funnet så få larver på over 10 år. Det ble funnet sildelarver fra Malangsgrunnen, der undersøkelsene startet, til Røstbanken (Figur 2.17). Det ble i tillegg funnet sildelarver ved Sklinnabanken og i området fra Stad til Haltenbanken. Tettheten av larver var kraftig redusert i forhold til 2002, og det største antallet sildelarver vi fant på en stasjon var 458 larver per m² overflate. Til sammenligning var det de forutgående årene store områder med over 1 000 larver per m², og vi har i enkelte år funnet stasjoner med over 10 000 larver per m². Hovedmengden av sildelarver ble i 2003, som i 2002, funnet lenger nord enn det som vanligvis er tilfellet på denne tiden av året. Det ble funnet like mange larver fra Røstbanken til Malangsgrunnen som sør for Røstbanken. Sør for Stad var antallet larver lavt. Den totale mengden innsamlede sildelarver ble beregnet til å være $3,68 \cdot 10^{12}$ sildelarver, mens det tilsvarende tallet i 2002 var $27,1 \cdot 10^{12}$. Gjennomsnittslengden av larvene var 14,74 mm i 2003, noe som er det høyeste som er målt siden disse undersøkelsene ble gjenopptatt i 1985.

Tabell 1 viser en oversikt over beregnet totalantall av sildelarver per år på norsk sokkel i perioden 1981-2003. Indeks 1 er det totale sildelarveantallet som blir beregnet under sildelarvetoktet. Indeks 2 er tilbakeberegnet antall nyklekkede sildelarver, der en ved hjelp av den estimerte alderen på larvene og en antagelse om en jevn 10 % dødelighet per dag beregner hvor mange larver som opprinnelig ble klekket.

Hovedkonklusjonen er at det har vært en dramatisk nedgang siden 2002. Årsaken til dette er sannsynligvis dårlige ernæringsforhold på sokkelen i mars/april, noe som har medført en ekstra høy dødelighet for larvene. Det er imidlertid positivt at en finner gyting på kystbanker langs store deler av norskekysten, slik at klekkingen blir spredd og sjansen for at noen av larvene får gunstige oppvekstvilkår øker. I 2003 ble det funnet svært få larver i området mellom Haltenbanken/Frøyabanken og Røstbanken, noe som tyder på høy dødelighet av sildelarver i dette området. Det kan imidlertid også bety at det har vært en oppsplitting av gytebestanden i en sørlig komponent som gyter i området fra Mørefeltene til Haltenbanken, og en nordlig komponent som gyter på Røstbanken.

Andre fiskearter

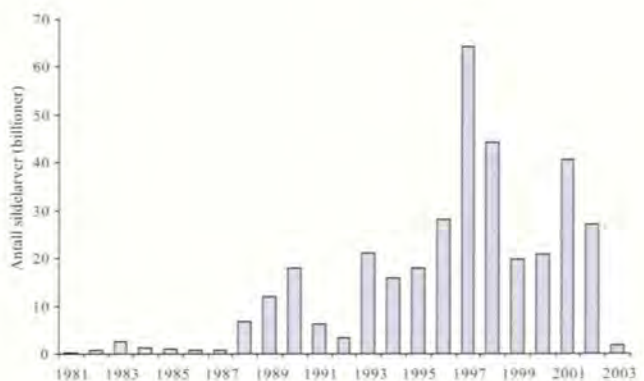
Det ble funnet høye konsentrasjoner av larver av forskjellige annen fisk nord for Røstbanken, og dette var i hovedsak sei-, torsk-, lodde- og øyepållarver. Det som særlig pekte seg ut i 2003 var de høye konsentrasjonene av torskelarver på kystbankene utenfor Lofoten og Vesterålen. Både mengden og den tidlige klekkingen var spesiell for 2003, og vi har ikke funnet så høye tettheter av torskelarver i Lofoten siden 1992.

År	Indeks 1	Indeks 2	År	Indeks 1	Indeks 2
1981	0.3		1992	6.3	27.8
1982	0.7		1993	24.7	78.0
1983	2.5		1994	19.5	48.6
1984	1.4		1995	18.2	36.3
1985	2.3		1996	27.7	81.7
1986	1.0		1997	66.6	147.5
1987	1.3	4.0	1998	42.4	138.6
1988	9.2	25.5	1999	19.9	73.0
1989	13.4	28.7	2000	19.8	127.5
1990	18.3	29.2	2001	40.7	131.9
1991	8.6	23.5	2002	27.1	113.9
			2003	3.7	18.9

Tabell 2.1

Totalantallet sildelarver som er blitt funnet på norsk sokkel i perioden 1981-2003 i billioner (10^{12}).

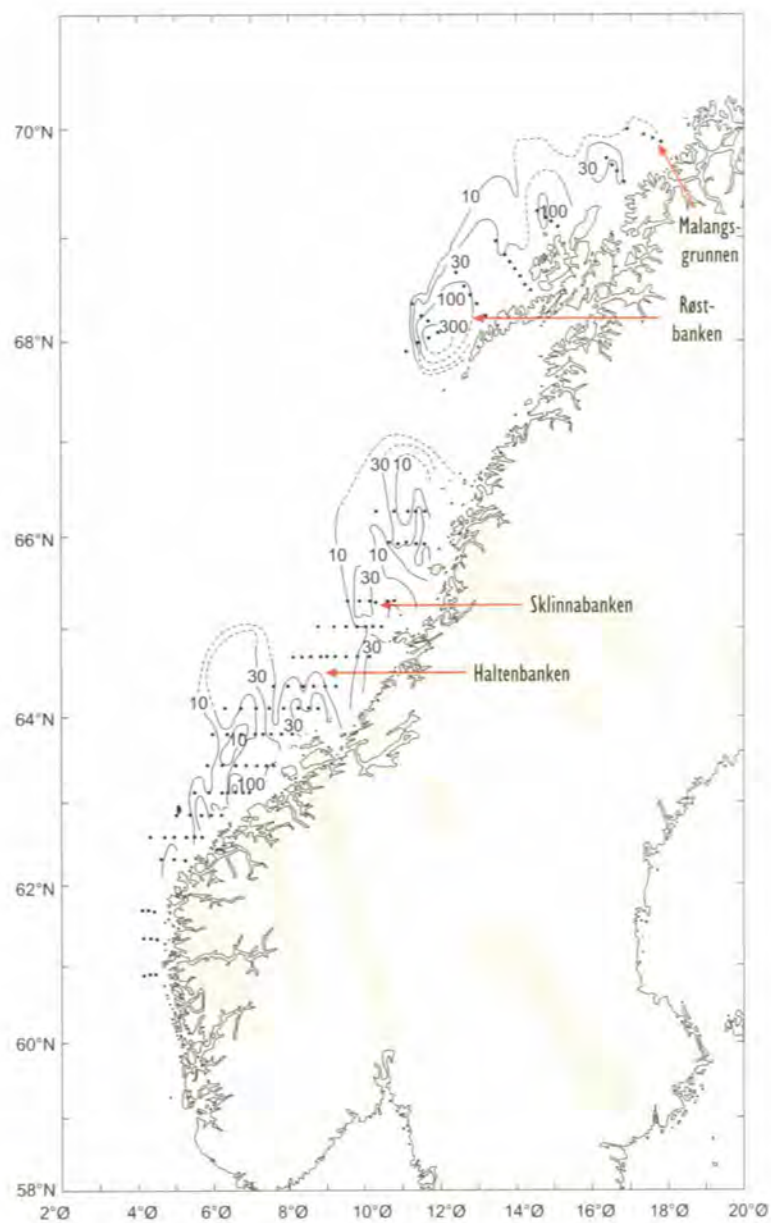
Total number of calculated herring larvae from 1981-2003 on the Norwegian continental shelf in billions (10^{12}).



Figur 2.16

Beregnet antall sildelarver på norsk sokkel, 1981-2003.

Calculated number of herring larvae on the Norwegian continental shelf, 1981-2003.



Figur 2.17

Utbredelsen av sildelarver (alle stadier) på sokkelen mellom 60 og 70°N i april 2003.

Distribution of herring larvae in April 2003.

Kapittel 3

Økosystemene i
Nordsjøen og Skagerrak



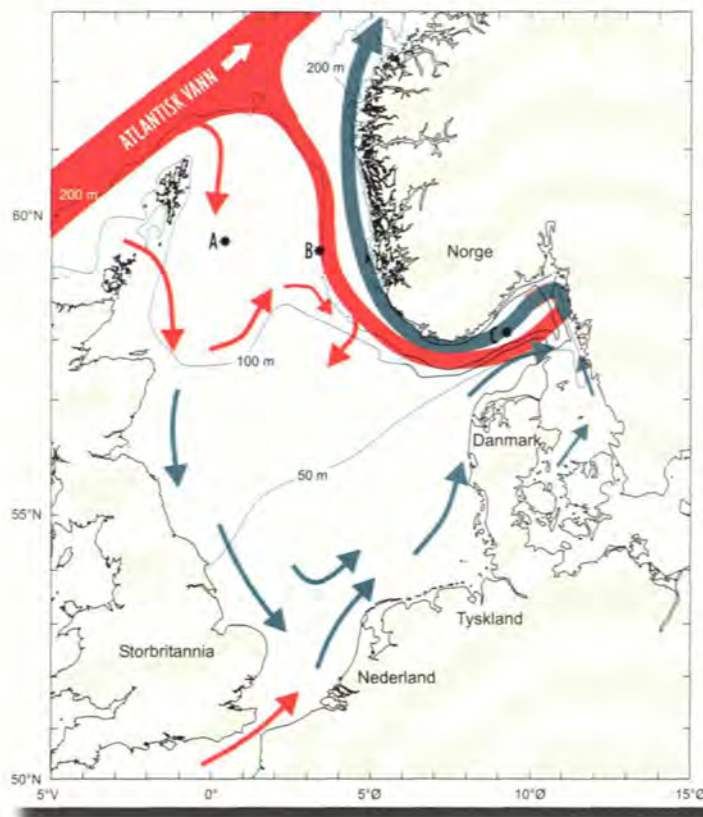
Foto: Monika von Menden

Nordsjøen

Nordsjøen er et meget grunt hav sammenlignet med Norskehavet og Barentshavet. To tredjedeler av Nordsjøen er grunnere enn 100 m. Den dypeste delen er Norskerenna nær norsk-kysten som har dybder på over 700 m. Dybdeforholdene er viktige for sirkulasjonen, da topografien i stor grad styrer vannmassenes bevegelse. Vannmassene i Nordsjøen har sin opprinnelse i innstrømningen av atlantisk vann med høy saltholdighet fra Norskehavet og ferskvannstilførsel fra land (Figur 3.1). Om vinteren er vertikalblandingen stor i de grunne områdene, med små temperaturforskjeller mellom overflaten og bunnen. Oppvarmingen om sommeren resulterer i et markert temperatursprang i 20-50 m dyp.

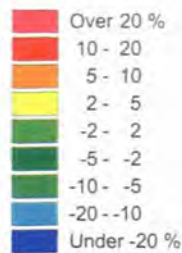
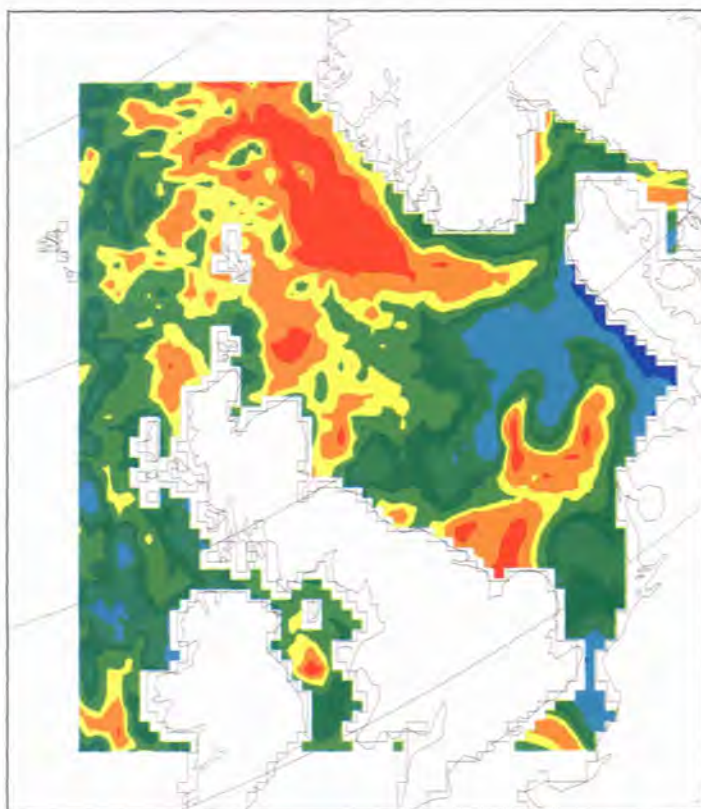
Vannmassene i Nordsjøen strømmer hovedsakelig mot klokken (Figur 3.1), og nesten alt vannet må innom Skagerrak før det fortsetter nordover som en del av Den norske kyststrømmen. Strømbildet i Figur 3.1 viser en middelsituasjon. Variasjoner i dette bildet fra et år til et annet har stor innflytelse på økosystemet i Nordsjøen. De viktigste årsakene til variasjonene er endringer i innstrømning av atlantisk vann, vindforhold, varmeutveksling med atmosfæren og ferskvannstilførselen.

En numerisk havmodell viste at sirkulasjonen i Nordsjøen i 2003 var ganske normal gjennom hele året. I Den engelske kanal var netto innstrømning generelt ganske svak (som års-

**Figur 3.1**

De viktigste trekkene ved sirkulasjonsmønstre og dybdeforhold i Nordsjøen og Skagerrak. Lokalisering av stasjonene A, B og C. Røde piler: atlantisk vann. Grønne piler: kystvann.

The circulation and bathymetry of the North Sea and Skagerrak. Stations A, B and C. Red arrows: Atlantic water. Green arrows: Coastal water.



Figur 3.2

Primærproduksjonen i Nordsjøen i 2003. Produksjonen er vist som prosentvis forskjell i forhold til et middel for perioden 1985-2003. De røde områdene hadde høyere og de blå områdene lavere produksjon enn vanlig. Produksjonen er ikke målt, men modellert.

Primary production in the North Sea in 2003. The production is expressed as %-deviation from a mean based on the period 1985-2003. The production is modelled, not measured.

middel den svakeste siden 1976), til tross for klart sterkere innstrømning enn normalt i 2. kvartal. Innstrømningen av atlantisk vann til den nordlige Nordsjøen var totalt noe sterkere enn normalt. I første halvdel av året var overflatetemperaturen høyere enn normalt. Mens temperaturen i januar var ganske normal (eller til dels litt lavere enn normalt langs norskekysten), steg avviket gradvis til 1-2 °C over normalen i juni med det største avviket i de vestlige deler av Nordsjøen. I 3. kvartal var overflatetemperaturen over to grader høyere enn normalt, mens det i 4. kvartal var ca. én grad varmere enn normalt. Dette betyr at andre halvdel av 2003 var blant det varmeste 3. og 4. kvartal vi har hatt de siste 30 år.

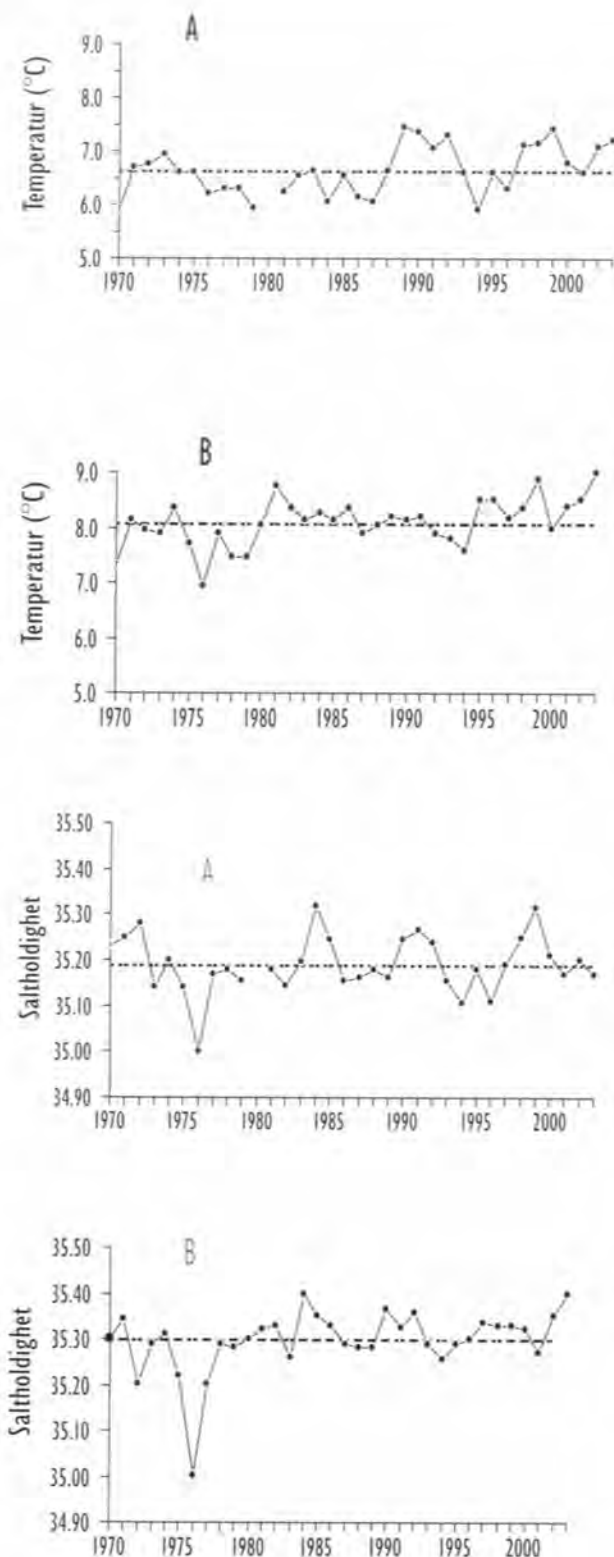
Atlantisk vann fører mye næringssalter inn i Nordsjøen. Den noe sterkere innstrømningen av atlantisk vann vil derfor føre til mer næringssalter enn vanlig i området og sannsynligvis til en høyere primærproduksjon. Siden vi ikke har målinger av produksjonen, har vi beregnet denne med en modell. Resultatene viser en høyere årlig primærproduksjon (10-20 g C m⁻²) i den nordlige Nordsjøen i 2003 (Figur 3.2) enn midlere produksjon beregnet for perioden 1985-2003. Samtidig er det en vesentlig lavere produksjon i sør og øst, spesielt langs danskekysten. Dette ser bl.a. ut til å skyldes at det næringsrike vannet fra de tyske elvene ikke har fulgt den vanlige transportrutene tett oppover langs kysten av Danmark med dertil høy produksjon. Det henger også sammen med den reduserte innstrømningen gjennom Den engelske kanal.

Figur 3.3 A viser tidsserier av sommermålinger av saltholdighet og temperatur i dypere lag av den nordlige Nordsjøen (posisjon A, Figur 3.1). Målingene er antatt å representere

årets "vintervann" i den vestlige grenen av innstrømmende atlantisk vann, som i løpet av vinteren blir blandet med litt ferskere vann over Nordsjøplatået. Figur 3.3 B viser tilsvarende målinger fra en stasjon på vestskråningen av Norskerenna, i kjernen av innstrømmende atlantisk vann fra Norskehavet til Nordsjøen og Skagerrak (posisjon B, Figur 3.1). Gjennomsnittstemperatur og saltholdighet er vanligvis henholdsvis 1-2 °C og ca. 0,1 lavere over Nordsjøplatået enn i kjernen av det innstrømmende atlantiske vannet i Norskerenna.

I årene 1989-92 var dypvannet i den nordlige del av Nordsjøen uvanlig varmt. Vintrene 1989 og 1990 var trolig de varmeste på 130 år (Figur 3.3 A). Etter 1992-93 sank temperaturen, og i 1994 lå både saltholdighet og temperatur under det normale for årstiden. Dette var et resultat av en noe redusert innstrømning av atlantisk vann høsten 1993 og økt lokal avkjøling. Fra 1995 snudde den synkende tendensen i temperatur og saltholdighet, i samsvar med økt innstrømning av atlantisk vann. Etter en forbigående nedgang i 1996 har det igjen vært en betydelig økning i temperatur og saltholdighet over Nordsjøplatået. Temperaturen i 1999 var om lag like høy som i 1990, og saltholdigheten var blant de høyeste siden 1970. I 2000 og 2001 lå saltholdighet og temperatur nær det normale for årstiden, og i 2002 fikk vi en viss økning i temperaturen. Økningen fortsatte i 2003, som må betraktes som et varmt år godt over normalen.

I Norskerenna har det vært en tilsvarende utvikling de siste årene som over Nordsjøplatået (Figur 3.3 B), og vi legger spesielt merke til at temperaturene i innstrømmende atlantisk



Figur 3.3

Temperatur og saltholdighet nær bunnen i den nordvestlige del av Nordsjøen (posisjon A) og i kjernen av atlantisk vann i vestskråningen av Norskerenna (posisjon B) om sommeren i årene 1970-2003. For lokalisering av posisjonene A og B, se Figur 3.1. *Temperature and salinity near bottom in the north-western part of the North Sea (A) and in the core of Atlantic water (B) at the western shelf edge of the Norwegian Trench during the summers of 1970-2003 (Locations of A and B in Figure 3.1).*

vann i Norskerenna i 1999 var de høyeste siden 1970. I 2000 var temperaturen også her redusert ned mot normalen, med en liten økning i 2001 og 2002. Imidlertid ser vi en kraftig økning i 2003 med ekstremt høy saltholdighet og temperatur. Dette skyldes delvis en relativt kraftig innstrømming av atlantisk vann i andre kvartal og spesielt i juni, koblet med at det innstrømmende vannet var spesielt salt og varmt helt fra bunn og opp til ca. 50 m dyp.

Den beregnede innstrømmingen av atlantisk vann til den nordlige og den sentrale Nordsjøen varierte i 2003 fra ca. 2,0 Sverdrup (Sv) i januar og ned til ca. 1,0 Sv i april (Figur 3.4). Figuren viser også at de ekstra høye temperaturene over Nordsjøplatået på slutten av 1980-tallet og første del av 1990-årene (Figur 3.3 A) var knyttet til unormalt stor innstrømming av atlantisk vann til Nordsjøen. Innstrømming gjennom Den engelske kanal var svak bortsett fra i andre kvartal. I oktober og desember ble det registrert noen mindre områder med atlantiske vannmasser med saltholdighet på over 35,3 og med temperaturer på mellom 8,5 og 9,5 °C mellom 50 til 100 meters dyp på dansk side av Skagerrak. Så høye saltholdigheter er uvanlig å observere inne i Skagerrak, og har ikke vært observert siden høsten 1991. Dette samsvarer godt med observasjonene på Utsira-snittet i juli.

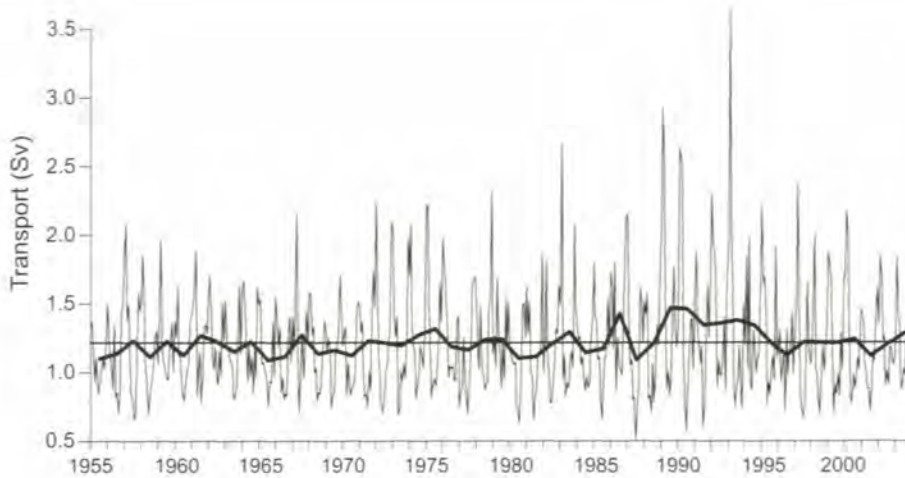
Atlantisk vann og fangst av taggmakrell

Beregnet innstrømming av atlantisk vann til Nordsjøen om vinteren har vist seg å ha stor sammenheng med fangst av taggmakrell den etterfølgende høst i Nordsjøen. Normal eller svak vinterinnstrømming av atlantisk vann førte til dårlig fiske i perioden 1976-1987 og i de tre årene 1991, 1996 og 2001 (Figur 3.5). De øvrige år med relativt sterk innstrømming av atlantisk vann samsvarte med godt fiske av taggmakrell. Dette har gitt grunnlag for halvårsprognoser for fisket, som rutinemessig har blitt beregnet siden 1996. Frem til 1999 samsvarte prognosene meget bra med de rapporterte fangstene, mens sammenhengen sviktet helt i 2000. En årsak kunne være at bestanden av taggmakrell var sterkt nedfisket, og selv om det ut fra miljøforholdene skulle ligget til rette for et godt fiske, ble fangstene små. Imidlertid kunne dette misforholdet knyttes til sosioøkonomiske betingelser i fisket. Den ekstremt svake innstrømmingen vinteren 2001 samsvarte bra med et svakt fiske på 8 000 tonn, og prognosen på 38 000 tonn samsvarte godt med det etterfølgende fiske på nær 37 000 tonn. Dette tyder på at taggmakrellens vandring til Nordsjøen fremdeles er styrt av innstrømmingen av atlantisk vann. For 2003 var prognosen 33 000 tonn, og anslaget for fisket er 20 000 tonn.

Skagerrak og vestkysten av Danmark

I Skagerrak finnes tre hovedvannmasser:

- Skagerrak-kystvann som har saltholdighet mellom 25,0 og 32,0 og temperatur mellom 0 og 20 °C.
- Skagerrakvann med saltholdighet mellom 32,0 og 35,0 og temperatur vanligvis mellom 3 og 16 °C.
- Atlantisk vann med saltholdighet over 35,0 og temperatur mellom 5,5 og 7,5 °C.


Figur 3.4

Tidsserier (1955-2003) av modellert årsmidlet (tykk strek) og månedsmidlet transport av atlantisk vann til den nordlige og sentrale Nordsjøen sør-over mellom Orknøyene og Utsira. 1 Sv = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

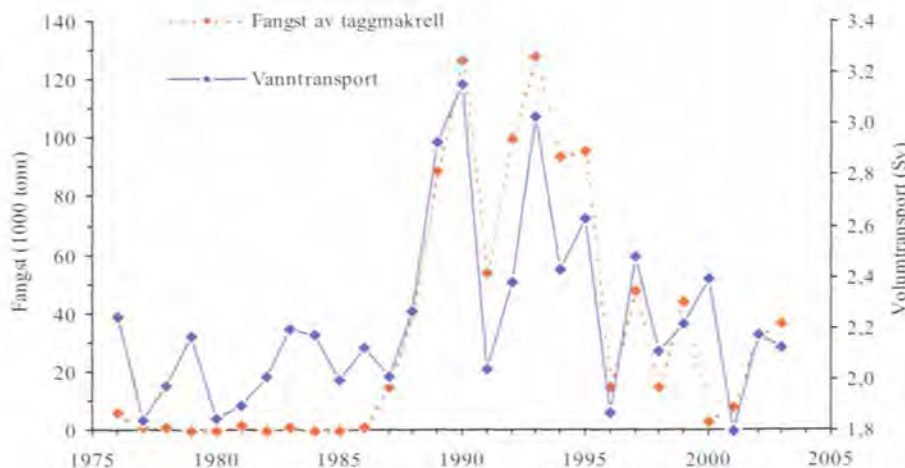
Time series (1955-2003) of modelled annual mean (bold) and monthly mean volume of southward transport of Atlantic water into the northern and the central North Sea between the Orkney Islands and Utsira, Norway. 1 Sv = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I tillegg er vann med saltholdighet lavere enn 25,0 definert som brakkvann, med opprinnelse fra Kattegat og Østersjøen og ferskvannsavrenning.

Skagerrak-kystvann er hovedsakelig en blanding mellom vann fra Kattegat og Østersjøen, ellevann og vann fra den sørlige og til dels sentrale Nordsjøen. Skagerrakvann har et større innslag av vannmasser fra den sentrale Nordsjøen. Atlantisk vann tilføres Skagerrak fra Norskehavet via den nordlige Nordsjøen, der det innlagres under det lettere Skagerrakvannet.

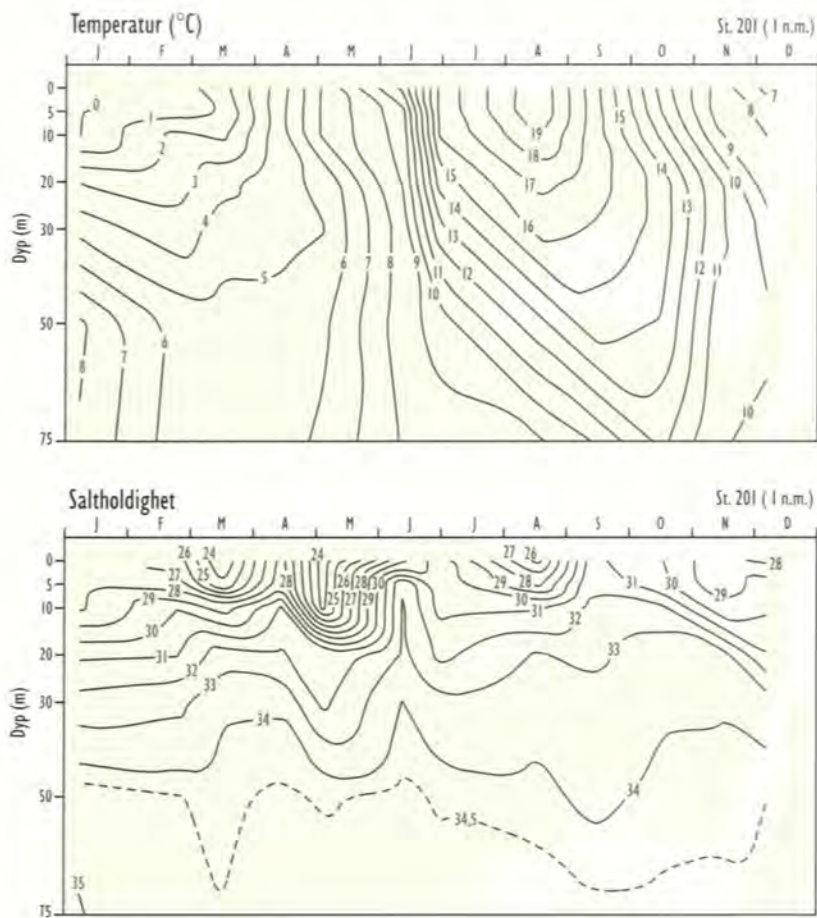
Utenfor Sørlandskysten var det i 2003 betydelig mindre brakkvann enn året før. Det ble bare observert i en liten periode i mars og i månedsskiftet april/mai ned til 5-10 meters dyp (Figur 3.6). Gjennom resten av året besto overflatevannet av Skagerrak-kystvann, hvis nedre grense mot

Skagerrakvann varierte mellom 10 og 30 meter. Laget med Skagerrak-kystvann var tynnest i juni og september, da Skagerrakvann trengte helt opp til 10 meters dyp. Bortsett fra i januar bestod vannmassene dypere enn 75 meter av atlantisk vann. Vinteren var betydelig kaldere enn året før. I januar-februar lå temperaturen på under 1°C ned til 5-10 meters dyp. Et værromslag i siste del av januar var årsak til at dette ikke resulterte i en isvinter. En meget varm sommer og ettersommer, som begynte i juni og varte ut september, resulterte i en kraftig oppvarming av overflatelaget i likhet med året før. Temperaturene lå i denne perioden langt over gjennomsnittet, og i begynnelsen av september var temperaturen over 14°C på 50 meters dyp. I juli var middeltemperatur på 1 meters dyp ved Havforskningsinstituttet Flødevigen 2°C høyere enn gjennomsnittstemperaturen de siste 30 år. Det er bare årene 1925 og 1997 som har hatt


Figur 3.5

Middelet for første kvartal av modellert total vanntransport sørover i Nordsjøen gjennom et snitt fra Utsira til Orknøyene i perioden 1976-2003. Fangst av taggmakrell etterfølgende høst i Nordsjøen.

Modelled time series (1976-2003) of the mean (1st quarter) transport of Atlantic water into the North Sea between Utsira and the Orkney Islands. Capture of horse mackerel in the North Sea the following autumn.



Figur 3.6

Temperatur og saltholdighet i 2003 i de øverste 75 m, ca. 1 nautisk mil utenfor Torungen fyr ved Arendal (St. 201).

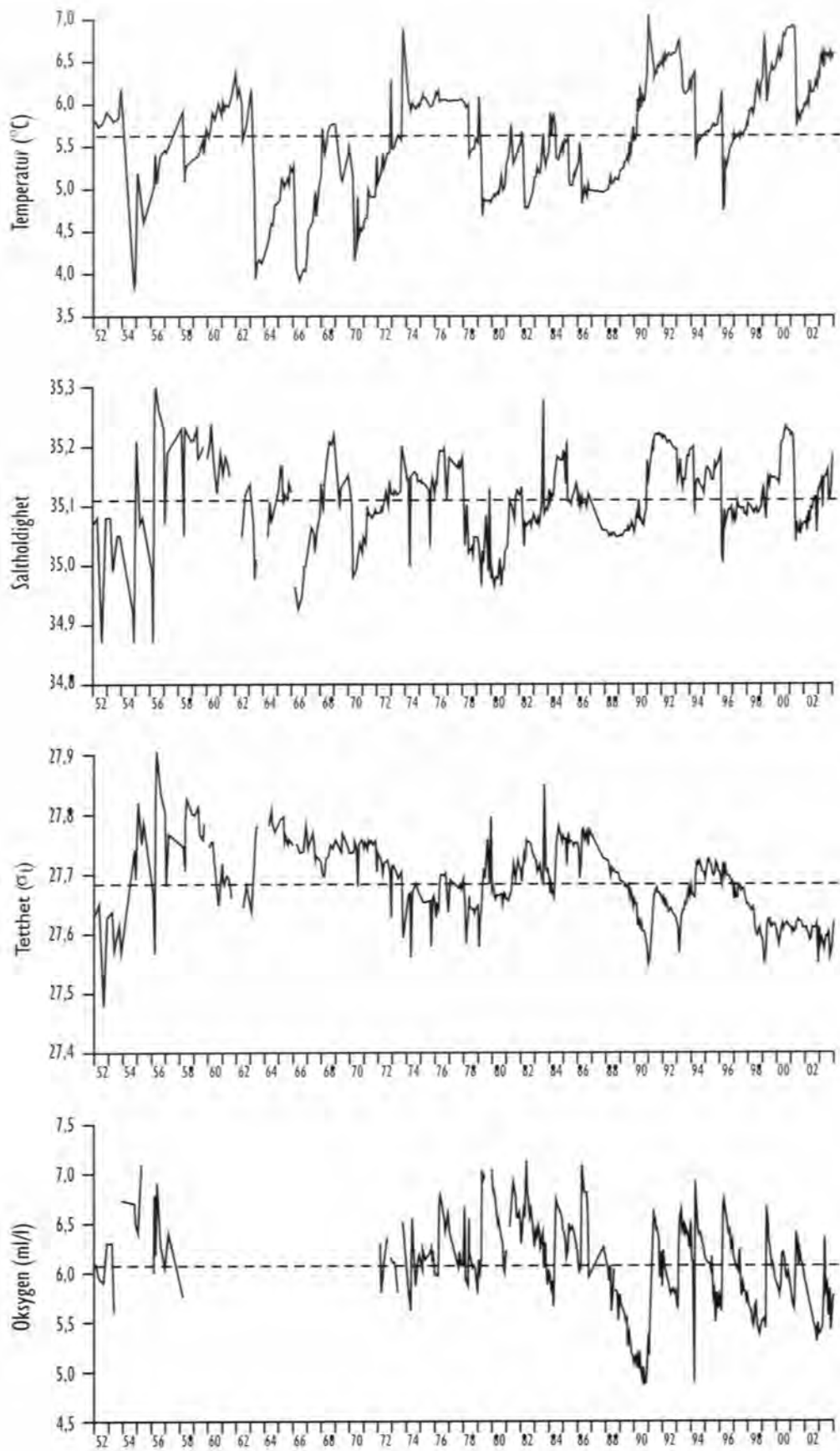
Temperature and salinity in 2003 for the upper 75 m at St. 201, 1 n.m. outside Torungen lighthouse near Arendal.

høyere middeltemperatur i juli. I oktober–november falt temperaturen i overflatevannmassene i kystvannet betydelig, og lå i november til dels under 30-årsmidlet.

Figur 3.7 viser tidsserier av temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på 600 meters dyp i Skagerrakbassenget utenfor Sørlandskysten (posisjon C, Figur 3.1). Det fant sted en storstilt utskifting av vannmassene i Skagerrakbassenget i 1991. Dette inntraff etter en lang stagnasjonsperiode, med de laveste oksygenkonsentrasjonene i bassenget som noen gang er observert ($4,8 \text{ ml l}^{-1}$). Temperaturene i 1990/91, like før innstrømningen, var de høyeste siden målingene startet i 1947. De unormalt høye temperaturene i Skagerrakbassenget holdt seg fram til ca. 1994, da innstrømning av kjøligere vann fra Nordsjøplatået medførte et markert temperaturfall. Etter en ny innstrømning av relativt kaldt og oksygenrikt vann fra Nordsjøplatået vinteren 1996, økte temperaturen gradvis igjen til ca. $1,4^\circ\text{C}$ over normalen. Temperaturøkningen gjorde vannet lettere og la forholdene til rette for en utskifting av bassengvannet i Skagerrak. Det var en innstrømning til Skagerrakbassenget av noe kaldere og oksygenrikt vann fra Nordsjøplatået tidlig om våren 1999. Også i 2000 var det en viss utskifting av bunnvannet, men denne gangen med relativt varmt og salt vann fra Norskerenna. Temperaturen i 2000 var om lag like høy som i den varme perioden i begynnelsen av 1990-årene. Tettheten var fortsatt lav, og vi forventet derfor ny innstrømning til Skagerrakbassenget i løpet av 2001. Dette skjedde i april–mai med kalde og relativt ferske vannmasser fra Nordsjøplatået, som hadde noe høyere oksygeninnhold, men omtrent samme tetthet.

Disse vannmassene gikk helt til bunns i den dypeste delen av Skagerrakbassenget. Det fant sted en fornyelse av dypvannet i Skagerrakbassenget våren 2003 i perioden mars – mai med en signifikant økning av oksygenkonsentrasjonen. I første del av perioden var det en innstrømning av noe kaldere og mer oksygenrikt og mindre salt vann fra Nordsjøplatået. I siste del av perioden var det en tilførsel av varmere, oksygenrikt og mer salt vann fra norskerenna. I begge tilfelle ga dette en svært liten forandring i tettheten. De hydrografiske forholdene ligger til rette for en ny utskifting sannsynligvis tidlig i 2004.

På 90-tallet har vi gjennom en rekke år observert lave oksygenkonsentrasjoner i innstrømmende nordsjøvann i august/september. Dette tyder på at det er en unormalt høy omsetning av organisk materiale i deler av Nordsjøen. I 2003 ble det ikke observert så lave oksygenkonsentrasjoner i august/september på dansk side som i tidligere år. Dette samsvarer fint med over 20% lavere årsproduksjon modellert langs den danske vestkyst (se Figur 3.2). I oktober ble det på norskekysten i 75 til 100 meters dyp i Nordsjøvann registrert oksygenverdier i underkant av 5 ml l^{-1} , som heller ikke er så lavt som i tidligere år. I 2002 ble det til sammenlikning observert innstrømning av oksygenfattig vann fra Nordsjøen til Skagerrak, som i 30 til 75 meters dyp på norskekysten hadde oksygenverdier på ca. $4,7 \text{ ml l}^{-1}$ i september, omtrent som året før. Inne ved danskekysten var de nede i $3,9 \text{ ml l}^{-1}$. I 2000 ble det på denne tiden registrert betydelig lavere konsentrasjoner utenfor norskekysten på 30–75 m, helt ned mot $3,5 \text{ ml l}^{-1}$, noe man antok skyldtes den store oppblomstringen av *Chattone* tidligere på året den gang.

**Figur 3.7**

Temperatur, saltholdighet, tetthet og oksygen på 600 m dyp i Skagerrak-bassenget for årene 1952-2003 (Posisjon C, Figur 3.1).

Temperature, salinity, density and oxygen of the bottom water (600 m depth) in Skagerrak for the years 1952-2003.

SKAGERRAK OG VESTKYSTEN AV DANMARK

Næringssalter

Etter syttiårene har det vært en betydelig økning i tilførslene av menneskeskapt næringssalter, i hovedsak nitrogen, til Skagerrak fra sørlige Nordsjøen og Kattegat. Tilførslene er særlig store i år med milde vintre og kraftig nedbør over Nord-Europa. Nedbøren i seg selv er nitrogenrik, men viktigere er det at det vaskes ut mye næringssalter fra jordsmonnet. Det meste kommer til kysten via store elver som Elbe. I milde vintre med mye nedbør er i tillegg den dominerende vindretningen ofte sørlig, og da føres vannmasser fra sørlige Nordsjøen hurtigere og mer direkte inn i Skagerrak.

Næringssalter og planteplankton målt som klorofyll samt hvilke alger som dominerer, er overvåket i Skagerrak ved månedlige snitt mellom Torungen ved Arendal og Hirtshals i Danmark med 12 stasjoner siden 1980 (Figur 0.1). Næringssalter måles i standarddyp fra overflaten til bunnen, mens klorofyll måles i de øvre 50 m. Algeanalysene baserer seg på en blandingsprøve med like deler vann fra 0, 5, 10, 20 og 30 m (0-30 m-prøve), samt et overflatehåvtrekk fra tre stasjoner: en ved kysten av Norge, en midt i Skagerrak

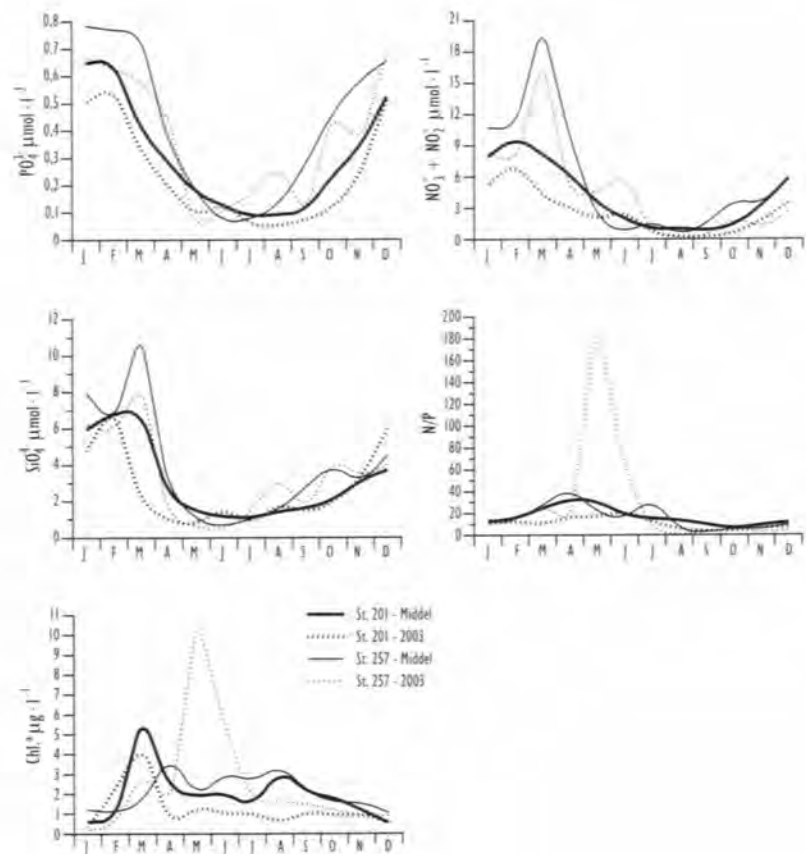
og en ved kysten av Danmark. En tidsserie fra 1980 har gitt grunnlag for å beregne middelerverdier eller hva vi kan kalle "normale" verdier i Skagerrak (Figur 3.8). Fordi hyppigheten på snittene bare er en gang per måned, og algeoppblomstringer kan komme og gå i løpet av en-to uker, kan det foregå oppblomstringer som vår prøvetaking ikke fanger opp. De store trekkene i algebildet synes likevel å fremtre også ved månedlige tokt.

I tillegg til de månedlige snittene mellom Torungen og Hirtshals, har hele Skagerrak, deler av Kattegat og vestkysten av Danmark blitt overvåket hvert år i april siden 1988 for å se på næringssaltsituasjonen og algebildet over et større område etter at vår oppblomstringen vanligvis er avsluttet langs vår kyst. I april var temperaturene i overflatelaget sydover langs den danske vestkysten ganske normale, omkring 6 °C, og forholdene var ganske homogene i hele vannsøylen. En normal temperatur i 2003 står i motsetning til april 2002, da temperaturen var 1,5-2 °C høyere enn vanlig. Bare en gang tidligere siden denne undersøkelsen startet i 1988 er det blitt målt så høye temperaturer, og det var i 1990. I 2003 var det mindre jyllandske kystvannmasser til stede nordover langs

Figur 3.8

Månedsmidler for de øvre 30 m utenfor Torungen fyr ved Arendal (St. 201) og de øvre 25 m utenfor Hirtshals (St. 257) i 2003 for fosfat, nitrat+nitritt, silikat, forholdet mellom nitrat+nitritt og fosfat (N/P) og klorofyll *a* (stiplede linjer). De heltrukne linjene viser langtidsmidlet for 1980-1995 på St. 201, unntatt for silikat, hvor langtidsmidlet er for 1988-1995, og på St. 257 hvor langtidsmidlet er for 1988-1995 for alle størrelsene.

Monthly means in the upper 30 m outside Torungen lighthouse near Arendal (St. 201) and the upper 25 m at St. 257 outside Hirtshals in 2003 for phosphate, nitrate+nitrite, silicate, N:P ratio and chlorophyll *a* (dotted lines). The solid lines show the long term mean for the period 1980-1995 at St. 201 except for silicate where the mean is for the period 1988-1995, and at St. 257 where the long term mean is for the period 1988-1995 for all parameters.

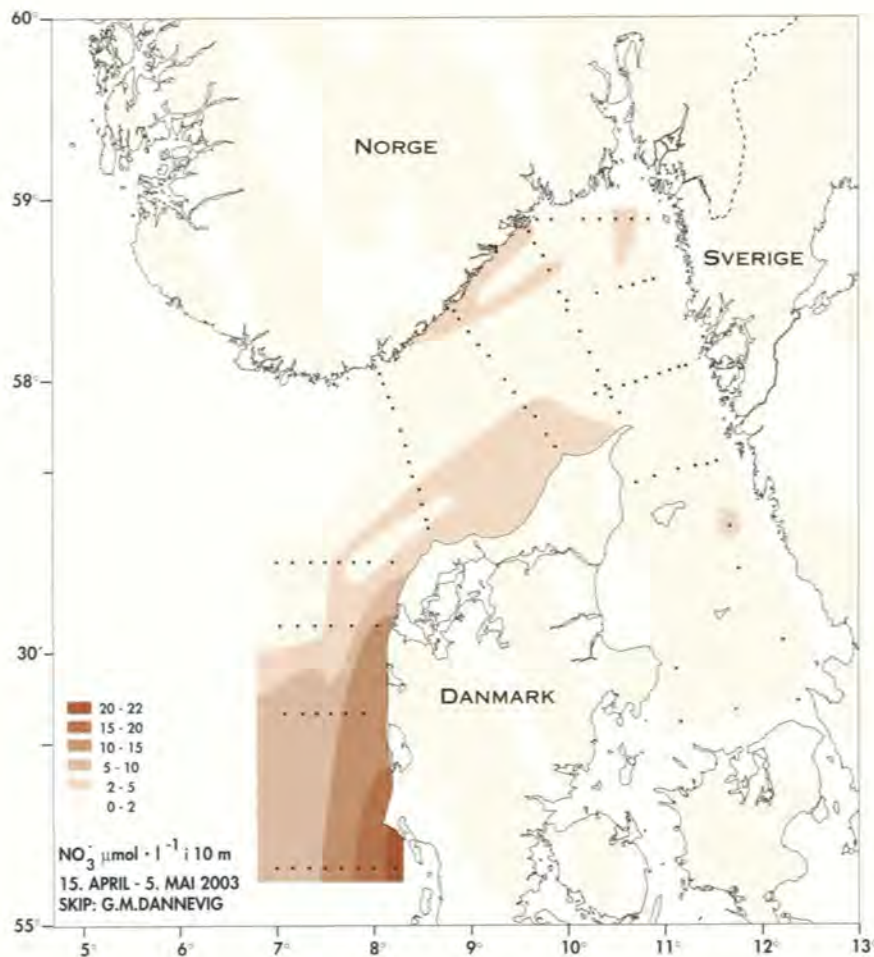


den danske vestkysten og den danske Skagerrakkysten enn i 2002, og dermed også mye lavere nitratkonsentrasjoner (Figur 3.9). Samtidig var det her også ubetydelige mengder av fosfat og silikat. Dette ga et betydelig lavere N:P-forhold i hele området enn de rekordhøye verdiene de siste to årene. Så lave N:P-verdier har ikke vært registrert i området siden 1997 og 1996. På dansk side i Skagerrak foregikk det en innstrømning av atlantiske vannmasser, som ble registrert helt opp i 10 meters dyp inn mot Hirtshals. På toktet i april var årroppblomstringen avsluttet, både langs den danske vestkysten og i Skagerrak hvor siktedypet var meget stort, helt ned til 18 m. Mulige skadelige alger ble dette året bare registrert i meget små mengder.

På den norske Skagerrakkysten fulgte næringssaltkonsentrasjonene langtidsnormalen eller viste en tendens til å ligge under denne. Det samme var også tilfelle på danskesiden (Figur 3.8) hvor konsentrasjonene også her fulgte langtidsmidlet i perioden 1980-95, eller viste en tendens til å ligge under denne. Det høye N:P-forholdet i mai-juni på danskesiden skyldtes en mindre innstrømning av jyllandske kystvannmasser helt inne ved danskekysten.

Planteplankton

På januar-toktet i Skagerrak mellom Arendal og Hirtshals ble det observert lave algekonsentrasjoner, noe som er det normale om vinteren. Allerede i slutten av februar var imidlertid kiselalgens våroppblomstring godt i gang på norsk side, og begynnende på dansk side. Vanlige kiselalger var *Chaetoceros spp.*, *Skeletonema costatum* og *Thalassiosira spp.* Under toktet 17. mars var kiselalgens våroppblomstring fortsatt pågående med de samme artene/slektene som dominerende, og nå med mye kiselalger også midt i Skagerrak. I 2003 var kiselalgens våroppblomstring mer synkron langs snittet enn tidligere, og ikke særlig forsinket på dansk side, slik som vi ofte har observert tidligere år. I april var våroppblomstringen avsluttet i Skagerrak, og det ble registrert lave klorofyllverdier og stort siktedyp på snittet mellom Arendal og Hirtshals. Langs vestkysten av Danmark dominerte små flagellater, med innslag av diatomeer på de innerste stasjonene langs kysten og på det sørligste snittet. Det ble observert potensielt skadelige alger på flere stasjoner langs vestkysten av Danmark, men i lave konsentrasjoner. I Kattegat var det lave tettheter av små flagellater, men med innslag av kiselalger på enkelte



Figur 3.9

Horisontal fordeling av nitrat i 10 m dyp i Nordsjøen og Skagerrak i april 2003.

Horizontal distribution of nitrate at 10 m depth in the North Sea and Skagerrak in April 2003.

stasjoner i nordøstlige deler av Kattegat. I mai var det igjen en del kiselalger ved kysten av Norge. På dansk side var det noe mer kiselalger som sammen med store dinoflagellater, pluss en uidentifisert flagellat, bidro til relativt stor biomasse på dansk side. Vanligst i håvtrekket var *Scrippsiella sp.* I juni var det også en del kiselalger langs snittet, men nå var det andre arter/slekter som dominerte, eks. *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia sp.* og *Proboscia alata*. Samtidig var kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* blitt tallrik, særlig midt i Skagerrak. Fra tidlig i juli og resten av 2003 var det relativt

lite alger i Skagerrak, og planteplanktonsamfunnet bestod av både kiselalger, dinoflagellater og diverse nakne flagellater. Det var ingen uvanlige forekomster av skadelige alger i Skagerrak i 2003.

I sum var algeåret 2003 i Skagerrak nokså normalt. De litt mer uvanlige trekkene var: 1) synkron våroppblomstring på norsk og dansk side, 2) en relativt stor oppblomstring av dinoflagellater og andre flagellater på dansk side i mai og 3) relativt lite alger i hele tversnittet av Skagerrak fra og med juli og ut året.

Kapittel 4

Økosystemene på
kysten og i fjordene

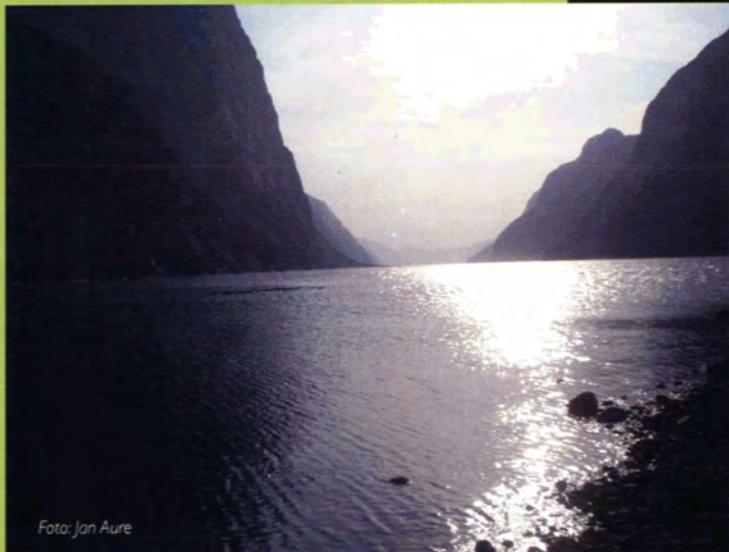


Foto: Jan Aure

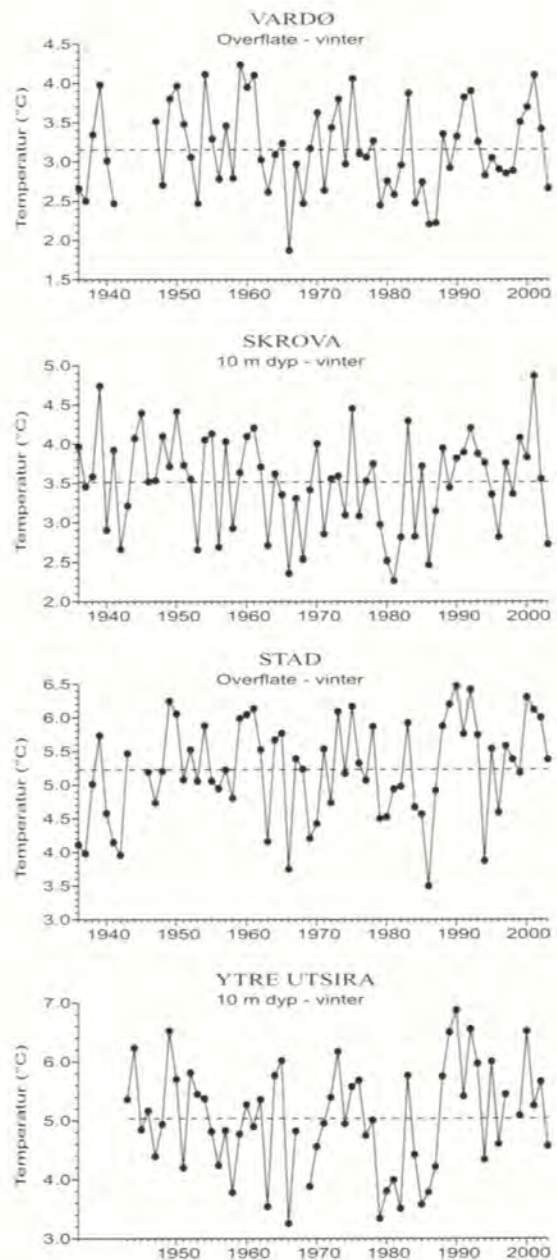
Klimatilstanden i kystfarvannene observeres regelmessig på faste hydrografiske stasjoner fra Lista til Ingøy to til fire ganger per måned (Figur 0.1). I tillegg kommer den innerste stasjonen på snittet Torungen–Hirtshals, som observeres to ganger per måned. Temperatur og salt-holdighet blir observert i standarddyp fra overflaten til bunnen. Målinger i overflatelaget blir tatt fra Hurtig-ruten ved en rekke lokaliteter mellom Bergen og Kirkenes (termograftjenesten).

Langtidsendringer

Langtidsendringer i havklimaet i øvre lag av kystvannet oppdages best ved å studere vintertemperaturene. De laveste vintertemperaturene i overflatelaget i perioden etter 1936 ble observert i 1966 og i 1986–87. Ved Skrova og Utsira var det også kaldt omkring 1980 (Figur 4.1). Det var varme vintrer omkring 1960, i første del av 1970-årene og i 1988–93/94. Temperaturforskjellen mellom kalde og varme vintrer i denne perioden var 1,5–3 °C. På midten av 1990-tallet var det noe kaldere enn normalt i øvre lag av kystvannet, mens det etter 1999 igjen har vært en temperaturøkning, særlig fra Stad og nordover. Midlere vintertemperaturer nord for Stad i 2001 var på nivå med de varme vintrene i begynnelsen av 1990-årene. I de siste årene har temperaturene i øvre lag av kystvannet imidlertid vært på vei nedover, og vinteren 2003 var det stort sett lavere temperaturer enn normalt fra Utsira til Vardø.

Temperaturforholdene i dypere lag av kystvannet, her representert ved observasjoner i 150 m dyp ved Skrova og ytre Utsira om sommeren, viser de storstilte variasjonene i tilførsler av atlantisk vann til kystområdene (Figur 4.2). Etter en kald periode omkring 1980, med reduserte tilførsler av atlantisk vann, økte temperaturen i 1990–91 til det høyeste nivået som er observert siden målingene startet i 1936. Dette gjenspeiler de milde vintrene i perioden fra 1988 til 1993, med betydelig økte tilførsler av varmt atlantisk vann til kystområdene. De laveste temperaturene i dypere lag av kyststrømmen ble målt i begynnelsen av 1940-årene og omkring 1970. Da var det om lag 2 °C kaldere enn i de varme årene 1990 og 1991. Etter en markert temperaturredgang i 1993/94 har temperaturen igjen økt, og i 2003 lå middeltemperaturen for juli–september ca. 0,5 °C over normalen, både ved ytre Utsira og ved Skrova.

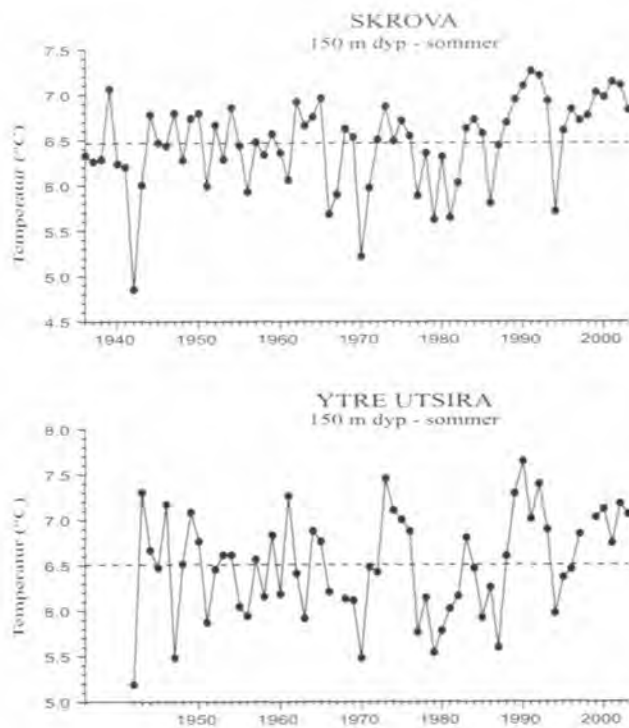
Figur 4.3 viser at det etter 1988 også har vært en rekke varme vintrer langs Skagerrakkysten, med uvanlig høye vintertemperaturer på 1 meters dyp i 1989 og 1990, hele 4°C



Figur 4.1

Overflatetemperaturene i januar–mars ved Vardø, Skrova, Stad og ytre Utsira i årene 1936–2003 (se Figur 0.1). Prikket linje angir middelverdien.

Surface temperature in January–March at Vardø, Skrova, Stad and outer Utsira through 1936–2003 (see Figure 0.1). The dotted line represents the mean value.



Figur 4.2
Temperaturen på 150 m dyp på sensommeren (juli-september) ved Skrova og ytre Utsira i årene 1936-2003. Prikket linje angir middelverdien.

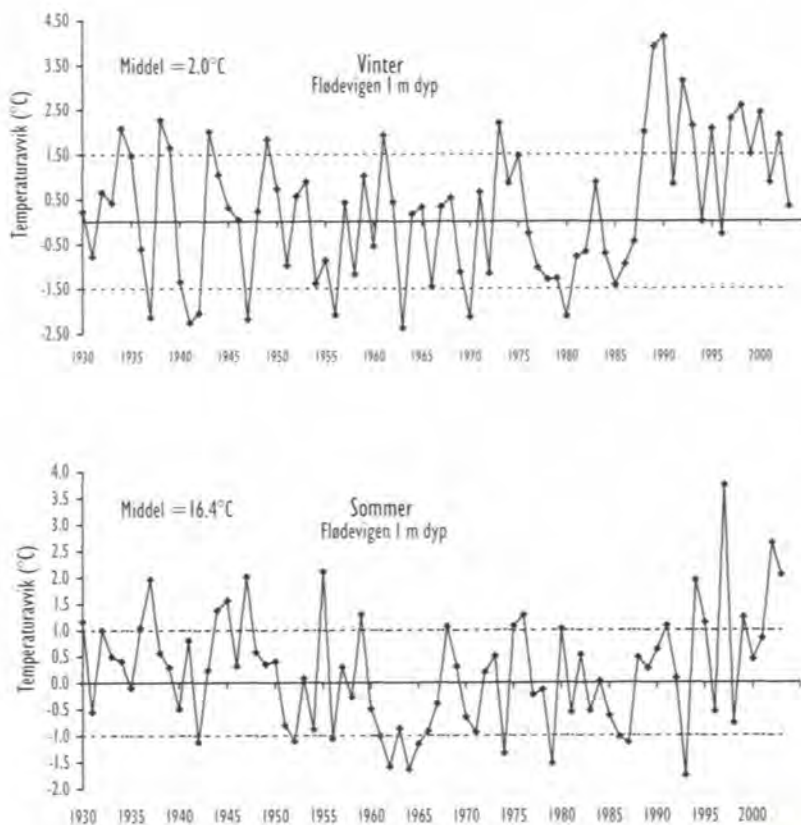
Temperature at 150 m depth late summer (July-September) at Skrova and outer Utsira through 1936-2003. The dotted line represents the mean value.

over normalen. Perioden etter 1988 har vært den varmeste siden målingene startet i 1924 og trolig i de siste 100 år. Etter tilnærmet normale vintre i 1994 og 1996, har det i årene fra 1997 til 2002 igjen vært forholdsvis varmt, med temperaturer fra 1,0 til 2,5 °C over det normale for årstiden. Vinteren 2003 var det tilnærmet normale temperaturforhold langs Skagerrakkysten med midlere temperatur i februar-mars bare ca. 0,5 °C over normalen. Vi må tilbake til 1985 sist det var en kald vinter i Skagerrak. Det har også vært en rekke varme somrer etter 1990, hvor somrene 1997 og 2002 skiller seg ut som de varmeste siden 1930. Sommeren 2003 var også varm, med en middeltemperatur på ca. 2 °C over normalen på 1 meters dyp i juli og august.

Temperaturforholdene i 2003

Resultatet av temperaturmålingene fra Hurtigruten i 2003, sammen med avviket fra et middelår, er vist i Figur 4.4. Her ser vi hvordan temperaturforholdene i overflatelaget langs kysten fra Sognesjøen til Varangerfjorden har variert gjennom årets 12 måneder. I kystområdet fra Nordland og nordover var det forholdsvis kaldt i januar og februar, mens det resten av vinteren og våren var noe varmere enn normalt for årstiden. Fra juli og fram til september var det forholdsvis høye sjøtemperaturer langs hele norskekysten. Høsten 2003 var det fortsatt varmere enn normalt, med unntak for kystområdene sør for Trøndelag i september/oktober.

Figur 4.5 viser temperaturvariasjonene i overflatelaget (10 m) og på 150 m dyp ved ytre Utsira og Skrova i 2003. Ved Skrova



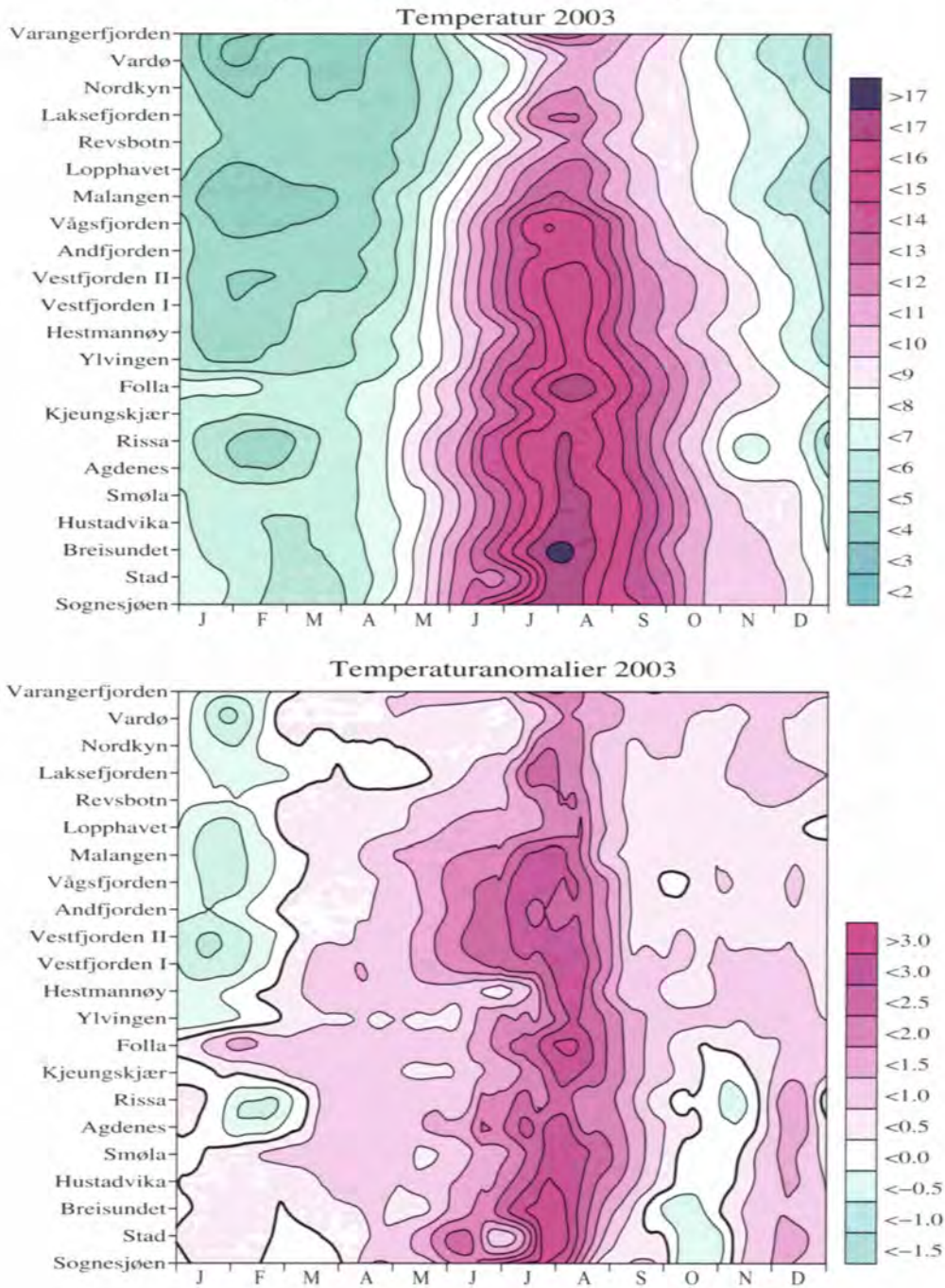
Figur 4.3

Avvik fra midlere vintertemperatur (februar-mars) og sommertemperatur (juli-august) i 1 m dyp i Flødevigen, Arendal, 1930-2003. Heltrukken linje angir middelverdien, og prikket linje angir +/- ett standardavvik.

Winter (February-March) and summer (July-August) temperature anomalies in the surface layer (1 m depth) of Flødevigen Bay, Arendal, 1930-2003. The solid line represents the mean value, and the dotted lines +/- one standard deviation.

HURTIGRUTEN

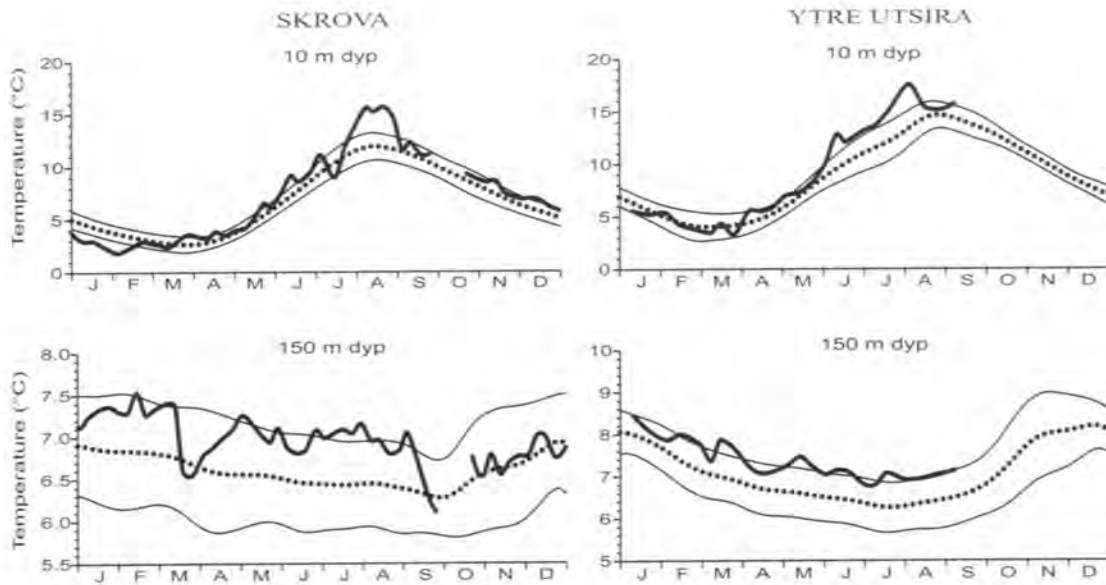
Månedsmidler fra termografstasjoner



Figur 4.4

Øverst: Temperaturen i overflatelaget langs kysten mellom Sognesjøen og Varangerfjorden i 2003, målt fra Hurtigruten. Nederst: Temperaturanomalier (avvik) i 2003 i forhold til langtidsnormalen.

Upper panel: Temperature of the surface layer along the coast between Sognesjøen and Varangerfjorden in 2003 based on observations from the coastal express steamer. Lower panel: Temperature anomalies in 2003.



Figur 4.5

Temperatur fra Skrova og ytre Utsira i 2003. Tykk linje er temperatur i 10 og 150 m dyp, målt ca. hver 10. dag. Prikket linje er midlere årsvariasjon, og tynn linje er ett standardavvik.

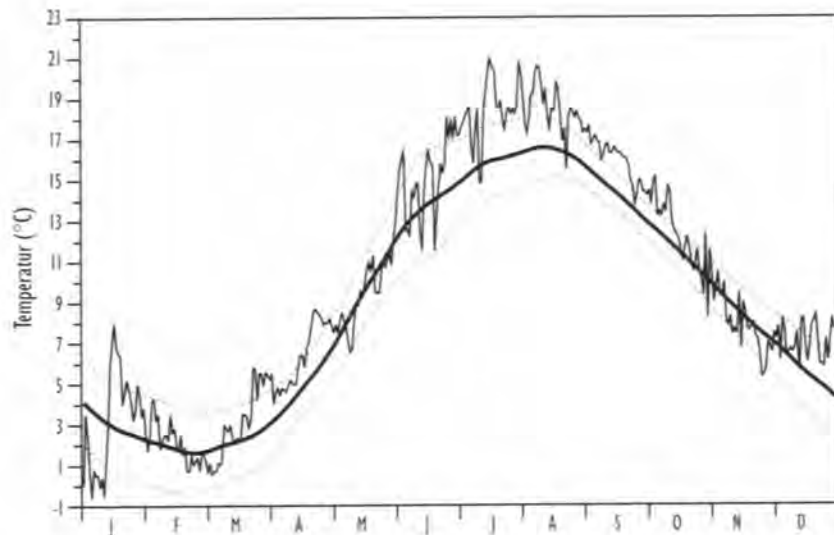
Temperature at Skrova and outer Utsira in 2003. Thick solid line is temperature at 10 and 150 m depth, measured about every 10th day. Dotted lines represent mean annual variation. Thin lines represent one standard deviation.

var det forholdsvis kaldt i overflatelaget i januar og februar. Fra april til desember lå temperaturene stort sett over det normale for årstiden, med en ekstra varm periode fra siste del av juli til begynnelsen av september. Ved Utsira varierte temperaturene omkring det normale fra januar til mai. Fra juni til september var det forholdsvis varmt, med temperaturer ca. 5 °C høyere enn normalen i begynnelsen av august.

I dypere lag av kystvannet (150 m) var det også i 2003 forholdsvis varmt langs hele kysten fra Rogaland til Finnmark.

med unntak av en periode på høsten hvor temperaturene ved Skrova falt til det normale for årstiden.

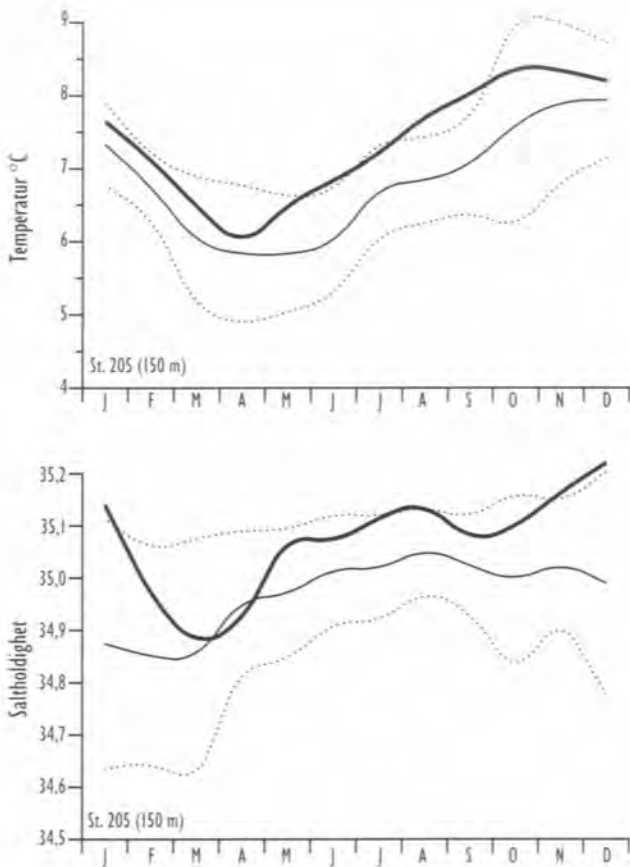
Ved Hav forskningsinstituttet Flødevigen (ved Arendal) har det vært utført daglige målinger av temperaturene i overflatelaget siden 1924. Selv om de årlige variasjonene og avvikene i temperatur er større i overflatelaget ved Flødevigen enn i åpne kystområder utenfor, er variasjonene representative også for de øvre vannlagene i Skagerrak. I 2003 var det fra midten av januar og fram til juli tilnærmet normale temperaturer (Figur



Figur 4.6

Daglige temperaturer på 1 m dyp i 2003 i Flødevigen, Arendal. Den tykke linjen viser glattet middeltemperatur og stiplede linjer standardavviket, begge for 30-årsperioden 1961–1990 samme sted.

Daily temperature at 1 m depth in 2003 in Flødevigen Bay, Arendal. The thick line shows the smoothed mean temperature and the dotted lines show the standard deviation, both for the period 1961–1990.



4.6). Laveste observerte vintertemperatur var ca. 0 °C i starten av januar. Fra juli og fram til midten av oktober var det varmt for årstiden langs Skagerrakkysten. Høyeste sjøtemperaturer var på ca. 21 °C (ca. 5 °C over normalen) og ble observert i juli og august 2003. Resten av året var det tilnærmet normale temperaturforhold.

Vannmassene i dypere lag langs Skagerrakkysten (150 m) var i 2003 preget av forholdsvis store tilførsler av varmt atlantisk vann (saltholdighet høyere enn 35), med unntak av en periode i februar/mars hvor nedstrømning av kystvann førte til lavere saltholdigheter og temperaturer (Figur 4.7). Den forholdsvis høye saltholdigheten og tettheten i dypere lag av kystvannet medvirket til innstrømning av nytt vann til fjordbassengene i Skagerrak våren 2003 (se Figur 4.12).

Figur 4.7

Temperatur og saltholdighet i 150 m dyp ca. 10 km utenfor Torungen fyr ved Arendal i 2003, basert på målinger ca. en gang per måned (tykk heltrukken linje). Langtidsmiddel (tynn heltrukken linje) og standardavvik (stiplet linje) for perioden 1961–1990.

Temperature and salinity at 150 m depth 10 km off Torungen lighthouse near Arendal in 2003 based on monthly observations (thick solid line). Long term mean (thin solid line) and the standard deviation (dotted lines) for the period 1961–1990.

4.2

Plankton og næringsalter

Det utføres mange undersøkelser av miljøforhold i sjøen langs norskekysten. Havforskningsinstituttet står bare for en del av disse. I den foreliggende rapporten legges det hovedvekt på hva Havforskningsinstituttet gjør og har tilgjengelig av data, men informasjon fra samarbeidspartnere og andre er også trukket inn for å komplettere bildet av miljøforholdene i 2003. Løpende data om planktonalger, med vekt på de skadelige typene, produseres i et bredt samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, Norges Veterinærhøgskole, OCEANOR, NIVA, Fiskeridirektoratet og det tidligere Statens næringsmiddeltilsyn (SNT) med underliggende enheter. Den landsdekkende rutineovervåkningen i regi av SNT foregikk i 2003 ukentlig fra slutten av mars til ut i oktober på 26 stasjoner fra Østfold til Finnmark. I ukentlige nyhetsbrev på Internett (<http://algeinfo.imr.no/>), kalt "algeinfo", er det informert om den aktuelle algesituasjonen langs hele kysten, bortsett fra om vinteren. I 2003 ble det

utgitt 41 "algeinfoer". I det følgende er denne informasjonen summert på årsbasis.

Alger på kyststrekningen Østfold–Vest-Agder

På denne delen av kysten utfører Havforskningsinstituttet en utstrakt overvåking. I Flødevigen er det særlig hyppig prøvetaking. Her tas algeprøver tre ganger per uke, og etter vår erfaring gjenspeiler prøvene fra Flødevigen i store trekk situasjonen langs hele Sørlandet (Telemark–Vest-Agder). Ved Torungen fyr, like utenfor Arendal, tas hydrografiske prøver og næringsalter ca. hver 14. dag med støtte fra Statens forurensningstilsyn.

Utenfor Torungen ble det gjennom hele 2003 målt nærings-saltkonsentrasjoner som fulgte eller lå til dels under middelverdiene for perioden 1980–1995. Gjennom vinter- og vår

perioden lå alle tre næringssaltene, fosfat, nitrat og silikat, til dels betydelig under middelverdiene. Det var bare i desember at silikatkonsentrasjonene lå over gjennomsnittet på grunn av avrenning fra land på dette tidspunktet.

Algemengden, målt som klorofyll, var normal gjennom første halvår i Flødevigen, mens det gjennom resten av året i lange perioder var mindre klorofyll enn normalt (Figur 4.8).

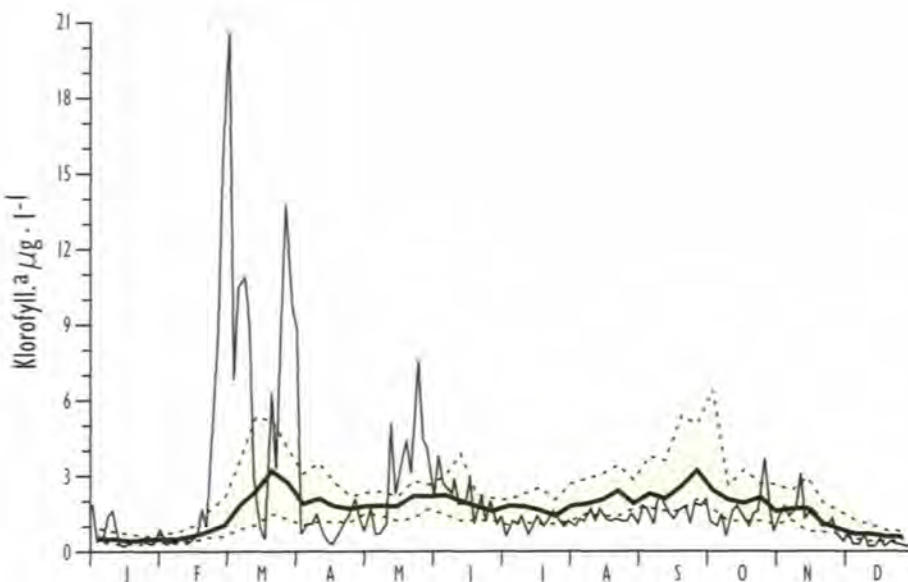
I 2003 var det en relativt kraftig våroppblomstring av kiselalger i mars–april. *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum* og *Thalassiosira nordenskioeldii* dominerte. Etter våroppblomstringen var det som vanlig lite alger på denne kyststrekningen til ut i mai. Mot slutten av mai og gjennom juni ble det igjen observert mer alger, og en blanding av kiselalger og flagellater dominerte. Vårflommen fra de store elvene gir gode vekstbetingelser for kiselalger langs kysten. Kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* ble vanlig i juni, og bidro til en turkis sjøfarge, men forekomstene var heller litt mindre enn normalt. Gjennom juli og august var algeforekomstene små, noe som ikke er uvanlig om sommeren, men de holdt seg gjennomgående små også resten av året.

I fjord- og skjærgårdsområder, som står i begrenset sirkulasjonsmessig kontakt med kysten utenfor, kan lokale hydrofysiske og kjemiske forhold gi grobunn for lokale algeoppblomstringer. På kysten av Skagerrak er slike områder Indre Oslofjord, Hvaler-området og deler av Telemarkskysten. Algeovervåking i Indre Oslofjord i 2003 påviste ingen spesielt høye algekonsentrasjoner, men fra litt utpå høsten var alger fra kiselalgeslekten *Pseudo-nitzschia* relativt tallrike over noen uker. Den preget også andre indre farvann langs kysten av Skagerrak gjennom høsten. For det indre Hvaler-området har overvåkingen over år vist at der

ofte er relativt store algeforekomster og et stort mangfold av planktonalger. Det var tilfellet også i 2003. En årvisst art i dette området, dinoflagellaten *Prorocentrum minimum*, var vanlig på sensommeren 2003, men kom ikke opp i særlig høye konsentrasjoner. Ulike kiselalger og store dinoflagellater bidro mest til algeforekomstene i dette området i 2003. Helt lokalt i Tvedestrand fikk vi melding om grønnfarget sjø midt i september. Vi fant mye av den nakne dinoflagellaten *Gymnodinium chlorophorum*, som trolig var årsaken til fargen på sjøen. Den har også tidligere forårsaket flekkvis grønnlig sjø langs kysten av Skagerrak om høsten.

Alger på kyststrekningen Rogaland–Sogn og Fjordane

Også på kyststrekningen Rogaland–Stad kom våroppblomstringen av kiselalger godt i gang i mars, og den varte til langt ut i april flere steder. Vanlige kiselalgeslekter var *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Thalassiosira* og *Thalassionema*. I tillegg var også algen *Phaeocystis* vanlig langs Vestlandet. Etter den første våroppblomstringen i mars–april ble det stedvis registrert mye alger på flere av overvåkningsstasjonene, og det var ofte nokså store forskjeller mellom stasjoner. Det er ikke uvanlig langs denne kyststrekningen med såpass komplisert topografi, og hvor overvåkningsstasjoner ligger både inne i fjorder og ute i skjærgården. Gjennom hele perioden mai–august var innslaget av kiselalger stadig høyt på en eller flere stasjoner mellom Flekkefjord og Stad. Kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* ble vanlig på denne kyststrekningen i mai, og forekom deretter gjennom hele perioden helt frem til slutten av august, uten at den nådde opp i spesielt høye konsentrasjoner. Gjennom høsten ble det stadig påvist mye kiselalger på flere overvåkningslokaliteter langs denne kyststrekningen, ikke minst innover i de mer beskyttede områdene. Blant de vanligste var *Pseudo-nitzschia* spp., men også andre slekter var vanlige, i tillegg til ulike dinoflagellater



Figur 4.8

Klorofyll a i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukket linje er målinger i 2003. Tykk heltrukket linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989–2002. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Chlorophyll a* in Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin line is data from 2003. The thick line is medians for every week based on all data for the period 1989–2002. Dotted lines are first and third quartiles.

og nakne flagellater. Selv da overvåkningsprogrammet ble avsluttet i slutten av oktober, var det mye alger flere steder langs strekningen Rogaland–Sogn og Fjordane.

Alger på kyststrekningen

Møre og Romsdal–Nord-Trøndelag

I den sørlige del av strekningen Stad–Vikna og i Trondheimsfjorden var også våroppblomstringen av kiselalger godt i gang midt i mars. De vanligste kiselalgeslektene var *Chaetoceros* og *Skeletonema*, og innslaget av *Phaeocystis* var større enn lenger sør. I de ytre og nordlige deler av området kom våroppblomstringen litt senere. Etter våroppblomstringen var det stedvis mye kiselalger på flere stasjoner på denne kyststrekningen, særlig innover i de større fjordene. I Åfjorden i Nord-Trøndelag forekom en uvanlig oppblomstring av flagellaten *Eutreptiella cf. gymnastica* første uke av mai, da nærmere 23 mill. celler l^{-1} ble påvist. Kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* ble vanlig på denne kyststrekningen først ut i juni, og forekom deretter gjennom hele perioden helt frem til slutten av august, uten at den nådde opp i spesielt høye konsentrasjoner. Gjennom høsten (september–oktober) var det varierende algemengder langs denne kyststrekningen, men gjennomgående litt mindre mengder enn lenger sør. Vanligste kiselalge, som flere steder bidro til store algeforekomster, var *Pseudo-nitzschia*. I tillegg var det mye store dinoflagellater, særlig *Ceratium furca*, innover i Trondheimsfjorden i oktober.

Alger på kyststrekningen Nordland–Finnmark

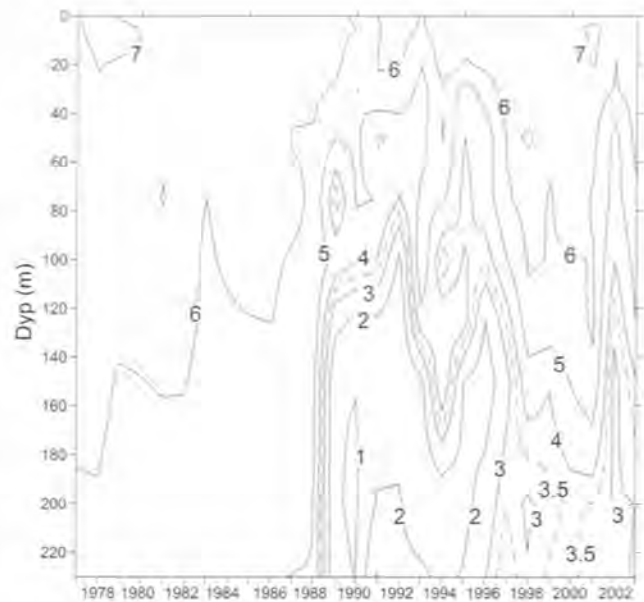
På strekningen Vikna–Finnmark kom våroppblomstringen som vanlig markert senere enn lenger sør, og først i løpet av april grodde det opp større algekonsentrasjoner. Vanlige kiselalgeslekter var også her *Chaetoceros*, *Skeletonema* og *Thalassiosira*, og innslaget av *Phaeocystis* var større enn lenger sør. Etter våroppblomstringen var det gjennomgående noe mindre algemengder tilstede i dette området i forhold til lenger sør. Kalkflagellaten *Emiliania huxleyi* ble vanlig sør på denne kyststrekningen i juni og spredte seg etter hvert nordover helt til Finnmark. *Emiliania huxleyi* forekom uvanlig tallrikt i dette området i 2003, og forsvant først ca. midt i august. Gjennom september og oktober var det markert færre registreringer av store algemengder på denne kyststrekningen enn lenger sør, men likevel var det relativt mye alger i perioder, ikke minst i Finnmark og til dels i Troms. De viktigste artene/slektene var kiselalgen *Proboscia alata*, og dinoflagellatslektene *Ceratium* spp. og *Dinophysis* spp.

Fjorder

Havforskningsinstituttet overvåker miljøforholdene i fjorder langs hele norskekysten fra Oslofjorden til Kirkenes, bl.a. i forbindelse med brisling- og sildeundersøkelser og rekrutteringsundersøkelser langs Skagerrakkysten om høsten. I det følgende beskrives oksygenforholdene i Ofotfjorden, i utvalgte fjorder på Skagerrakkysten og i Lysefjorden, Rogaland. For å opprettholde viktige tidsserier utførte Havforskningsinstituttet også i 2003 miljøundersøkelser i en del utvalgte forurensede fjordområder i indre Skagerrak.

Ofotfjorden

Etter at sommerbeitesesongen er over i Norskehavet, vandrer



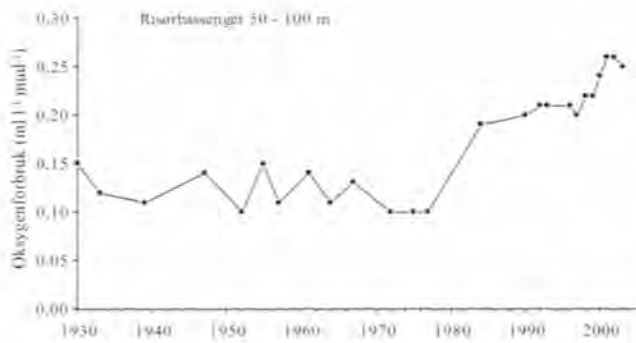
Figur 4.9

Vertikalfordeling av oksygen ($ml\ l^{-1}$) i Ofotfjorden utenfor Narvik i perioden 1977–2003.

Vertical distribution of oxygen ($ml\ l^{-1}$) in the Ofotfjord outside Narvik in the period 1977–2003.

den norske vårgytende silda til overvintringsområdene hvor den danner tette konsentrasjoner. I disse områdene blir silda inntil gytevandringen begynner igjen tidlig på vinteren. I de siste 40 år er det identifisert flere overvintringsområder. I 1950-årene, da bestanden var stor (omkring 10 millioner tonn), overvintret silda i et område øst for Island. I 1963–1966 var bestanden redusert til 3–4 millioner tonn, og mesteparten av silda overvintret da utenfor norskekysten i de nordlige deler av Norskehavet. Etter at bestanden brøt sammen på slutten av 60-tallet, overvintret restene av bestanden i flere fjorder langs norskekysten. Under gjenoppbygging av bestanden i de siste år, hvor 1983-årsklassen har vært den dominerende, har silda begynt å overvintre i Ofotfjorden og til dels i Tysfjorden. Overvintringen i disse fjordene begynte i 1987. Den store konsentrasjonen av sild i et begrenset fjordområde har ført til betydelig reduksjon av oksygeninnholdet i disse fjordområdene om høsten og vinteren.

Havforskningsinstituttet har fulgt miljøutviklingen med en serie undersøkelser gjennomført hvert år i november måned. Observasjonene på en stasjon utenfor Narvik viser en kraftig nedgang i oksygenkonsentrasjonene under ca. 100 meters dyp etter 1988, med konsentrasjoner ned til like under $1,0\ ml\ l^{-1}$ i 1990 (Figur 4.9). De lave oksygenkonsentrasjonene har vedvart de siste årene i de dypere deler av fjorden. Som regel inntreffer de laveste oksygenverdiene i januar måned, når silda begynner sin vandring ut av fjordsystemet. I de siste to-tre årene har imidlertid en større andel av silda overvintret også i deler av Tysfjorden, og en lignende reduksjon av oksygeninnholdet er blitt observert der. I november 1996 og særlig i 1997, var det for første gang etter 1990 en markert forbedring i de dypeste vannlag med oksygenkonsentrasjoner



Figur 4.10

Oksygenforbruk (ml l^{-1} per md.) i 50-100 m dyp i Risør-bassenget fra 1930 til 2003.

Oxygen consumption at 50-100 m depth in the Risør basin from 1930 to 2003.

omkring $3,0 \text{ ml l}^{-1}$. Denne trenden fortsatte også i 1998–2002 og da særlig i de øverste 180 meter. I november 2003 var forholdene noenlunde de samme som i 2002, til tross for at mesteparten av sildebekstanden overvintret i områdene utenfor Vesterålen og nordpå. Det var hovedsakelig eldre sild (1991- og 1992-årsklassene) som overvintret i Ofotfjord/Tysfjord-området.

Fjorder på Skagerrakkysten

Risør-bassenget er benyttet som referansebasseng for overvåking av den organiske belastningen fra kystvannet på terskelbasseng i indre Skagerrak. Figur 4.10 viser at oksygenforbruket og den organiske belastningen i Risør-bassenget (og andre fjorder på Sørlandskysten) har økt betydelig etter ca. 1980. Det midlere oksygenforbruket i Risør-bassenget i 1990–2003 lå ca. 90% høyere enn i perioden 1930–1975. Figur 4.10 viser at det også har vært en økning av oksygenforbruket etter år 2000. Det økte oksygenforbruket har ført til forverrede

oksygenforhold under terskeldyp i en rekke fjord- og kystbasseng langs Skagerrakkysten.

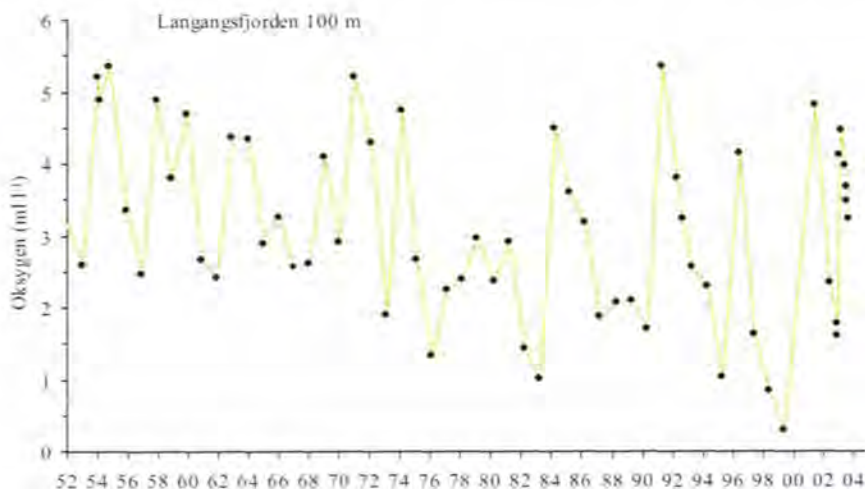
Figur 4.11 viser at oksygenverdiene i f.eks. bassengvannet i Langangsfjorden i Langesundsområdet ble betydelig lavere fra midten av 1970-årene, og at oksygenminimum høsten 1999 på ca. $0,3 \text{ ml l}^{-1}$ var det laveste som var observert siden målingene startet i 1950-årene.

De stadig lavere oksygenverdiene i fjordbassengene langs Skagerrakkysten er forårsaket av økte tilførsler av menneskeskapte næringssalter og organisk materiale fra sørlige Nordsjøen, Kattegat og indre Skagerrak. I enkelte fjorder har også lokale tilførsler betydning. En tendens til lengre stagnasjonsperioder for fjordbassengene, trolig forårsaket av klimatiske endringer, kan også ha bidratt til å forverre oksygenforholdene i fjordbassengene.

I april 2003 var det innstrømning av nytt vann til bassengvannet i Nordfjorden ved Risør og i Håøyfjorden og Frierfjorden i Langesundsområdet (Figur 4.12). Oksygenverdiene avtok deretter gradvis gjennom året, og i desember 2003 var oksygenverdiene i Nordfjorden og Håøyfjorden sunket til ca. 3 ml l^{-1} og i Frierfjorden til ca. $1,5 \text{ ml l}^{-1}$. Det er antatt at oksygenverdier under $2,0 \text{ ml l}^{-1}$ gir sterkt reduserte muligheter for dyreliv i fjordbassengene.

Lysefjorden i Rogaland

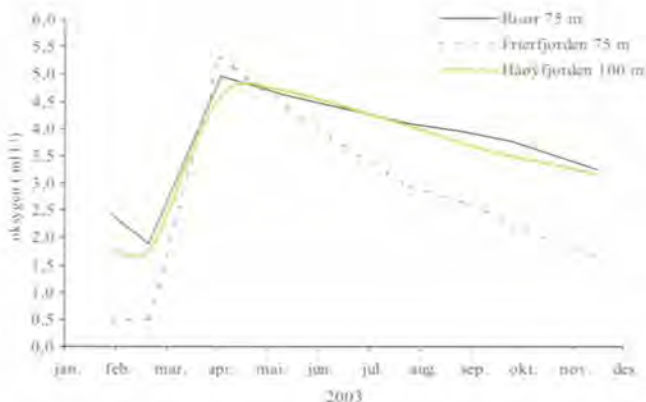
I Lysefjorden er oksygenforholdene om høsten blitt observert siden 1975. Lysefjorden er en forholdsvis innestengt fjord med terskeldyp på ca. 15 m og største bunn-dyp på ca. 450 m. Observasjonene i 300 m dyp viser at oksygenforbruket ikke er endret nevneverdig siden 1975, i motsetning til i fjordene langs Skagerrakkysten (Figur 4.13). Spesielle topografiske forhold med lite terskeldyp og stort bassengvolum fører til at det går lang tid mellom hver innstrømning av oksygenrikt vann til de dypeste delene av fjorden. Tidsrommet mellom hver innstrømning til de dypeste delene av Lysefjorden var ca. sju år for 1993, og oksygenminimum i 300 m dyp var ca. $2,5 \text{ ml l}^{-1}$. I 2003 var oksygenverdien i 300 m dyp redusert til ca. $1,6 \text{ ml l}^{-1}$. De ekstra lave oksygenverdiene i 2003 var ikke forårsaket



Figur 4.11

Oksygenverdiene (ml l^{-1}) i 100 m dyp i Langangsfjorden i Langesunds-området i perioden 1952-2003.

Oxygen concentrations at 100 m depth in Langangsfjorden, Telemark, from 1952 to 2003.



Figur 4.12
Oksygenverdiene (ml l^{-1}) i bassengvannet i Nordfjorden (Risør), Håøyfjorden og Frierfjorden i 2003.
Oxygen concentrations in the basin water of Nordfjorden (Risør), Håøyfjorden and Frierfjorden in 2003.



Figur 4.13
Oksygenverdiene (ml l^{-1}) i 300 m dyp i Lysefjorden om høsten i perioden 1975–2003.
Oxygen concentrations at 300 m depth in Lysefjorden, Rogaland, from 1975–2003.

av økt oksygenforbruk, men av at stagnasjonsperioden i fjordbassenget var økt fra tidligere sju år til foreløpig ni år. Den økte stagnasjonstiden i fjordbassenget kan som nevnt foran være forårsaket av klimatiske endringer, dvs. mindre nordavind langs vestlandskysten på senvinteren og våren. Oksygenforholdene er allerede kritiske for invertebrater og fisk i de dypeste delene av Lysefjorden, og vi får håpe på ny innstrømning av friskt vann i 2004.

Maneter på Skagerrakkysten

Siden 1992 har vi gjennomført daglige registreringer av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen (Figur 4.14). Det gjøres ved at observatøren teller hvor mange maneter som kan ses i sjøen under en flate på ca. 10×10 m utenfor kaien. I tillegg noteres tilnærmet størrelse på manetene. Metoden har den åpenbare svakhet at

muligheten til å observere nedover i vannet påvirkes av forhold som lys, bølger og planktonforekomst.

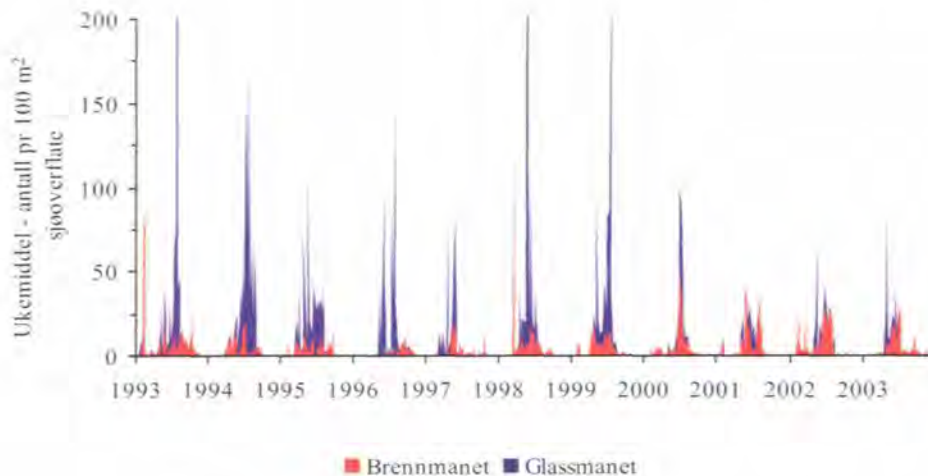
På Skagerrakkysten opptrer stormaneter nær overflaten så å si bare i sommerhalvåret. Manetene driver med vind og strøm, og derfor kan forekomstene variere mye fra dag til dag. I enkelte år har vi registrert små brennmaneter en kort periode om vinteren. Også godt ut på høsten kan små brennmaneter forekomme i korte perioder. Ved fralandsvind kommer gjerne manetene til overflaten. Når det senere blir pålandsvind kan maneter samles i store grupper i bukter og fjorder.

Om sommeren kommer glassmanetene gjerne til syne først og kan opptre i store tettheter. Store forekomster av brennmaneter viser seg litt senere, men holder seg i overflatevannet lenger utover ettersommeren og høsten. Året 2000 var litt uvanlig, idet brennmanetene viste seg før glassmanetene. Totalt sett ble det observert langt færre glassmaneter enn de foregående år. Varigheten av den "sesongen" glassmanetene ble observert var også forholdsvis kort. Temperaturen i overflatelagene om vinteren og sommeren var gjennomgående høyere enn normalt, og dette kan ha innvirket på manetforekomstene.

I 2001 var totalt antall observerte glassmaneter det laveste siden vi begynte observasjonene i 1992. Det var noen "topper" i mai og begynnelsen av juni, men denne arten forsvant etter dette. Totalt antall brennmaneter var i 2001 i størrelsesorden det samme som de foregående år. Fordelingen i tid bestod av markerte forekomster i en periode i slutten av mai og en periode i begynnelsen av august. I 2001 (august) ble det også observert unormalt mange "blåmaneter" (*Cyanea lamarckii*).

Også i 2002 ble det observert forholdsvis få glassmaneter. De fordelte seg på de ulike måneder som i 2001, med flest i mai og avtagende gjennom sommeren. Antall observerte individer av brennmanet har vært noenlunde konstant siden 2000. I 2002 var forekomst av brennmaneter i Flødevigen sterkt konsentrert til juni og juli, og unormalt få ble observert i august. Dette kan skyldes at temperaturen i overflatevannet fra midt i juni og ut juli var forholdsvis lav og tilsvarende høy i august og september. Også i 2002 ble det observert en del "blåmaneter".

I 2003 dukket opp betydelige konsentrasjoner av små glassmaneter i april, på samme vis som i 1997, 1998 og 1999. Glassmanetene holdt seg i Flødevigen 3–4 dager, men dukket så ikke opp igjen før i juni. Resten av sommeren var det nesten ikke glassmaneter å se. Brennmanetene kom i mai og holdt seg med jevne konsentrasjoner ut juli. Deretter var det få brennmaneter i Flødevigen, bortsett fra et par observasjoner i august og september. De siste år har det vært sett færre glassmaneter enn i perioden 1993–1999. Antall brennmaneter var i 2003 noe lavere enn i 2002, men det er ikke noen tilsynelatende langsiktig nedgang som for glassmaneter. Blåmaneter ble ikke observert i 2003. Observasjonene er underlagt en rekke usikkerhetsfaktorer, og en nærmere analyse av observasjonene i forhold til vind, temperatur og observasjonsforhold skal utføres for å kunne beskrive sammenheng med forekomst av stormaneter og miljø.



Figur 4.14

Forekomst (ukemiddel) av brennmanet (*Cyanea capillata*) og glassmanet (*Aurelia aurita*) i Flødevigen 1993–2003.

Occurrence (weekly mean) of *Cyanea capillata* and *Aurelia aurita* in the Flødevigen Bay 1993–2003.

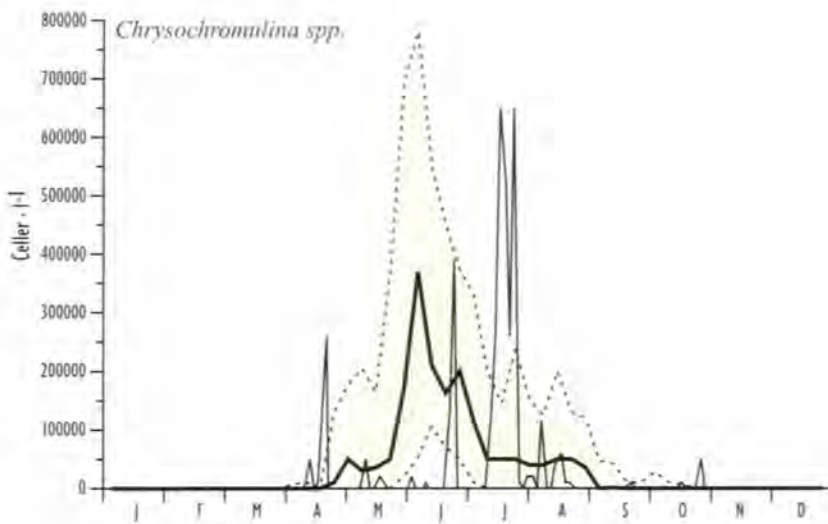
4.3

Skadelige alger

Havforskningsinstituttet har drevet regelmessig algeovervåking siden 1981 for å kunne varsle fiskeoppdrettere og skjelldyrkere langs kysten om risiko for skadelige algeforekomster for problemer oppstår. Programmet har blitt mer omfattende over tid, og inkluderer i dag et samarbeid mellom institusjonene Statens Næringsmiddeltilsyn (fra 2004 Mattilsynet), Fiskeridirektoratet, Norges veterinærhøgskole, Norsk institutt for vannforskning, OCEANOR og Havforskningsinstituttet. Havforskningsinstituttet startet med å overvåke *Karenia mikimotoi*, (tidligere navn: *Gyrodinium aureolum*), som kan gi brun sjø og fiskedød, i forbindelse med en stor oppblomstring av denne algen med påfølgende fiskedød i 1981. Som følge av mange tilfeller av forgiftning etter konsum av skjell med diarégifter høsten 1984 på Skagerrakkysten, ble slekten *Dinophysis* inkludert i overvåkningsprogrammet fra 1985. Den er hovedårsaken til problemene med diaréfremkallende gift i skjell. Etter en stor og dramatisk oppblomstring i mai 1988 av *Chrysochromulina polylepis*, som forårsaket dødelighet blant en lang rekke organismer langs kysten, kom også *Chrysochromulina*-slekten med i overvåkningsprogrammet. Fra midten av 1990-tallet har vi også registrert forekomsten av algeslekten *Alexandrium*. *Alexandrium*-celler kan inneholde farlige, lammende (paralyserende) gifter, og deres forekomst brukes til å vurdere risiko for giftopphopning i skjell. De siste årene har nye,

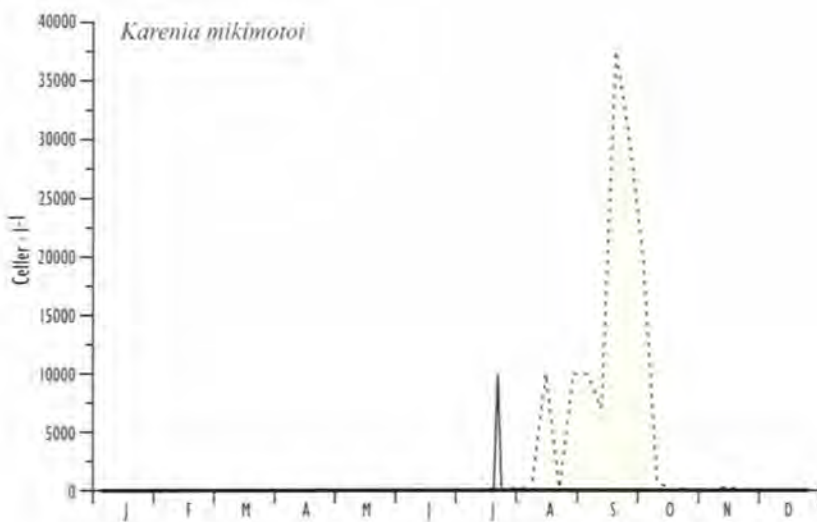
potensielle skadealger kommet på listen av alger som vi ser spesielt etter. Det inkluderer representanter for algeklassen Raphidophyceae (slektene *Chattonella* og *Heterosigma*), som kan gi fiskedød, kiselalge-slekten *Pseudo-nitzschia* som kan være kilde til ASP-toksiner (Amnesic Shellfish Poisoning eller skjellforgiftning med hukommelsestap), og dinoflagellatene *Protoceratium reticulatum* og *Lingulodinium polyedrum* som kan være kilder for yessotoksiner (YTX) i skjell. I en temaartikkel (kapittel 7.7) i dette nummeret av Havets miljø oppsummerer vi ny kunnskap vi har fått om skadelige alger de siste årene.

Foruten å være grunnlag for en løpende informasjon og varslings om algesituasjonen, har algeovervåkingen over tid også generert viktige tidsserier over algeforekomster. Slike tidsserier er nyttige og interessante både for forvaltnings- og forskningsformål. Man akkumulerer eksempelvis kunnskap som kan belyse om oppblomstringer av skadelige alger skjer hyppigere enn tidligere. Videre kan man vinne innsikt i om slike oppblomstringer kan skyldes påvirkninger av menneskets aktiviteter, eller om de er en del av naturens luner. Erfaringsmessig har de fleste større, skadelige algeoppblomstringer langs kysten av Norge startet i Skagerrak, for eventuelt å bli spredd med kyststrømmen rundt Lindesnes og nordover. En overvåking i Skagerrak, hvor kyststrømmen



Figur 4.15

Chrysochromulina spp. i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2003. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989–2002. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Chrysochromulina* spp. in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin line is data from 2003. The bold line is medians for every week based on all data for the period 1989–2002. Dotted lines are first and third quartiles.



Figur 4.16

Karenia mikimotoi i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukken linje er målinger i 2003. Tykk heltrukken linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989–2002. I 2003 er mengden observert så liten at kurven ikke har utslag i grafen. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde). *Karenia mikimotoi* in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin line is data from 2003. The bold line is medians for every week based on all data for the period 1989–2002. Dotted lines are first and third quartiles.

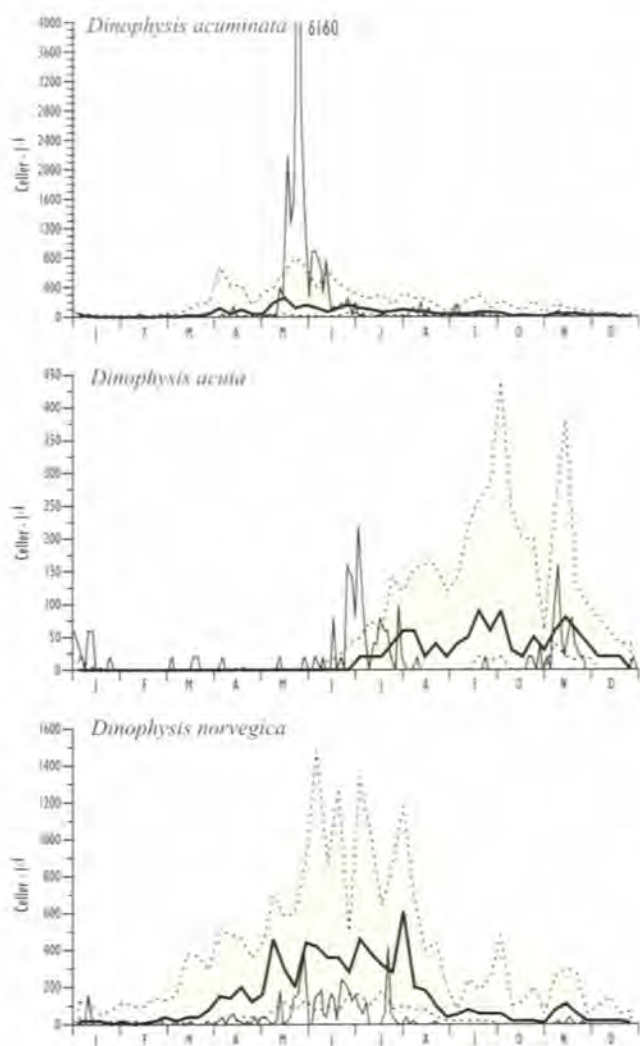
starter, har derfor gitt et grunnlag for også å si noe om mulig opptreden av disse algene på Sorvest- og Vestlandet.

Havforskningsinstituttets eget algeovervåkningsprogram bygget i 2003 på følgende prøvesett: 1) vannprøver i et snitt på tvers av Skagerrak ca. hver måned, snittet Torungen–Hirtshals, 2) vannprøver (0-3 m dyp) annenhver dag fra Flødevigen og 3) mer tilfeldige prøver fra andre prosjekter og fra publikum og næring. Den foreliggende oversikten over skadelige alger i 2003 bygger både på Havforskningsinstituttets egne data og på informasjon fra andre deltagere i overvåkingen.

KYSTSTREKNINGEN ØSTFOLD–VEST-AGDER

Alger som kan skade fisk og andre organismer

Forekomsten av algeslekten *Chrysochromulina*, som har ført til fiskedød på kysten av Skagerrak, var beskjedent i 2003. Den ses gjerne i månedene april–september, og er vanligvis mest tallrik i månedene mai–juli. I 2003 var den relativt tallrik bare en kort periode midt i juli (Figur 4.15), og ingen effekter av denne algeslekten ble registrert. En annen alge som har gitt brun sjø og fiskedød, *Karenia mikimotoi*, ble bare så vidt registrert i 2003 (Figur 4.16) og skapte følgelig heller ingen problemer. Representanter fra slektene *Chattonella* og *Heterosigma* i algeklassen Raphidophyceae førte til



Figur 4.17

Dinophysis acuminata, *D. acuta* og *D. norvegica* i Flødevigen, 0-3 m dyp. Tynn heltrukket linje er målinger i 2003. Tykk heltrukket linje er medianer (normaler) for hver uke basert på alle data i perioden 1989–2002. Stiplede linjer er første og tredje kvartiler (naturlig variasjonsbredde).

Dinophysis acuminata, *D. acuta* and *D. norvegica* in the Flødevigen Bay, 0-3 m depth. The thin line is data from 2003. The bold line is medians for every week based on all data for the period 1989–2002. Dotted lines are first and third quartiles.

betydelig fiskedød blant oppdrettsfisk på Skagerrakkysten i mars 2001. Gjennom 2003 ble de sett jevnlig, særlig i første halvår, men bare i mindre mengder.

Alger som gjør skjell giftige

Det er først og fremst representanter fra algeslekten *Dinophysis* som er kilde til diarégivende algegifter i skjell langs vår kyst. Arten *Dinophysis acuta* er mest potent. Opphopning av diarégivende algegifter i skjell er et årlig tilbakevendende problem langs kysten av Skagerrak, men omfanget varierer mye fra år til år. I 2003 var problemet relativt lite og oppstod først godt utpå høsten. Det skyldtes at *D. acuta* i store trekk

forekom mindre tallrik enn normalt (Figur 4.17). *Dinophysis acuminata* var tallrik en kort periode i mai-juni, mens *D. norvegica* forekom mindre enn normalt i hele 2003 (Figur 4.17).

Lammende gifter ble påvist i skjell fra slutten av mai til begynnelsen av juli i 2003 flere steder langs kysten av Skagerrak, selv om *Alexandrium* spp., som kan være kilde til de lammende giftene, knapt ble påvist. I andre land har bakterier i sjøen vist seg å kunne være kilde til lammende gifter i skjell, noe som derfor også kan være mulig hos oss og som bør undersøkes nærmere. Nivåene av yesso-gifter (YTX) var lave i 2003, mens nivåene av azaspiracider (AZA), som i 2002 for første gang ble overvåket med kjemiske metoder, overskred faregrensene noen steder langs kysten av Skagerrak i perioden september-oktober. Hva som er kildeorganismer til azaspiracider er fortsatt uklart. Heller ikke i 2003 ble det påvist noe ASP-gifter i skjell langs kysten fra Oslofjorden til Rogaland.

KYSTSTREKNINGEN ROGALAND–FINNMARK

Alger som kan skade fisk og andre organismer

De potensielt skadelige algeslektene *Chattonella* og *Chrysochromulina* ble flere ganger registrert på Vestlandet i 2003, men ikke i truende mengder, og *Prymnesium* var ikke særlig tallrik i Hyllsfjorden/Sandsfjorden i Rogaland. Lenger nord, i Troms og Finnmark, var det noen tilfeller av fiskedød i oppdrettsanlegg hvor alger var mistenkt som årsaken. Algeprøver samlet i tilknytning til disse episodene pekte mot arten *Chrysochromulina leadbeateri* som mulig medvirkende. Denne arten forårsaket omfattende fiskedød i anlegg i Vestfjord-området i Nordland i 1991. Dodeligheten av fisk i oppdrettsanlegg langs kysten i 2003 på grunn av alger var ikke omfattende.

Alger som gjør skjell giftige

Heller ikke på strekningen Flekkefjord til og med Trøndelag var alger som kan gjøre skjell giftige spesielt tallrike i 2003. På enkelte stasjoner var det likevel episoder med algegifter i skjell over faregrenser for konsum. Som i tidligere år var midtre og indre deler av Sognefjorden hardest rammet. På kysten av Møre og Romsdal og Trøndelag var det noen episoder med noe lammende gifter i skjell i perioden april-juli, men episodene var nokså kortvarige (1-4 uker), og nivåene av gift i skjell var relativt lave, selv om de oversteg faregrensen for konsum. Videre var det i Rogaland, som langs kysten av Skagerrak, lammende gift i skjellene i juni-juli, uten at noen kildeorganisme ble påvist. Det kan også nevnes at det ved Molde ble påvist ASP-gifter i blåskjell i konsentrasjoner over faregrensen for konsum ved en måling i slutten av mai. Dette er første betydelige påvisning av denne giften i blåskjell i Norge.

I de tre nordligste fylkene var det i 2003 gjennomgående noe mer giftige alger og derved problemer med giftoppbygning i skjell enn hva vi har sett tidligere. I juli-august ble det påvist relativt mye *Alexandrium*, og etter hvert lammende gifter over faregrensen i skjell, på noen lokaliteter i Nord-Norge.

Fra tidlig i september ble det i Finnmark påvist diarégivende gifter i skjell som var over faregrensen for konsum, i forbindelse med at *Dinophysis* spp. var relativt vanlig i området. Mest uventet var likevel påvisningen av algegiftene azaspiracider over faregrensen i skjell i Troms og Finnmark i perioden august–oktober, omtrent samtidig som denne giften også ble påvist i skjell fra Skagerrakkysten. Azaspiracider har ikke forårsaket kostholdsråd eller høsteforbud av skjell langs kysten tidligere.

Nye erfaringer i 2003

1) ASP-gifter over faregrensen for konsum ble for første gang påvist i blåskjell i Norge. 2) Forekomsten av potensielt skadelige alger i Nord-Norge var gjennomgående noe større enn vi har sett tidligere, og det var en del påvisninger av algegifter i skjell, både diarégivende og lammende. 3) Påvisning av algegiftene azaspiracider over faregrensen i skjell i Troms og Finnmark i perioden august–oktober og omtrent samtidig i skjell fra Skagerrakkysten.

Kapittel 5

Kartlegging og
overvåkning av korallrev



5

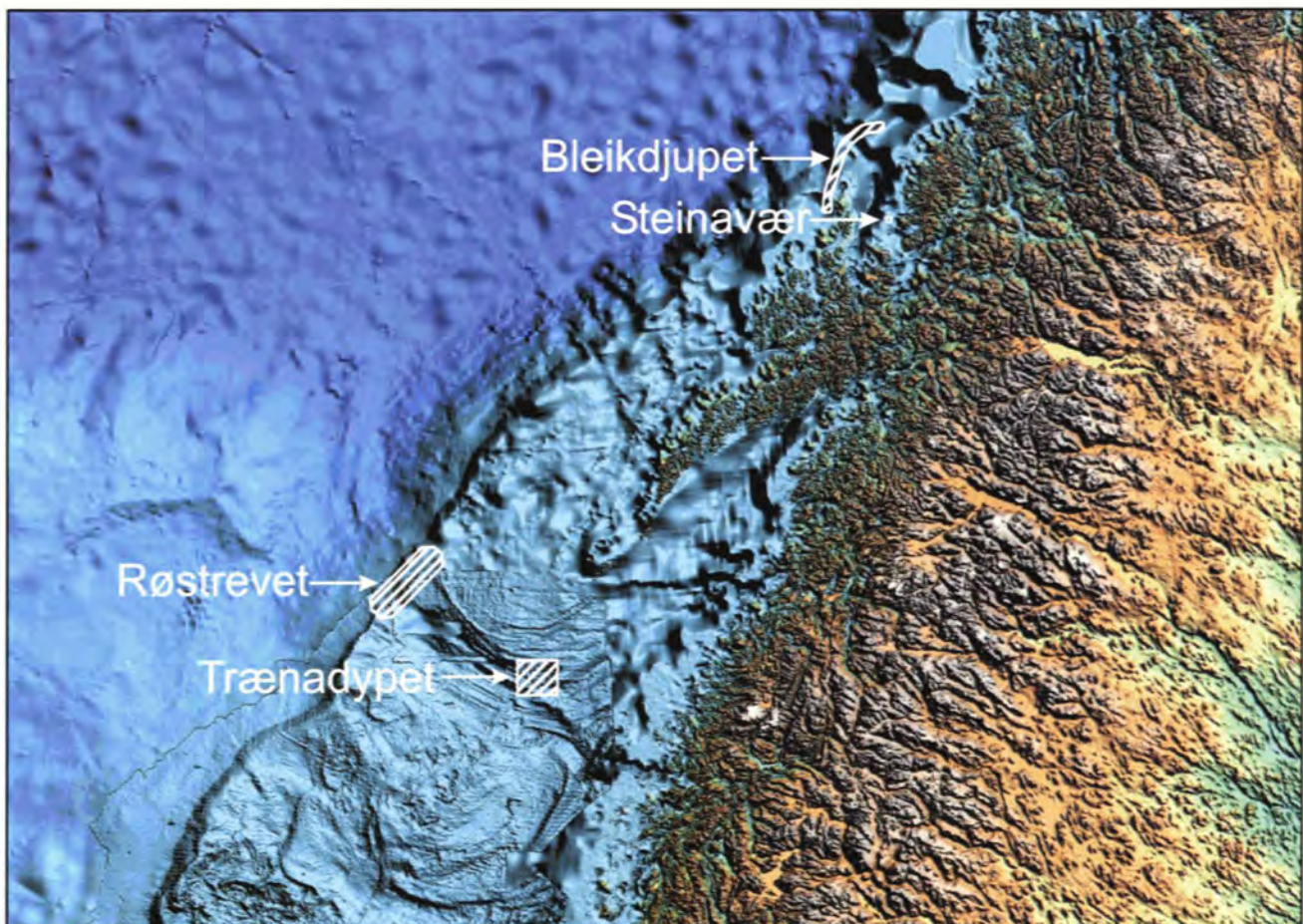
Kartlegging og overvåkning av korallrev

Korallkartlegging og vurdering av tilstand ble gjennomført med FF G.O. Sars 7.–23. juli 2003. Kartleggingen ble konsentrert om den nordlige kanten av Trænadypet, Røstrevet, Eggakanten fra Bleikdjupet til Sveinsgrunnen og ved Steinavær i Andfjorden (Figur 5.1).

Trænadypet

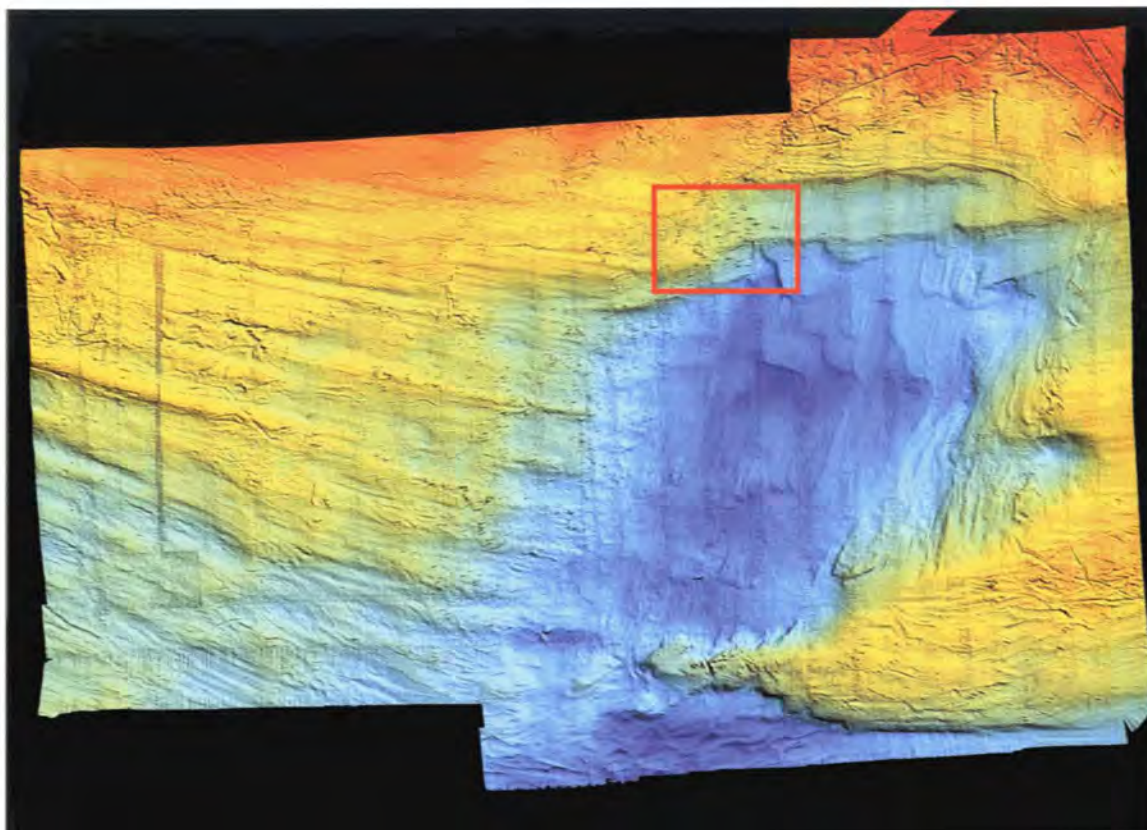
Det undersøkte området er ca. 23 x 13,5 km, tilsvarende 310 km² stort, og ligger på dyp mellom 250 og 410 m (Figur 5.2). Det er avgrenset av følgende koordinater:

Hjørne	N-bredde	Ø-lengde
SW	66° 52,960'	10° 47,598'
NW	66° 59,144'	10° 47,230'
MN	66° 59,210'	10° 09,106'
MNN	66° 59,207'	10° 09,106'
NE	66° 59,993'	11° 18,487'
SE	66° 52,210'	11° 17,847'
MSS	66° 51,881'	11° 00,085'
MSS	66° 52,840'	11° 59,880'



Figur 5.1

I 2003 ble det utført oppfølgende studier på Røstrevet og kartlegging i Trænadypet, ved Bleikdjupet, Sveinsgrunnen og ved Steinavær. The Røst-reef was discovered and mapped in 2002. In 2003 additional mapping was performed on the Røst-reef and in the other areas marked on the map.



Figur 5.2

I kanten av Trænadypet ble et område på 23 x 13 km kartlagt med multistråleekkolodd. Fargene gjenspeiler dybde. Mørkeblått er rundt 400 m dypt og de gule partiene er rundt 300 m. (Rød ramme er forstørret i Figur 5.3). Kartene er laget i samarbeid med NGU.

In Træna a 23 x 13 km area was mapped with multibeam echosounder. The colours indicate water depth. The darkest blue is about 400 m deep and the yellow is around 300 m. (Red frame is magnified in Figure 5.3). The maps are produced in cooperation with The Geological Survey of Norway.

På et multistrålekart fra et relativt flatt område kan man kjenne igjen strukturene som *Lophelia*-korallene bygger (Figur 5.3). Revene danner karakteristiske hauger. Av og til kan dette forveksles med andre typer hauger bestående av stein og morenemateriale, men oftest er det koraller. Tommelfingerregelen er at hvis man ikke kan identifisere haugen som en geologisk forekomst, definerer vi det som et korallrev.

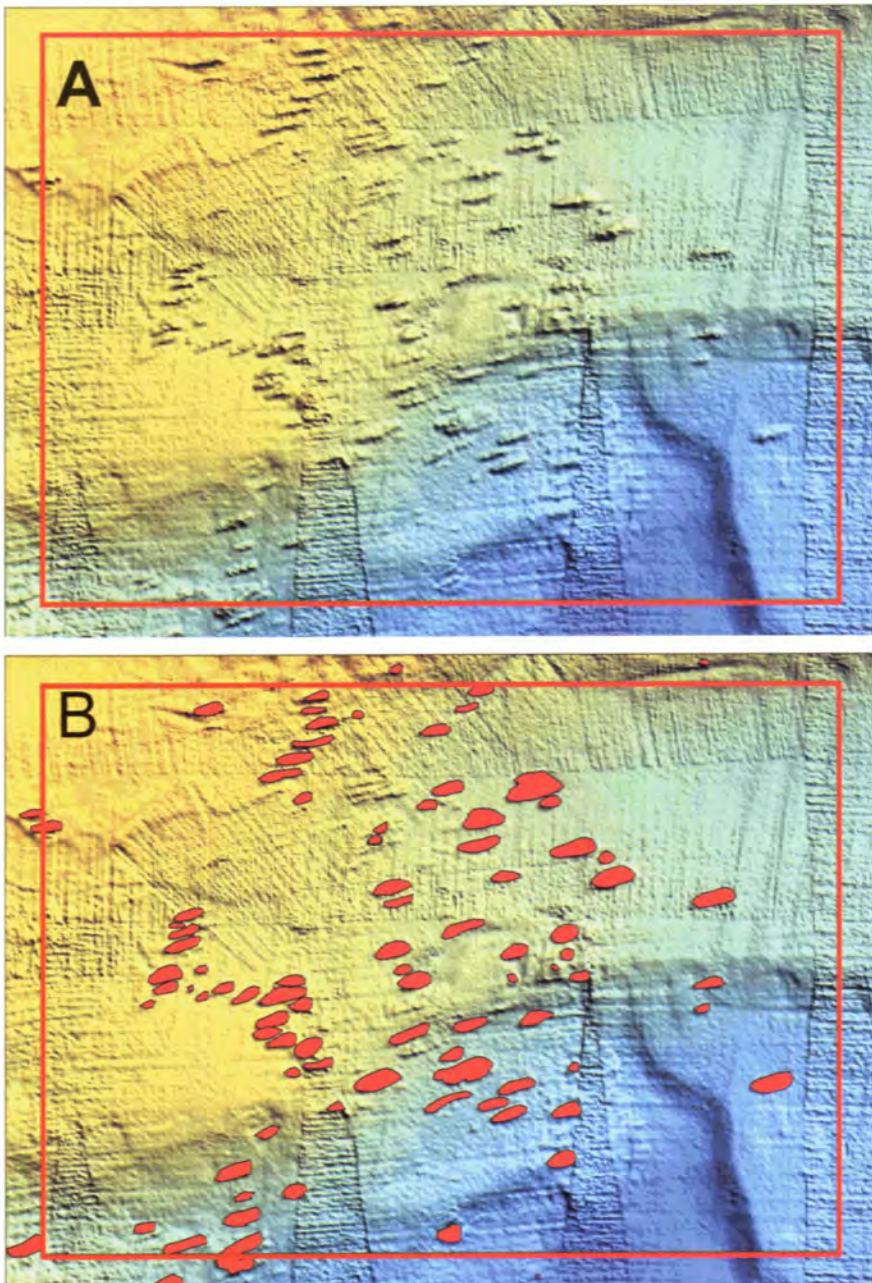
I hele det kartlagte området har vi på denne måten funnet 1447 mulige korallrev med en gjennomsnittlig lengde på 150 m. Til sammen dekker de et areal på 3,63 km². Det betyr at godt og vel 1 % av det totale området er dekket av korallrev.

Innenfor området hadde vi tid til å verifisere tilstedeværelsen av koraller med tre ROV-dykk og fem dykk med kamerarigg. Alle ROV-dykkene viste store forekomster av *Lophelia*-koraller og også til dels store bestander av hornkorallene *Primnoa* og *Paragorgia*. På en lokalitet i det sørvestre hjørnet av området var det store mengder døde koraller, noe som

tydet sterkt på ødeleggelser gjennom tråling. Det ble funnet *Lophelia*-koraller på tre av fem dykk med kamerarigg. På to av dykkene ble det ikke konstatert koraller. Vi mener bestemt at dette ikke er noe bevis for at det ikke er koraller på haugene i dette lokale området. Det har vist seg å være vanskelig å treffe haugene med kamerariggen, og vi kan drive nær opp til et korallrev av den typen som finnes i området med kamerarigg uten å se koraller.

I tillegg til vår inspeksjon av havbunnen har Statoil kartlagt deler av det angjeldende området i forbindelse med prøveboring av hull 6610/3-B. Med ROV og sidesøkende sonar konstaterte Statoil at det var mange korallrev i området.

Et meget interessant trekk ved voksemåten til korallrevene er at de vokser i samme retning innenfor delområder (dvs. den langsgående akse peker i samme retning) (se Figur 5.3). På denne bakgrunn har vi formulert følgende hypotese: Revene vokser mot strømretningen og de fleste levende korallkoloniene finnes på fremsiden, mens den eldste siden, halen, er død.



Figur 5.3

A. Forstørret bilde av området angitt i Figur 5.2. *Lophelia*-rev kan ses som langstrakte hauger. I dette området er det relativt lett å identifisere korallrevene siden de vokser på en ellers flat bunn. I et mer kupert område blir det vanskeligere å plukke ut hva som er rev og hva som er for eksempel steinhauger. At haugene virkelig er korallrev ble sjekket ved å filme med miniubåt. B. Røde flekker er tolket som korallrev.

A. Magnified picture of the framed area in Figure 5.2. *Lophelia* corals build characteristic mounds on the sea bottom, and on a multi-beam map we can recognise these structures. However, mounds of stones and till can be misinterpreted as coral mounds, so ground truthing is necessary. B. Red areas are interpreted as being coral mounds.

Røstrevet

På Røstrevet ble det i 2003 utført en mer nøyaktig multistråle-kartlegging av den midterste delen. Det ble også foretatt flere verifikasjoner av tilstedeværelsen av koraller, samt et par transekter med ROV fra de dypere delene av revområdet og opp langs ras-strukturene opp til kanten av rasområdet og kontinentalflaten. Dette ble gjort for å beskrive hvordan korallkoloniene vokser i forhold til ras-strukturene og for å definere og beskrive utbredelsen av forskjellige typer habitater i rasområdet.

Undersøkelsene i år bekreftet tilstedeværelsen av store mengder korallkolonier som rapportert i 2002 og et imponerende dyreliv i et topografisk meget variert bunnlandskap.

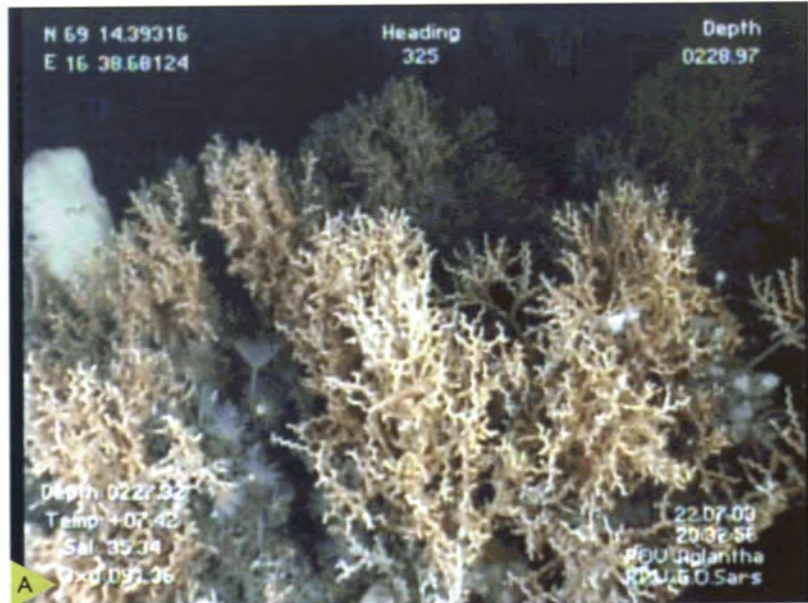
Eggakanten fra Bleikdjupet til Sveinsgrunnen

Eggakanten ble kartlagt med multistråle-ekkolodd mellom Bleikdjupet (69°18.0'N, 15°45.0'Ø) og opp til utenfor Sveinsgrunnen (69°44.0'N, 16°20.0'Ø). I dette området var det rapporter fra fiskere om korallforekomster langs kanten og nede i skråningen, og med en del ødelagte forekomster i den nordlige delen.

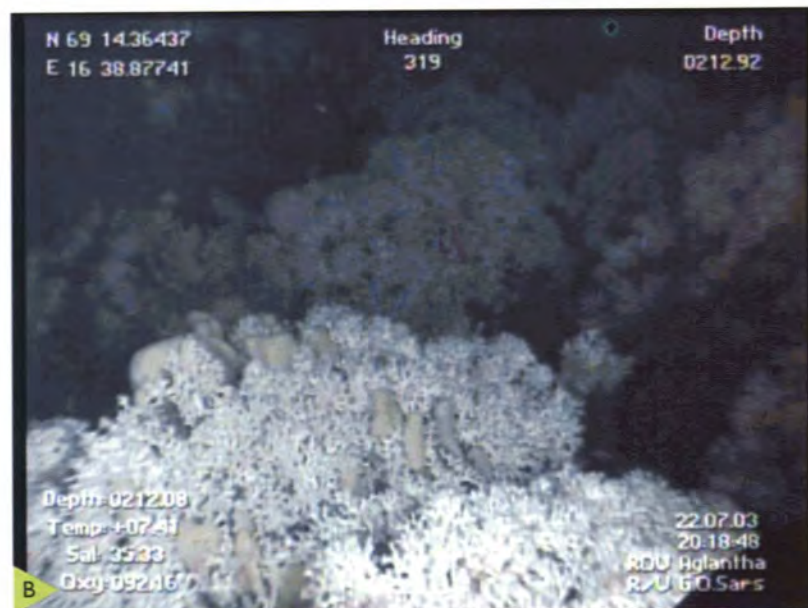
Vi fant korallrev i den nordlige delen av det undersøkte området hvor det var rapporter om ødelagte rev, ca. 69°41.5'N, 16°08.5'Ø. Revene som ble funnet ute på kanten var mer eller mindre intakte, men vi observerte en del tapte liner og garn. Lenger inne på sokkelen var korallrevene på haugene knust til småbiter.

Figur 5.4

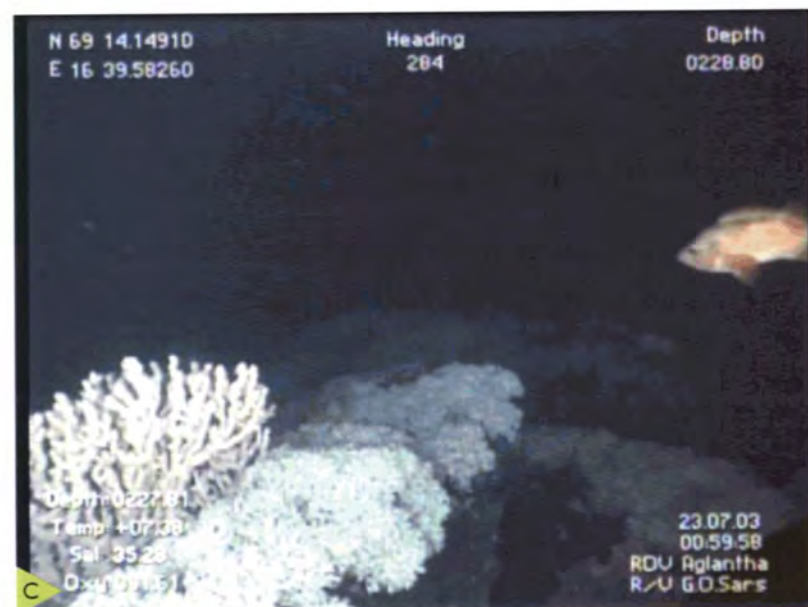
A.
Ved Steinavær finnes det godt utviklede bestander av korallarten *Madrepora oculata*. 229 m dyp.
There are well-developed stands of *Madrepora oculata* at Steinavær. The depth is 229 m.



B.
Det er *Lophelia pertusa* som dominerer og bygger revet ved Steinavær.
Lophelia pertusa dominates the coral fauna and builds the reef at Steinavær.



C.
Dette fotoet fra Steinavær viser fra venstre et sjøtre, *Paragorgia arborea*, *Lophelia pertusa* og en vanlig uer, *Sebastes marinus*.
From left to right: *Paragorgia arborea*, *Lophelia pertusa* and *Sebastes marinus*.



Steinavær i Andfjorden

I dette området var det rapportert om *Lophelia*-koraller av blant annet Dons i 1944, og senere av lokale fiskere. Vi foretok en multistrålekartlegging i området og verifikasjon av bunnforholdene med ROV. Det er meget kupert i området og vi var nede med ROV flere steder. Vi fant ett korallrev eller korallområde ved Steinavær (ca. 69°14.24'N, 16°39.00'Ø). Dette revet er noe av det flotteste vi har sett i disse årene med korallkartlegging (Figur 5.4). Revet sitter på begge sider av et lite sund som går over en rygg i området. På den ene siden gikk vi 500 m med ROV-en uten at vi så bunnen for bare koraller. Av fisk fantes stor uer og torsk. Som i de fleste korallområdene var det også her mye tapte liner og garn.

Effekter av fiskeri

På en lokalitet i det sørvestre hjørnet av det kartlagte området ved Træna var det store mengder døde koraller som minnet sterkt om ødeleggelser gjennom tråling. Langs eggakanten utenfor Sveinsgrunnen ble det konstatert skader på korallrev.

I dette området er det mye tråling, og korallrevene som ligger litt innenfor selve kanten er knust til småbiter. Ellers konstaterte vi at det var tapte garn og liner i alle de undersøkte områdene.

Konklusjon

FF G.O Sars viste seg å fungere meget bra til korallkartlegging. De nye multistråleekkoloddene og miniubåten "Aglantha" har gjort kartlegging og tilstandsvurderingen av dypvannsrevene mye mer effektiv.

Også i år fant vi mange nye rev. Siden mange potensielle korallvoksesteder ikke er kartlagt ennå, tyder dette på at det fortsatt vil være mange korallrev å oppdage. Det er også mye som mangler på å forstå revenes økologiske rolle. Vi kan imidlertid fastslå at det er mer korallrev enn det vi har trodd. Det igjen betyr at revenes rolle antakelig er viktigere enn tidligere antatt og at det er viktig med en gjennomtenkt forvaltningsstrategi for revene.

Kapittel 6

Forurensning



Foto: Bergens tidende

Høsten 2002 ble det samlet inn fisk fra Tampen- og Sleipner-regionen i Nordsjøen for å undersøke om fisken var forurenset av utslipp fra oljeindustrien i området. Prosjektet ble gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom Havforskningsinstituttet, ITM – Universitetet i Stockholm, NIFES, NIVA, RF-Akvamiljø og SINTEF. Finansieringen av prosjektet kom fra Norges forskningsråd (NFR) og Oljeindustriens landsforening (OLF). I tillegg bidro de deltagende institusjoner med betydelige egenbidrag.

Hovedmålet med prosjektet er å få dokumentasjon på om kjemiske komponenter i operasjonelle utslipp fra oljeinstallasjoner tas opp i og gir effekter på fisk, og om fiskens kvalitet som menneskeføde påvirkes negativt.

Delmål

- ▶ Kartlegge nivåene av alkylfenoler og de aromatiske hydrokarbonene NPD/PAH i fisk fra områder med store utslipp av produksjonsvann fra offshore oljeinstallasjoner (Tampen- og Sleipnerregionen), og sammenligne dette med nivåene i fisk fra en referanselokalitet (Egersundbanken).
- ▶ Måle gallemetabolitter av NPD/PAH i fisken.
- ▶ Gjennomføre målinger av biomarkører for å bestemme biologiske effekter av operasjonelle utslipp.
- ▶ Gjennomføre målinger for vurdering av virkninger av operasjonelle utslipp på fiskens kvalitet som menneskeføde.
- ▶ Modellere konsentrasjonsfeltene av alkylfenoler og NPD/PAH i utslippsområdene, og koble dette til forurensningsgraden i fisk.

Et representativt utvalg av fisk fra Tampenregionen, Sleipnerregionen og Egersundbanken (referanseområde) ble fisket med trål av Havforskningsinstituttets forskningsfartøy FF Michael Sars og FF G.O. Sars høsten 2002. Innsamlingen omfattet torsk, hyse, sei og sild. Prøvetakingen og måleprogrammet ble gjennomført på enkeltfisk for å kunne vurdere andelen av en fiskebestand i et område som er påvirket av forurensning fra petroleumsvirksomheten.

Analysene er hovedsakelig blitt gjennomført i løpet av 2003. Oljekomponenter (aromatiske hydrokarboner NPD/PAH) i fiskelever fra de fire innsamlete artene og muskelprøver av hyse ble analysert av laboratoriene til NIVA og SINTEF. Ved

eksponering akkumuleres disse komponentene først og fremst i fiskens lever pga. leverens høye fettinnhold. Nivåene av de samme komponentene i fiskemuskel er som oftest svært lavt. Innholdet av alkylfenoler i lever ble analysert på den samme fisken som ble analysert for hydrokarboner. Havforskningsinstituttets kjemilaboratorium hadde hovedansvaret for disse analysene, og SINTEF gjennomførte noen kontrollmålinger.

Når fisk eksponeres for NPD/PAH eller alkylfenoler omsettes stoffene, og skilles i stor grad ut i galle. RF-Akvamiljø gjennomførte analyser av gallemetabolitter i innsamlet torsk, sei og hyse. Målinger av PAH-metabolitter i galle har i flere år vært anvendt som mål på eksponering til stoffene.

Siden NPD/PAH og alkylfenoler i stor grad omsettes av fisk, kan det være vanskelig å måle de vanligvis lave nivåene ved kjemiske analyser. Stoffene vil imidlertid kunne ha effekter selv om det ikke er målbare nivåer til stede i vevet. Hovedansvaret for de biologiske effektmålingene lå hos NIVA, og tre typer effektanalyser ble gjennomført: (1) analyser som retter seg mot kjente effekter av PAH-er, (2) analyser som retter seg mot kjente effekter av alkylfenoler og (3) analyser av effekter som kan forårsakes av ulike typer miljøgifter:

- ▶ PAH-sensitive komponenter: aktivitet og nivå til Cytokrom P4501A, DNA-skader
- ▶ alkylfenol-sensitive komponenter: Plasma vitellogenin
- ▶ generelle effekter: antioksidantzymer

NIFES har gjennomført målinger for å undersøke om den fisken som inneholder forhøyede nivåer av fremmedstoffer får forringet kvalitet som menneskeføde. Målinger av oksydativt stress og forandringer i metabolisme og sammensetning av lipider i fiskemuskel benyttes som måleparametre.

En modell kalt DREAM ble benyttet til å modellere konsentrasjonsfeltene av NPD/PAH og alkylfenoler i Sleipner- og Tampenregionen for å beskrive eksponeringen fisken kunne ha vært utsatt for, og sammenholde denne med de målte verdiene i fisken. SINTEF har gjennomført modelleringsarbeidet.

Havforskningsinstituttet har ledet prosjektet. Resultatene derfra skal være ferdig rapportert og publisert i løpet av 2004. Foreløpige resultater viser at nivåene av oljekomponenter i fisk fra Tampen- og Sleipnerregionen ligger på samme lave bakgrunnsnivå som for fisk fra øvrige deler av Nordsjøen. Enkelte av de biologiske analysene gir imidlertid signaler som tyder på at hyse i installasjonsområdene utsettes for forurensning som kan gi effekter på arvestoffet.

Kilder for radioaktiv forurensning i norske havområder

Norske havområder, som er noen av de biologisk sett rikeste i verden, har blitt tilført radioaktiv forurensning i et halvt hundreår. De viktigste kildene er nedfall fra kjernefysiske prøvesprengninger på 1950- og 60-tallet, utslipp fra europeiske gjenvinningsanlegg for brukt kjernefysiske brensel (Sellafield, UK og Cap de la Hague, Frankrike) og Tsjernobyl-ulykken. Blant de viktigste menneskeskapt radionuklidene er technetium-99 (Tc-99) og cesium-137 (Cs-137). Cs-137 har en halveringstid (t_{1/2}) på 30 år, mens Tc-99 har en halveringstid på 213 000 år og vil være til stede i våre havområder i uoverskuelig fremtid.

Radioaktiv forurensning i fisk på 60-tallet og i dag

Radioaktiv forurensning i fisk i Barentshavet i perioden 1961-68 er vist i Figur 6.1. Målingene er gjort ved Havforskningsinstituttet. På 60-tallet var ikke målestyret like avansert som i dag. Radioaktiv forurensning ble derfor målt som "total beta-aktivitet minus beta-aktivitet fra den naturlig forekommende radionukliden kalium-40 (K-40)". Den høyeste beta-aktiviteten ble målt i 1962-63, noe som skyldes en "topp" i nedfallet fra prøvesprengninger i 1961-62. Grunnet stans av prøvesprengninger, biologisk eliminering av radionuklider og korte halveringstider til noen av beta-emitterne, avtok beta-aktiviteten i fisk mot slutten av 60-tallet. I likhet med mange andre laboratorier la Havforskningsinstituttet ned overvåkningen av radioaktiv forurensning på slutten av 60-tallet. Da Tsjernobyl-ulykken skjedde 26. april 1986, fantes det verken målestyr for radioaktivitet eller personell som kunne håndtere dette ved instituttet. Overvåkning av radioaktiv forurensning i norske havområder ble imidlertid gjenopptatt ved Havforskningsinstituttet på begynnelsen av 90-tallet, og i 1999 startet et nasjonalt overvåkingsprogram for radioaktiv forurensning. Programmet koordineres av Statens strålevern. Resultater fra overvåkingsprogrammet i årene 1999, 2000 og 2001 er publisert.

I dag har vi svært fint målestyr for radioaktivitet, og vi kan måle aktiviteten fra enkelte radionuklider. Som nevnt innledningsvis er Cs-137 en av de viktigste menneskeskapt radionuklidene. I 2003 var konsentrasjonen av denne generelt lavere enn 1 Bq/kg fersk vekt i fisk fra norske havområder (Figur 6.2). Dette er ikke direkte sammenlignbart med målingene fra 60-tallet (som omfattet total beta-aktivitet minus K-40), men vi vet at en stor del av beta-aktiviteten som ble målt den gangen stammet fra Cs-137. Vi kan derfor med relativt stor sikkerhet si at konsentrasjonene i fisk er mye lavere i dag enn på 60-tallet.

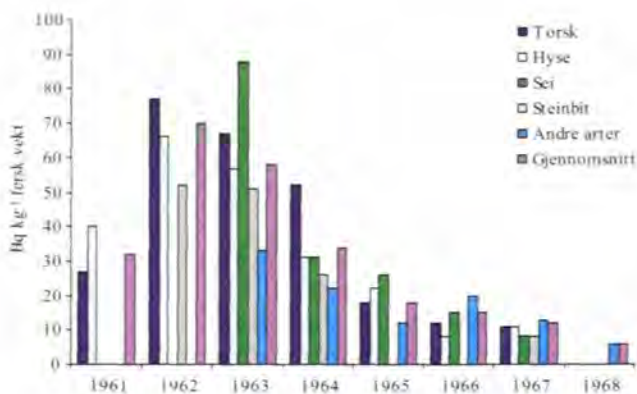
Resultater fra overvåkning i 2003

I det nasjonale overvåkingsprogrammet har Havforskningsinstituttet ansvar for innsamling av marine prøver (fisk, sjø-

vann og sedimenter). Vi bidrar også med kunnskap om det aktuelle økosystemet, og vi sørger for at nødvendige data som f.eks. temperatur og saltholdighet av sjøvann blir samlet inn og gjort tilgjengelig når måleresultatene skal tolkes. Et nært samarbeid mellom Havforskningsinstituttet og Statens Strålevern sikrer realistiske tolkninger av måleresultatene.

På vårt kjemilaboratorium har vi nå tre relativt nye gamma-detektorer med god målekapasitet. Selv om Cs-137 er en beta-emitter, kan den måles på våre gamma-detektorer¹. I tillegg til nedfall fra prøvesprengninger på 1950- og 60-tallet, er Tsjernobyl-ulykken en viktig kilde for Cs-137 til våre havområder. Vi måler stadig forurensning fra denne ulykken. De høyeste konsentrasjonene av Cs-137 i norske marine områder finner vi i sedimentprøver innerst i en del fjorder. Grunnen til det er at enkelte områder i Norge ble utsatt for et vesentlig nedfall etter ulykken, og det skjer stadig en avrenning av Cs-137 fra land via elver til fjordene våre. Den største kilden for Cs-137 til norskekysten i dag er Østersjøen, som er tilført store mengder gjennom avrenning fra omkringliggende landområder. Andre radionuklider, som alfa-emitterne Pu-238, Pu-239, 240 og Am-241 og beta-emitterne Sr-90 og Tc-99, måles ved Statens Strålevern. Vi holder imidlertid på å etablere en målemetode for Tc-99 ved instituttet (se egen artikkel under kapittel 7).

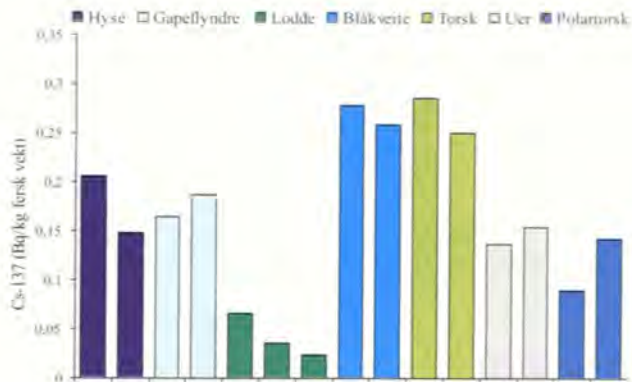
I 2003 har vi konsentrert den marine delen av overvåkingsprogrammet om Barentshavet. Derfra har vi tatt prøver av fisk, sedimenter og sjøvann. En del fiskeprøver og sedimentprøver er målt, og resultater fra disse målingene er vist i Figurene 6.2 og 6.3. Som nevnt over var konsentrasjonene av Cs-137 i alle fiskeprøvene under 1 Bq/kg i 2003. Vi ser imidlertid at konsentrasjonene varierer mellom de forskjellige



Figur 6.1

Radioaktivitet (total beta-aktivitet minus kalium-40 (K-40)) i fisk i Barentshavet i perioden 1961-1968.

Radioactivity in fish in the Barents Sea during the years 1961-1968.



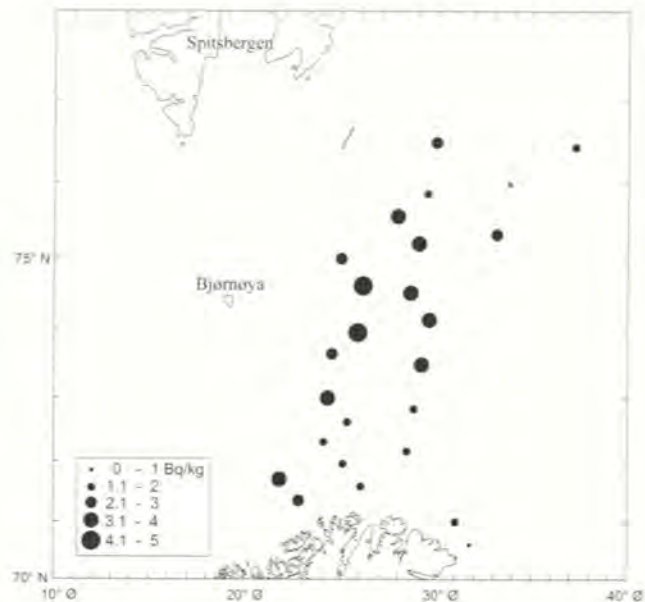
Figur 6.2
Konsentrasjoner av Cs-137 i fisk (individer) i Barentshavet i 2003.
Concentrations of Cs-137 in fish (specimens) in the Barents Sea in 2003.

fiskeslagene. Dette skyldes variasjoner i fiskens størrelse og diett. Vi vet at konsentrasjonene av Cs-137 øker oppover i næringskjeden, og vi ser av Figur 6.2 at konsentrasjonene av Cs-137 i lodde, som hovedsakelig beiter på krill, amfipoder og fiskelarver, er lavere enn konsentrasjonene i torsk som beiter hovedsakelig på lodde, sild og krepsdyr.

Etter Tsjernobyl-ulykken ble det gitt en tiltaksgrense på 600 Bq/kg. Hvis det ble målt verdier over tiltaksgrensen i matvarer, ble det gitt spesielle kostholdsråd knyttet til den aktuelle matvaren. Det har aldri blitt målt verdier over tiltaksgrensen i saltvannsfisk, men når det gjelder bl.a. sau og reinsdyr har det blitt målt verdier langt over tiltaksgrensen. I enkelte områder av Norge er det fortsatt områder hvor beitende dyr i utmark kan få et betydelig høyere innhold av Cs-137 enn 600 Bq/kg fersk vekt.

Konsentrasjonene av Cs-137 i fisk i Barentshavet målt i 2003 tilsvarer de vi har funnet tidligere år. Generelt ligger målinger av Cs-137 i fisk fra Barentshavet lavere enn i fisk fra Norskehavet og Nordsjøen. Grunnen til det er at konsentrasjonene av Cs-137 i sjøvann øker når vi nærmer oss de viktigste kildene for Cs-137-forurensningen: Østersjøen og gjenvinningsanleggene Sellafield (med utslipp til Irskesjøen) og Cap de la Hague (med utslipp til Den engelske kanal). Høyere konsentrasjoner i sjøvann gir altså høyere konsentrasjoner i fisk. Selv om vi kan måle radioaktiv forurensning i fisk i alle norske havområder, er konsentrasjonene svært lave, og dagens nivåer medfører ingen helsefare for konsumenter av norsk sjømat.

Natt til lørdag 30. august 2003 forliste den utrangerte russiske atomubåten K-159, en "November"-klasse fra 1963, ved innløpet til Murmanskfjorden. Ubåten ble tatt ut av drift i 1989, og de to reaktorene om bord ble samtidig stengt ned. Ifølge Statens Strålevern inneholder de ca. 800 kg brukt kjernebrensel. For å undersøke mulige miljøpåvirkninger ble det, i regi av Statens Strålevern, straks samlet inn og gjort målinger i fisk fra forskjellige steder i Barentshavet. Målingene viste normale verdier av Cs-137. Den videre overvåkingen fra norsk side vil skje gjennom det nasjonale overvåkningsprogrammet. Som et ledd i det norsk-russiske samarbeid om radioaktivitet i nordområdene har vi diskutert muligheter for en betydelig utvidelse av den pågående



Figur 6.3
Konsentrasjoner av Cs-137 i overflatesedimenter i Barentshavet i 2003.
Concentrations of Cs-137 in surface sediments in the Barents Sea in 2003.

overvåking av marin radioaktivitet. En slik overvåking med bl.a. faste kyststasjoner fra Nordsjøen til Karahavet vil kunne fange opp eventuell forurensning fra dette ubåtvraket dersom det ikke blir hevet, slik det er antydnet fra russisk hold.

Konsentrasjonene av Cs-137 i sedimenter i Barentshavet varierte i 2003 mellom 0,5 og 4,4 Bq/kg tørrvekt (Figur 6.3). Dette stemmer overens med konsentrasjoner som er målt i sedimentprøver fra Barentshavet tidligere. Generelt varierer konsentrasjonene av Cs-137 i sedimentprøver med varierende innhold av leirmineraler. Dyp og strømforhold ved prøvetaksingsstedet er også avgjørende. Sammenlignet med de konsentrasjonene vi finner av Cs-137 innerst i norske fjorder (opp til 125,5 Bq/kg tørrvekt (*Havets miljø 2003*) er konsentrasjonene av Cs-137 i sedimenter i Barentshavet lave.

Noen ordforklaringer

- Radionuklide: en atomkjerne som sender ut radioaktiv stråling
- Alfa-stråling: utsendelse av helium-kjerner
- Beta-stråling: utsendelse av elektroner
- Gamma-stråling: elektromagnetisk stråling
- Emmitter: (av lat. "sende ut") strålingskilde
- Alfa-emitter: en radionuklide som sender ut alfa-stråling
- Beta-emitter: en radionuklide som sender ut beta-stråling
- Gamma-emitter: en radionuklide som sender ut gamma-stråling
- Beta-aktivitet: aktiviteten eller konsentrasjonen av en eller flere beta-emittere i et stoff (for eksempel fisk)

¹ Cs-137 er en beta-emitter som går over til en eksitert tilstand av barnum-137 (Ba-137). Denne deeksiteres raskt til stabilt Ba-137 ved utsendelse av gammastråling ($E = 0,662 \text{ MeV}$). Det er denne gammastrålingen vi måler, og energien til strålingen kalles ofte for "gammaenergien til Cs-137".

Kapittel 7

Aktuelle tema



Hein Rune Skjoldal og Roald Sætre

Havforskningsinstituttet har nylig laget en bok om økosystemet i Norskehavet. Boken er skrevet på engelsk og kommer ut i vår. Bakgrunnen for denne forskningsprogrammet "Mare Cognitum" som instituttet gjennomførte fra 1993 til 2000, i samarbeid med flere andre institusjoner både i og utenfor Norge. Forskningsprogrammet har gitt oss mye ny viten om organismene og økosystemet i Norskehavet. Denne kunnskapen er oppsummert i boken, som gir en oversikt over økologien til de viktigste artene og innsikt i hvordan økosystemet er bygget opp og hvordan det fungerer.

Jubileum og sildeperioder

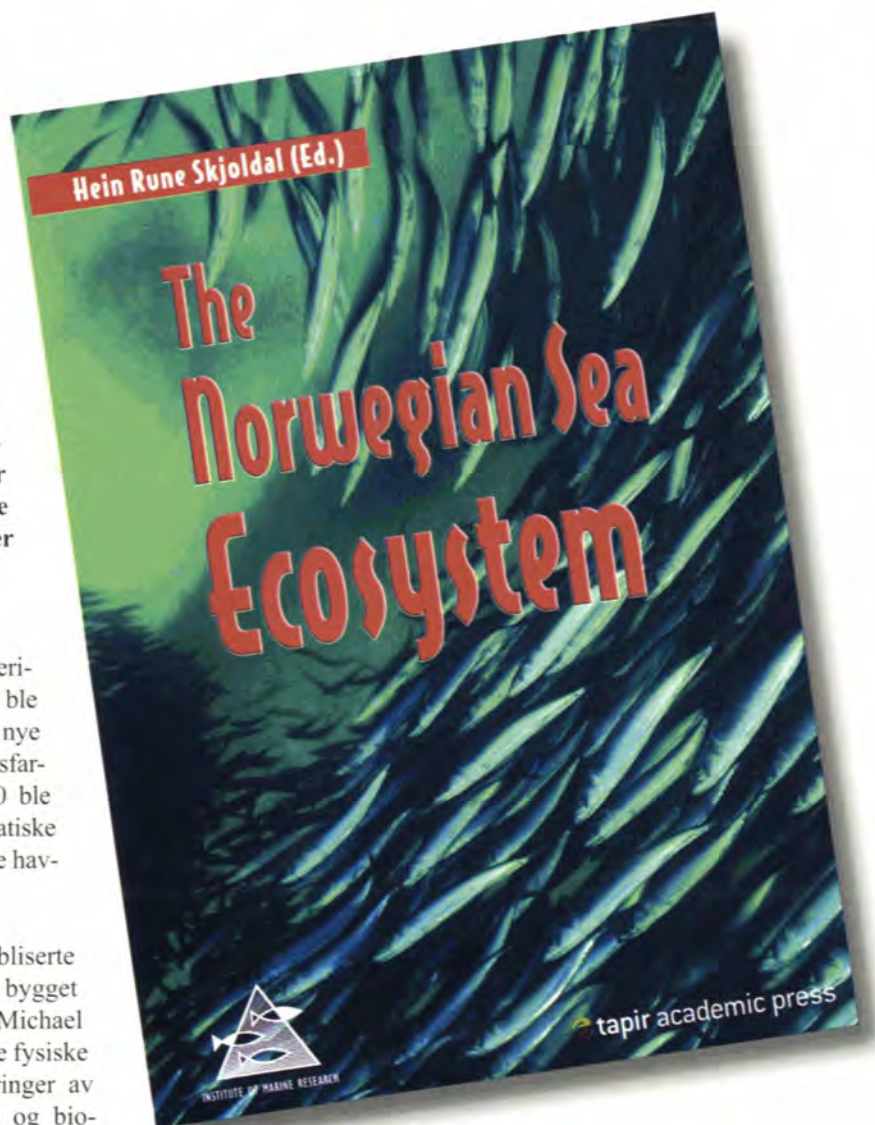
I 2000 feiret Havforskningsinstituttet og Fiskeridirektoratet 100-årsjubileum. Johan Hjort ble den første fiskeridirektør og leder av det nye direktoratet. Han fikk anskaffet forskningsfartøyet "Michael Sars", og i årene fra 1900 ble det gjennomført omfattende og systematiske undersøkelser av fisk og havmiljø i de norske havområdene.

Bjørn Helland-Hansen og Fridtjof Nansen publiserte i 1909 boken "The Norwegian Sea". Boken bygget på undersøkelsene med det nye fartøyet FF Michael Sars og gav en grundig oppsummering av de fysiske miljøforholdene i Norskehavet og vurderinger av koblinger mellom variabilitet i havklima og biologiske forhold. Boken er imponerende moderne i sitt fokus på klima-variabilitet som drivkraft for variasjoner i fiskebestander.

Det forestående jubileet bidro i 1991 til at HI startet planlegging av et større forskningsprogram om Norskehavet. Dette fulgte i en tradisjon av marinøkologiske forskningsprogrammer med fokus på spesifikke økosystemer. PRO MARE (Marin-økologisk forskningsprogram i Arktis) fra 1984 til 1989 fokuserte på økosystemet i Barentshavet, og var motivert av behovet for bedre kunnskap for fiskeriforvaltning og konsekvensvurdering av fremtidig oljevirksomhet. MARE NOR (Nord-norsk kystøkologiprogram) fra 1990 til

1994 fokuserte på økologi i kystområder og var motivert blant annet av den omfattende nedbeitingen av tareskog i Nord Norge og behovet for bedre kunnskap for forvaltningen.

Det nye forskningsprogrammet ble planlagt for perioden 1993-2000. Viktigere enn 100-års markering og tusenårskiftet var likevel en forventning om at vi var i starten av en ny sildeperiode. Den siste sildeperioden tok slutt sent på 1960-tallet med nedfisking av den norske vårgytende silda.



Figur 7.1.1
Frontsiden til boken om Norskehavet.
The frontal page of the book on the Norwegian Sea.

Miljøendring bidro også til nedgangen og avslutningen av sildeperioden. I 1970- og 80-årene var sildebestanden lav, og den holdt seg kystnært i Norge i hele sitt livsløp. 1983 markerte en endring. Da ble det dannet et sterk ny årsklasse av sild som vokste opp i Barentshavet. Våren 1986 vandret denne ut av Barentshavet og oppholdt seg i tilgrensende deler av Norskehavet utenfor Nord-Norge. Klimaet spilte en viktig rolle for denne endringen for silda. 1983 var et relativt varmt år som fulgte den lengste og kaldeste perioden (1977-82) i Barentshavet siden århundreskiftet. Etter noen kalde år midt på 80-tallet, fulgte en rekke varme år fra siste del av 80-tallet av. Dette har gitt gjennomgående gode forhold for rekruttering hos silda, og flere sterke årsklasser ble dannet tidlig på 90-tallet.

Vår forventning var at silda igjen ville komme tilbake og bruke beiteområdene i Norskehavet. En viktig målsetning for det nye forskningsprogrammet var derfor å dokumentere sildas tilbakekomst og de endringer i økosystemet som hang sammen med dette.

Forskningsprogrammet "Mare Cognitum"

Helland-Hansen og Nansen karakteriserte i sin bok *Norskehavetsom et Mare incognitum* for oppstarten av vitenskapelige undersøkelser i 1870-årene. Det nye forskningsprogrammet ble gitt navnet *Mare Cognitum* som et motstykke til dette. Navnet uttrykte samtidig programmets mål, som var å gjøre Norskehavet til et kjent havområde og økosystem.

Under planleggingen av programmet i 1991-92 ble det laget en omfattende vitenskapelig plan. Denne beskrev den faglige bakgrunnen og de sentrale problemstillinger som programmet skulle belyse. Programmet hadde tre faglige hovedkomponenter:

- Havklima
- Ressursøkologi
- Karbonsyklus

Hovedmålet for programmet var å avdekke de viktigste faktorene som skaper variabilitet i økosystemet, for derved å danne grunnlag for bedre prognoser om fiskebestander og andre deler av økosystemet. Det ble også utarbeidet en rekke konkrete delmål for programmet.

Programmet ble gjennomført med feltundersøkelser i perioden 1993-2000. *Mare Cognitum* var et instituttprogram ved Havforskningsinstituttet, men ble utført med støtte fra Norges forskningsråd til enkeltprosjekter og med deltagelse av forskere fra andre institusjoner (Universitetene i Bergen, Oslo, Trondheim og Tromsø, Høgskolen i Bodø og havforskningsinstituttene på Island og Færøyene, m.fl.). Programmet har kostet mer enn 200 millioner kroner. Av dette har Havforskningsinstituttet dekket omlag 75 % over sitt budsjett fra Fiskeridepartementet, mens de øvrige 25 % kommer fra andre kilder, deriblant Norges forskningsråd. Ca. 1/3-del av kostnadene har vært fartøydriфт for å gjennomføre den vitenskapelige prøvetakingen. Mer enn 30 tokter har vært gjennomført helt eller delvis for programmets formål. Til sammen utgjør dette ca. tre år med skipstid i Norskehavet.



Figur 7.1.2

Utsnitt fra det første sjøkartet over Norskehavet publisert av Olaus Magnus Gothus i 1539. Kartet viser kysten utenfor Nord-Norge med den kjente Mosknesstrømmen og noen av de fantastiske dyrene i havet utenfor.

Detail of *Carta Marina* by Olaus Magnus Gothus from 1539. The map shows the famous Mosknes Current or the Maelstrom and some of dreadful sea monsters of the northern seas.

Boken

Resultater fra *Mare Cognitum* har vært presentert i mer enn 60 vitenskapelige artikler i internasjonale tidsskrifter, i tillegg til en rekke rapporter og presentasjoner på vitenskapelige konferanser. Det arbeides fortsatt med publisering og oppfølging av resultater fra programmet i flere forskningsprosjekter ved Havforskningsinstituttet og i samarbeid med forskere ved andre institusjoner.

Resultatene så langt blir nå oppsummert i boken *The Norwegian Sea Ecosystem*. Denne er skrevet på engelsk og blir utgitt av Tapir Forlag i Trondheim. Boken er skrevet av en rekke av forskerne ved HI som har deltatt i *Mare Cognitum*-programmet. I tillegg har forskere ved andre norske institusjoner bidratt i arbeidet med boken.

Boken består av 18 kapitler. Hvert kapittel er skrevet av en eller flere forfattere og kan leses som en selvstendig enhet med egen innledning og avslutning. Samtidig inngår kapitlene i en strukturert sammenheng hvor kapitlene beskriver de viktigste økologiske komponentene og sammenhengene mellom disse i økosystemet.

Etter et innledende forord om *Mare Cognitum* og boken, følger en introduksjon til hovedtrekkene i økosystemet i Norskehavet. Et økosystem er både det fysiske livsmiljøet i et område og alle de organismene som bor i eller besøker dette området. Et slikt økosystem kan en sammenligne med et teater med scene, skuespillere og handling i et stykke. Havbunnen og vannmassene utgjør scenen. Organismene utgjør aktørene, skuespillerne, på scenen. Her kan en skille mellom de som har hovedroller og de som har biroller eller gjesteopptredener. Den økologiske handlingen er et drama



Figur 7.1.3

En av hovedaktørene i Norskehavets økosystem er silda – her i tett stim.

One of the main actors in the Norwegian Sea ecosystem is the herring – here in a dense school.



Figur 7.1.4

Dyreplanktonarten raudåte (*Calanus finmarchicus*) er den viktigste matorganismen for silda.

The zooplankton species Calanus finmarchicus is the most important feeding organism for the herring.

hvor det handler om å spise og å unngå å selv bli spist. Naturen er ingen "Hakkebakkeskog" hvor alle er snille og greie. Tvert i mot gjelder det helt bokstavelig at "den enes død er den annens brød" og de aller fleste individer dør av å bli spist av andre.

Silda er en hovedaktør i økosystemet i Norskehavet (Figur 7.1.3) og får derfor en tilsvarende oppmerksomhet. Den utnytter planktonproduksjonen i Norskehavet, og raudåte (*Calanus finmarchicus*) er spesielt viktig som en nøkkelart blant dyre-plankton (Figur 7.1.4). Raudåte har en ett-årig livssyklus, og den nye generasjonen av året utvikler seg i det

øverste vannlaget i løpet av noen få måneder om våren og sommeren. Deretter vandrer den ned til stort dyp for å overvintre i mørket før de kommer opp igjen neste vår. Silda vandrer ut fra kysten og sprer seg ut vestover i Norskehavet, hvor den beiter på den sesongmessige forekomsten av raudåte og annet dyreplankton. Dette illustrerer de utfordringer raudåte og sild står ovenfor og hvordan deres livssykluser er koblet sammen. Raudåte er plantespiser og må være i overflatelaget og beite på planteplanktonet der. Oppholdet gjøres så kort som mulig, og deretter vandrer raudåta ned og sprer seg i det dype, kalde vannet. På denne måten kommer den bort fra sild og andre fisk som bruker øynene til å finne maten. Silda på sin side har en kort og hektisk beiteperiode hvor den prøver å spise mest mulig. Samtidig må den passe seg for selv ikke å bli spist av spekkhogger og andre rovdyr siden den er en art som kan leve lenge og gyte mange ganger.

Boken gir en gjennomgang av de viktigste arter og grupper av organismer i økosystemet i Norskehavet. Dette gir en samlet beskrivelse av de enkelte aktørene, skuespillerne, på den økologiske scenen. Til slutt gir boken en sammenfatning av kunnskapen om økosystemet og en mer helhetlig beskrivelse av handlingen. Her oppsummeres kunnskapen om hvor stor biomasse det er av de ulike arter og grupper, hvor stort matbehovet deres er og hvor mye omsetning og produksjon de står for. Videre oppsummeres hva vi nå vet om det økologiske dramaet; hvem spiser hvem og hvor mye? Dette danner grunnlag for oversikter over næringsnett; hvordan henger artene og gruppene sammen i nett som gjenspeiler hva de enkelte spiser og hvem som spiser dem?

Oppsummeringen av næringsnettet gir et statisk og gjennomsnittlig bilde basert hovedsakelig på observasjoner og målinger i løpet av 1990-årene. Økosystemet i Norskehavet er imidlertid langt fra statisk, men heller svært dynamisk. Boken tar derfor også for seg hvordan økosystemet endrer seg med tiden eller det vi ofte kaller variabilitet. Det er store sesongvariasjoner i produksjon og forekomst av plankton fra vinter til sommer, og i de store vandringsveiene som sild, kolmule, makrell, hvaler og andre følger i forhold til slike vekslinger i plankton. Vi vet at klimavariasjoner har en stor betydning for de biologiske og økologiske forholdene, og mulige mekanismer for hvordan endringer i havklimaet styrer og virker inn på plankton og fisk blir diskutert. Dette leder oss til noen avsluttende betraktninger om sildeperiodene slik vi har observert vekslingene i disse over mange tiår, med avslutning av én periode i 1960-årene og begynnelsen av en ny i 1980- og 90-årene. Vi har ennå ikke en god forståelse av årsakene til disse, men vi håper vi gir et godt utgangspunkt for mer presise spørsmål for den videre forskningen på dette feltet.

Etter denne oppsummeringen og mulige tolkninger av handlingen i økosystemet i Norskehavet, gir boken en oversikt over utviklingen av forvaltningen av fiskeriene i Norskehavet. Det aller siste kapitlet er en epilog hvor vi stiller spørsmålet om Norskehavet nå er et *Mare Cognitum* – et kjent hav. Vi har uten tvil høynet kunnskapen om dette havområdet og økosystemet betraktelig. Vi har nå en god oversikt over økosystemets oppbygning og virkemåte. Fortsatt er det

mange forhold som vi ikke kjenner godt nok, men den økte kunnskapen har gitt oss et grunnlag for å stille tydeligere spørsmål og å gi prioriteringer for den videre utforskningen og overvåkingen av Norskehavet. Den kunnskapen vi nå har fått gjennom *Mare Cognitum*-programmet og som er oppsummert i boken, vil danne et viktig grunnlag for den økosystembaserte forvaltningen av dette havområdet som den norske regjeringen i 2003 varslet i St. meld. 12 (2001-2002), Rent og rikt hav.

Summary

The Institute of Marine Research is now publishing a book on the ecosystem of the Norwegian Sea. It is based on the research programme *Mare Cognitum* carried out from 1993 to 2000. The book summarises the current knowledge about this ecosystem. In a series of chapters the readers are introduced to the geography, currents and water masses of the area as well as to its key biological components, such as plankton, fish, squids, whales, seals and seabirds.

Petter Fossum og Harald Gjørseter

Sommeren og høsten 2003 ble det arrangert et samarbeidstokt mellom Norge og Russland i Barents- og Norskehavet. Hovedmålene med toktet var å beskrive den hydrografiske situasjonen i Barentshavet, kartlegge forekomstene av dyreplankton, samt kartlegge forekomstene av årets yngel og beregne bestandsstørrelsen på flere kommersielt viktige fiskeslag. I tillegg til dette skaffet en til veie informasjon om forekomstene av sjøfugl og sjøpattedyr.

Fem fartøy, tre fra Havforskningsinstituttet og to fra PINRO, Russland, deltok på toktet som fant sted fra 27. juli til 2. oktober. Toktet inneholdt mange undersøkelser som tidligere har vært gjennomført hver for seg; bunnfisktoktet, 0-gruppeundersøkelsene, et akustisk tokt hovedsakelig for å registrere lodde og polartorsk, fysisk-oseanografiske undersøkelser, planktonundersøkelser, sjøfugl- og sjøpattedyrobservasjoner, et tokt for å registrere sild i den nordlige delen av Norskehavet og vest i Barentshavet, og et for å registrere ungfisk av blåkveite nord og øst av Svalbard. Det ble også tatt prøver av fangst, sedimenter og vannmasser for å påvise eventuelle forekomster av forurensende stoffer (som et ledd i Havforskningsinstituttets overvåking). Figur 7.2.1 viser stasjonsnett og kursfor det norsk-russiske samarbeidstoktet.

De viktigste aktørene i Barentshavet

Barentshavet er et arktisk-borealt økosystem med relativt få biologiske tilbakekoblingsmekanismer. Det som karakteriserer et slikt system er relativt store endringer i biomassen til de viktigste artene over relativt kort tid. De viktigste gruppene er primærprodusenter (planteplankton), konsumenter (dyreplankton; kopepoder og krill), planktonetere (lodde, sild og fiskeyngel) og predatorer (torsk, pattedyr og sjøfugl). Loddene er en nøkkelart som overfører energi fra polarfronten (området hvor atlantehavsvann møter det kalde ishavsvannet) til kystområdet. Dette skjer ved at den omsommeren beiter på dyreplankton og forflytter seg nordover sammen med polarfronten, og senere vandrer inn mot land for å gyte. Den blir da næring for predatorer ved kysten. I perioder med mye ungsild blir loddene rekruttering kraftig redusert ved at silda spiser av loddelarvene, og denne energioverføringen blir da brutt.



Figur 7.2.1

Stasjonsnett og kursfor det norsk-russiske samarbeidstoktet som foregikk i Barentshavet i perioden 27. juli–2. oktober 2003.

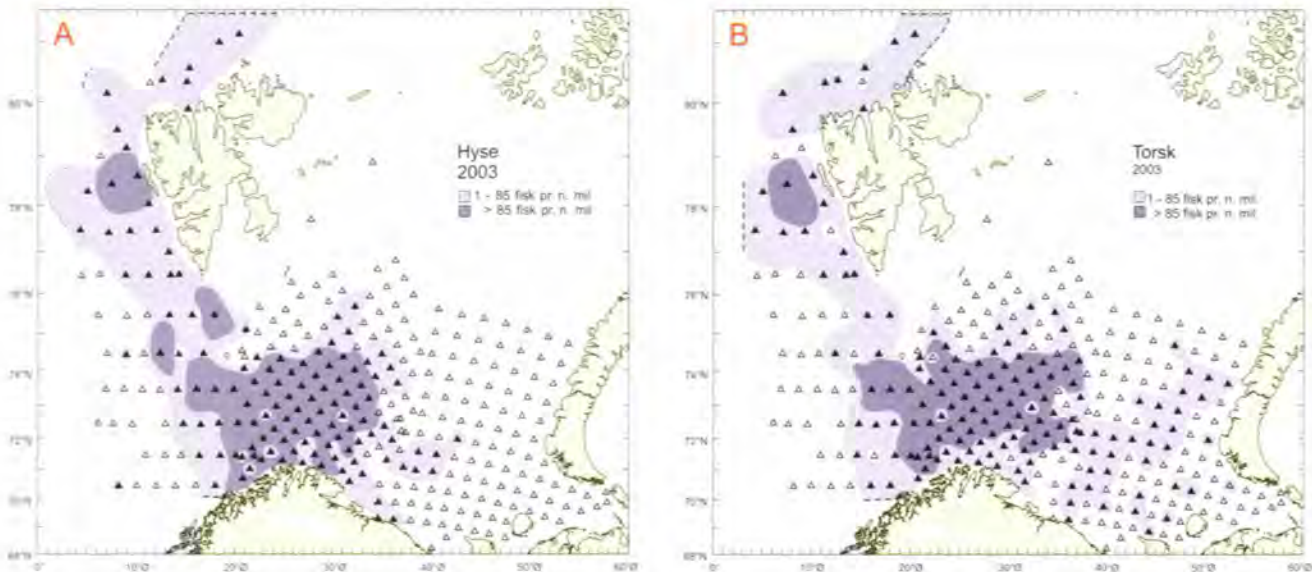
Station grid and cruise tracks for the Norwegian-Russian cooperative survey taking place during the period 27 July–2 October 2003.

Hvordan arbeidet vi?

I starten på toktet ble det bare tatt prøver fra FF G.O. Sars i den nordlige delen av Norskehavet og videre nordover mot Svalbard. På dette toktet ble forekomstene av pelagisk fisk (som lever i de frie vannmassene) mengdeberegnet ved hjelp av akustikk, og det ble tatt prøver av sild, makrell og kolmule. Det ble også gjennomført prøvetaking for å kartlegge 0-gruppefordelingen av fisk og dyreplanktonfordelingen. I tillegg ble sjøpattedyrobservasjoner registrert fortløpende. 5. august startet arbeidet med FF Johan Hjort. På hver stasjon ble det først brukt CTD (for temperatur-, oksygen- og tetthetsmåling), og deretter en grabb for å ta prøver av sedimenter. Alternativt til grabben ble et trekk etter dyreplankton gjennomført. Deretter ble det tatt et hal med Harstadtrål fra overflaten og ned til 60 meters dyp for å fange 0-gruppeindivid av fisk. Arbeidet på stasjonen ble avsluttet med å gjennomføre et bunntrålhal. Alt arbeidet på én stasjon tok ca. fire timer, og vi klarte å gjennomføre prøvetakingsprogrammet på ca. fire stasjoner i døgnet. I tillegg var det observatører til stede på broen i den delen av døgnet der det var mulig å observere sjøpattedyr og sjøfugl.

Vi hadde planlagt å tråle der det ble registrert pelagisk fisk i dyp som ikke inngikk i den rutinemessige innsamlingen. På grunn av problemer med tråldørene ble det imidlertid lite tid til slik tråling. De russiske fartøyene gjennomførte et tilsvarende opplegg som oss, med både pelagisktrål og bunntråling på stasjonene. Den siste halvdel av september ble det gjennomført et tokt med FF Johan Hjort og de to russiske båtene for å registrere lodde og polartorsk i det som har vært kjerneområdet til lodda de siste årene.

delen av det undersøkte området. Silda tilhørte 2000-, 2001- og 2002-årsklassene, og den totale bestanden ble beregnet til å være 3,6 millioner tonn. Fordelingen i Barentshavet er vist i Figur 7.2.4. Her utgjorde 2002-årsklassen den langt største komponenten. Denne årsklassen utgjorde 3 millioner tonn og ble beregnet til å bestå av nærmere 100 milliarder individer. Dette tyder på at den er en meget sterk årsklasse, mye sterkere enn det den ble beregnet til på 0-gruppetoktet høsten 2002.



Figur 7.2.2

0-gruffepfordeling av A. hyse og B. torsk i Barentshavet i august/september 2003.

Young-of-the-year distribution of A. haddock and B. cod in the Barents Sea in August/September 2003.

Hva var de viktigste resultatene?

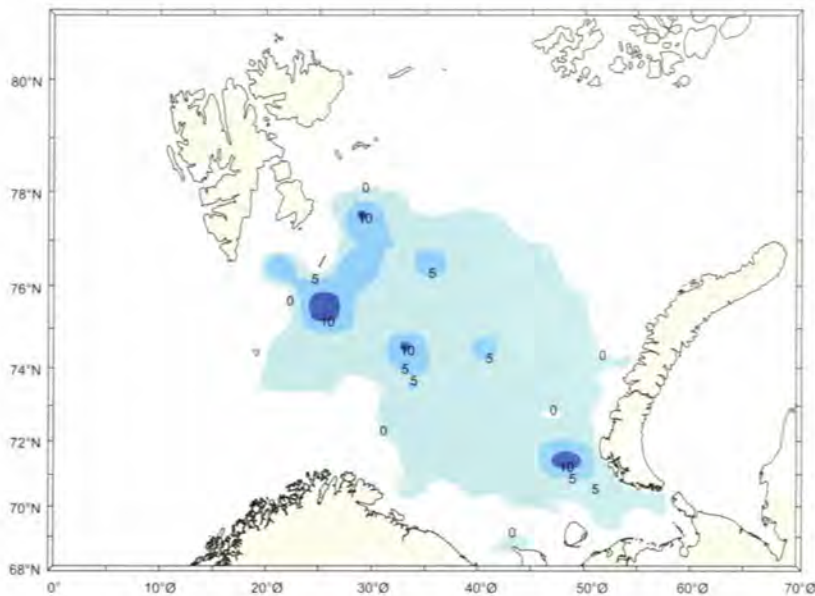
De hydrografiske målingene viste at området var preget av oppvarming i den sørlige delen av Barentshavet og nedkjøling av den nordlige. Saltholdigheten lå rundt langtidsmiddelet. Mesteparten av årets fiskeyngel befant seg i 2003 i den vestlige delen av Barentshavet samt opp mot og rundt Svalbard, mens årsyngelen i 2002 befant seg sentralt og sørøst i Barentshavet med forgreininger helt bort mot Novaja Semlja. Dette indikerer at innstrømmingen av vann til Barentshavet fra det nordlige Atlanterhavet må ha vært svakere i 2003 enn i 2002.

Årets årsklasser av hyse og lodde var sterke, mens torske- og sildeårsklassene lå rundt langtidsmiddelet. Forekomstene av andre kommersielt viktige arter var beskjedne. Den beregnede fordelingen av 0-gruppe hyse og torsk i Barentshavet er vist i Figur 7.2.2. Loddebestanden ble beregnet til å være en halv million tonn, og fordelingen i Barentshavet er vist i Figur 7.2.3. Dette er likevel bare 25 % av det som ble beregnet høsten 2002. Av den totale bestanden er det 300 000 tonn som vil modne i løpet av vinteren, hvis den ikke blir beitet ned. Umoden norsk vårgytende sild ble funnet i den sørlige

Hvordan skal vi utvikle toktet videre til å bli et økosystemtokt?

Samarbeidstoktet var vellykket, men man kan åpenbart forbedre innsamlingsprogrammet ved å ta flere prøver av pelagisk fisk. At årets prøvetakingsprogram ble tilstrekkelig for å kunne beregne bestandene av lodde og polartorsk, skyldes ikke minst at bestandene er blitt så kraftig redusert at de befinner seg i et relativt lite område.

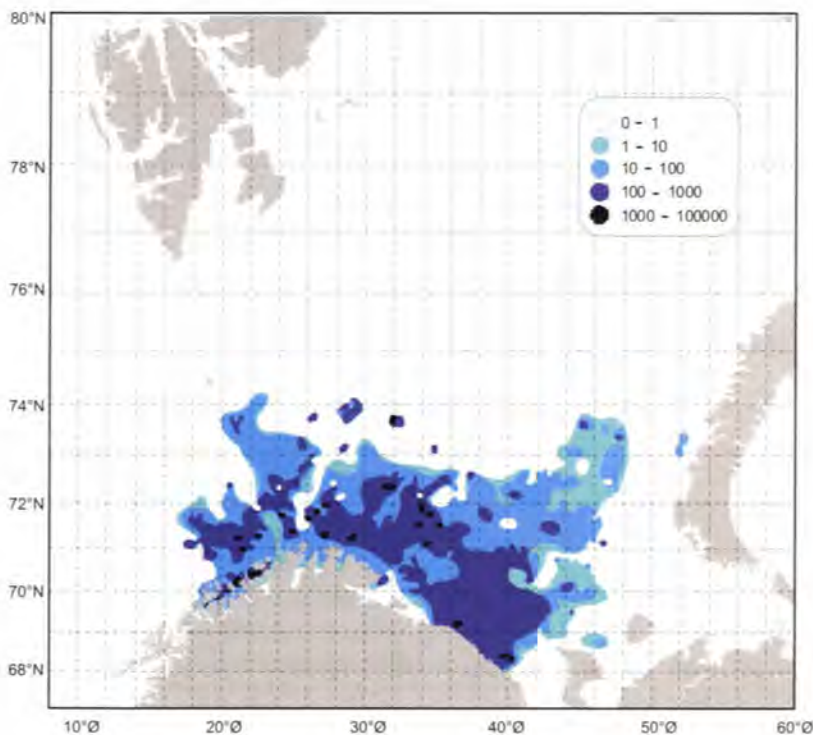
Selv om en får gjennomført en bedre prøvetaking for de pelagiske ressursene, er det likevel et stykke fram for dette kan kalles et økosystemtokt. Årsaken til dette er at det i det nåværende prøvetakingsprogrammet ikke er lagt opp til å undersøke interaksjoner mellom arter. En bør koble predator- og byttedyrregistreringer, og i første rekke gjøre mye mer omfattende mageinnholdsanalyser. Den eneste arten som en foretar mageinnholdsanalyser på i dag, er torsk. Mageinnholdsanalyser må utvides til de andre nøkkelartene i økosystemet, som pelagisk fisk og store dyreplanktonarter. En bør også vurdere å analysere mageprøver fra 0-gruffefisk, annen bunnfisk og toppredatorene i systemet. Bunnfiskens betydning som spiskammer og gjemmeded for



Figur 7.2.3

Fordelingen av loddebestanden (tonn/kvadratnautisk mil) i Barentshavet i august/ september 2003.

The distribution of the capelin stock (tonnes/square nautical mile) in the Barents Sea in September 2003.



Figur 7.2.4

Ekkotetthet (antall nm^{-2}) av umoden norsk vårgytende sild i Barentshavet/ Norskehavet i juli/september 2003.

The acoustic area backscattering (number nm^{-2}) of immature Norwegian spring spawning herring in the Barents- and Norwegian Sea in July/September 2003.

bunnfisk har blitt mer og mer tydelig de siste årene. Bunnkartlegging av våre havområder bør derfor gis høy prioritet i tiden som kommer.

En lærdom fra Norskehavsprogrammet er at det er viktig å ta prøver av predatorer og byttedyr i samme tid og rom. Dette må en også få til i Barentshavet, slik at en gjennomfører en årvisst innsamling av plankton og planktonetere i produksjonsfasen, og da først og fremst av lodda som beiter på sekundærproduksjonen (dyreplankton) i polarfronten.

Et slikt tokt vil kun skaffe et øyeblikksbilde av situasjonen i Barentshavet. For å forstå, og også kunne forutsi, år-til-år-variasjonene i dette havområdet, bør utgangsdatabene fra toktet sammen med andre overvåkingsdata settes inn i modeller for primær- og sekundærproduksjon, samtidig med at en videreutvikler modeller for planktonetere og toppredatorer (ref. Amøbekonseptet, Svendsen 2002). På denne måten vil en kunne forstå og forutsi endringer i systemet på en dynamisk måte, slik at forvaltningen i Barentshavet i fremtiden vil bli mer bærekraftig.

Summary

During late summer and early autumn 2003 a cooperative survey between Norway and Russia was performed in the Barents Sea. The main goals were to describe the physical oceanographical situation in the sea, to map the distributions of zooplankton and young-of-the-year fish and to measure the stock size of several commercial important fish species. In addition, the distributions of sea birds and sea mammals were mapped.

Referanse

Svendsen, E. 2002. The AMOEBE Plan. A model-based and data-driven Operational Ecological Biomass Estimator. ISBN: 82-7461-054-7.

Harald Loeng

I løpet av det forrige århundret økte den globale lufttemperaturen (Figur 7.3.1). I en internasjonal rapport som snart utgis, blir det oppsummert hva som vil skje med klimaet i nordområdene fram mot neste århundreskifte. Denne artikkelen gir en kort beskrivelse av mulige endringer av klimaet i våre områder og noen av de konsekvensene dette vil ha for det marine økosystemet. Det er fortsatt en mengde hull i våre kunnskaper, og til slutt i artikkelen pekes det på noen av disse.

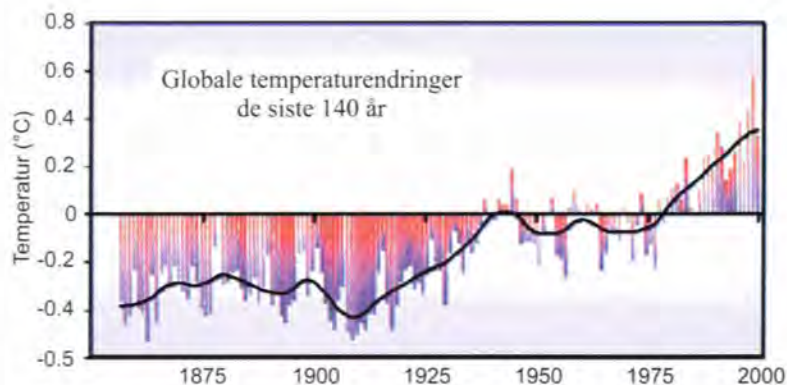
Arctic Climate Impact Assessment (ACIA) er en rapport som utarbeides etter initiativ fra Arctic Council som består av landene Norge, Sverige, Danmark, Finland, Island, Russland, Canada og USA. Rapporten oppsummerer de klimaendringer som er observert i Arktis fram til nå, men hovedvekten er lagt på hva som vil skje i framtiden, basert på de prognoser for utslipp av klimagasser som er lagt til grunn av FN's klimapanel.

Modellene som benyttes til å beregne hva som skjer i framtiden gir veldig varierende resultater når det gjelder forholdene i Arktis, men alle viser at det blir varmere. Et middel av resultatene fra alle modeller viser at lufttemperaturen i våre områder vil stige med 2-4°C i løpet av dette århundret. Modellene sier derimot mindre om hva vi kan forvente av vindforhold, og enda mindre om hva som vil skje i havet. Her må man i stor grad basere seg på de erfaringer man i dag har om hvordan havet oppfører seg under ulike ytre forhold, og så bruke disse kunnskapene til å støtte opp under det man får ut fra modellene.

Isforhold og havstrømmer

Det vil bli store endringer i isforholdene, spesielt om sommeren. Enkelte modeller antyder at hele Arktis vil være isfritt om sommeren allerede i 2050, mens den andre ytterligheten gir minimale endringer. Flere av modellene viser imidlertid at det vil bli lite is i Polhavet om sommeren mot slutten av dette århundret, men usikkerheten er svært stor. Endringene i isdekket om vinteren vil bli mindre. Den mest ytterliggående modellen antyder at Barentshavet vil kunne bli isfritt hele vinteren rundt 2080.

Oppgjennomårene har det vært mye snakk om Golfstrømmen i framtiden, ja, enkelte har gått så langt som til å si at strømmen vil kunne snu. Usikkerheten om hvor sterk strømmen vil bli



Figur 7.3.1

Utviklingen av den globale lufttemperaturen fram til 2000 (IPPC 2001, Climate Change 2001: The Scientific Basis).

Development of global air temperature until 2000 (IPPC 2001, Climate Change 2001: The Scientific Basis).

i framtiden er stor, men en ting er sikkert; Golfstrømmen vil ikke snu. Derimot er muligheten til stede for at Golfstrømmen vil stoppe opp, men sjansene for dette er veldig små. De fleste modeller antyder en reduksjon i strømmen på 25 %, men til tross for dette vil temperaturen i Arktis likevel stige på grunn av oppvarmingen av atmosfæren.

Effekter på det marine økosystem

Generelt vil det framtidige klimaet med stor sannsynlighet føre til økt produksjon av planteplankton i Arktis, og dermed meget sannsynlig til økt produksjon av dyreplankton. Trolig vil dette gi muligheter for økt produksjon av fisk i nordområdene. Artssammensetningen i de ulike marine økosystemer vil trolig bli endret ved at mer varmekjære arter vil trenge inn i områder hvor de tidligere ikke er observert. I Barentshavet er det forventet at de artene som lever der i dag vil trekke nordøstover, og nye arter som makrell vil kunne trekke inn (se *Havets miljø 2001*). Dette vil føre til konkurranse med andre planktonspisende arter som lodde og sild, og hvordan dette vil slå ut i økosystemet er det umulig å si noe om i dag. Virkningene kan bli både positive og negative. Nye arter vil også influere på mattilbudet til torsk, som i dag er den kommersielt viktigste arten. Lodde er i dag den viktigste føden for torsk, og endringer i loddas oppvekstvilkår kan derfor få store konsekvenser.

Sjøpattedyrene vil bli mest påvirket av klimaendringene, siden de er avhengige av isforholdene. For eksempel benytter ringselen isen under kasteperioden. Dersom isforholdene



Foto: Willy Richardsen

Figur 7.3.2

Isbjørnen vil få problemer dersom isdekket minker i Polhavet.
The polar bear faces problems if the ice cover of the Arctic Sea decreases.

endrer seg slik som beskrevet ovenfor, vil ringselen kunne få store vansker i framtiden. Det samme gjelder isbjørn som lever mesteparten av sitt liv på isen (Figur 7.3.2) og finner mesteparten av sin føde her. Et annet faremoment er redusert mattilbud for isbjørnen, som følge av redusert selbestand. Tidligere issmelting og senere tilfrysing vil også medføre problemer for isbjørnen. Et redusert område med isdekke om sommeren vil også føre til store vansker. Isbjørnen får et betydelig mindre leveområde på isen, og de som blir igjen på land når isen forsvinner tidligere, vil også få det svært vanskelig. De pattedyrene som vil kunne dra fordel av en temperaturøkning og mindre is vil være hvalene, som får utvidet leveområdet.

Kunnskapshull

Det er fortsatt en mengde kunnskapshull om framtiden – det er faktisk mer vi ikke vet enn hva vi kan si med sikkerhet. Blant annet er de globale modellene svært usikre på flere områder. Vi vet lite om de framtidige vindforhold, selv om det er flere indikasjoner på at vinden vil øke. Vinden har stor betydning for omrøring av vannmassene, og dermed den framtidige sirkulasjonen, men også for tilførsel av nærings-salter og produksjon av planteplankton. Det siste vil også ha konsekvenser for resten av næringskjeden. Modellen sier også lite om fronter i havet. Fronter dannes der vannmasser med ulike egenskaper møtes, for eksempel varmt og salt atlantehavsvann og kaldere og ferskere arktisk vann. Disse frontene er barrierer for utbredelse både av vannmasser og

av plankton og fisk. For eksempel er det ulike planktonarter i arktiske og atlantiske vannmasser, og fisk som sild og torsk er sjelden å finne på den kalde siden av fronten. Derfor er frontenes posisjoner i framtiden av stor betydning når det gjelder utbredelsen av flere marine arter.

Videre vet vi lite om sirkulasjonen i havet. Hva vil skje med Golfstrømmen? Vil den bli redusert i styrke slik mange antyder, og hvilke konsekvenser vil dette få for økosystemene? Hva skjer med de enkelte bestandene dersom det blir endringer i gytetidspunktet som følge av klimaendringer? Vil for eksempel torsken også i framtiden gyte på samme tid som raudåta slik at torskelarvene får mat? En rekke slike spørsmål kan vi stille, og kun forskning vil bidra til å gi svar på disse spørsmålene.

Hvordan løse utfordringene?

Marin forskning er både dyrt og tidkrevende, spesielt i områder dekket med is. Det vil være nødvendig å utvikle ny teknologi som kan gjøre observasjonene bedre og raskere enn i dag. Det er også viktig å få utviklet teknologi som gjør at man kan få observasjoner fra områder som man i dag vet lite om, og spesielt observasjoner fra vinterhalvåret.

Modeller er et nyttig verktøy som gir utfyllende opplysninger om klimasystemene i rom og tid der en ikke har observasjoner. For å få sikrere viten om framtiden må vi ha bedre modeller som bedre knytter sammen det som skjer med havet, isen og

atmosfæren. I dag er blant annet regnekraften en begrensning. Med den raske teknologiske utviklingen vi har, vil vi forhåpentligvis ha betydelig bedre resultater innen få år. Da må også det som skjer i havet få mer fokus.

Den sikreste måten å fastslå at klimaet endrer seg på er gjennom overvåkning. Lange tidsserier er den metoden som best fastslår hva som skjer med klimaet i havet. Overvåkning vil også fortelle hvilke effekter klimaendringer har på de marine økosystemene, dersom man observerer de riktige tingene. Lange tidsserier representerer i dag også det beste forskningsgrunnlaget vi har for å si noe om utviklingen, og derfor må disse tidsseriene opprettholdes også i framtiden.

Summary

Some of the conclusions of relevance for Norwegian areas from the chapter on Marine Systems in the report on Arctic Climate Impact Assessment (ACIA) are summarized. The Arctic thermohaline circulation (THC) is a critical component of the Atlantic THC. A reduction of the Atlantic THC is likely, while a complete shut-down is considered unlikely but not impossible. If the Arctic THC is reduced, it will affect the global thermohaline circulation and thus the long-term development of the global climate system. Most of the present ice-covered Arctic areas will very likely experience reductions in sea ice extent and thickness, especially in summer. Equally important is that there will be earlier ice melt and later freeze up.

In areas of reduced ice-cover, primary production is very likely to increase, which in turn may result in increased zooplankton and possibly fish production. Sea-ice reduction will very likely decrease the natural habitat for polar bears, ringed seals and other ice-dependent species.

There are many gaps in our knowledge of the interaction between the atmosphere and the ocean, and of the effects of a changing climate on marine ecosystems. We need more information before we are able to reduce the high uncertainties surrounding the predicted responses to climate change. Filling these gaps can only be achieved via monitoring and research, some requiring long-term effort.



På grunn av risiko for uvær, gir vismannen i *Kongspeilet* (ca. 1250) råd om ikke å ferdes på havet om vinteren. Når dagens visdom skal gi Stortinget råd om helårlig oljedrift i Barentshavet, levnes ikke uvær en tanke. Når Olje- og energidepartementet (OED) har utredet konsekvenser for helårlig oljedrift i Barentshavet, har det utrolig nok ikke vurdert værforhold og vanskelig værvarsling.

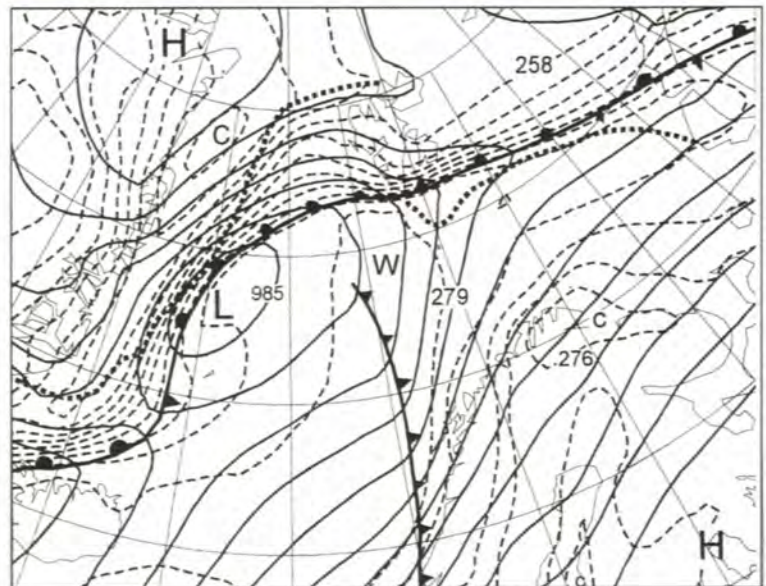
Det ufattelige har skjedd at OED har maktet å bruke en milliard til utredninger uten å utrede det fysiske miljøet som været representerer. I sammendragsrapporten står det bare følgende: *Vind/bølgeforhold er generelt ikke funnet å være mer utfordrende i Barentshavet enn i andre norske havområder.* Dette er en konklusjon som i beste fall er tatt på sviktende grunnlag. I de tusenvis av sider som grunnlagsstudiene representerer, finnes bare fem sider om vær og klima. Det som står der vitner i tillegg om liten kunnskap om de faktiske forhold.

Ferdsel på havet i barskt vinterklima har alltid hatt sin pris; forlis og tap av menneskeliv har hørt til hverdagen for folk langs kysten helt til i dag. I moderne tid har vi i tillegg fått risiko for miljøkatastrofer som oljesøl. Den tekniske utviklingen har gjort mange aktiviteter til sjøs mindre avhengig av været enn tidligere. Likevel, vær og værvarsling er fremdeles en dominerende faktor i spørsmål om sikkerhet til sjøs, både for skipsfart, fiske og oljeaktivitet.

Dersom det skal åpnes for helårlig utvinning av olje og gass i Barentshavet, er alle enige om at det i så fall må stilles minst samme krav til sikkerhet som i Nordsjøen. Vær og klima er på mange måter strengere i Barentshavet enn i Nordsjøen, og værvarsling vanskeligere. Derfor må det settes strengere marginer for dette i Barentshavet enn i Nordsjøen. En utbygging vil kreve at spesielle værforhold i nord, og deres konsekvenser for oljeaktivitet, må studeres nøye.

Spesielle værforhold

Det er flere værforhold i nord som skiller Barentshavet fra Nordsjøen, slik som lave temperaturer



Figur 7.4.1

Værkart fra Norskehavet–Barentshavet med en arktisk front 18. februar 1984. Kartet viser koter for trykk (isobarer, hele linjer) og temperatur (isotermer, stiplede linjer) ved overflaten. Fronter er tegnet som tykke streker, og iskanten vist med en tykk stiplet linje. Fronten langs iskanten er en arktisk front (se teksten). Nord for denne fronten er det store temperatur- og trykkforskjeller og relativt sterk vind (isobarene ligger tett).

Weather map from Norskehavet–Barentshavet with an arctic front 18 February 1984. The map shows isobars (solid lines) and isotherms (broken lines) at the surface. Fronts are marked as thick lines, the ice edge is shown as a heavy broken line. The front along the ice edge is an arctic front (see the text). North of the front there are large temperature and pressure gradients and relatively strong winds (isobars are close).

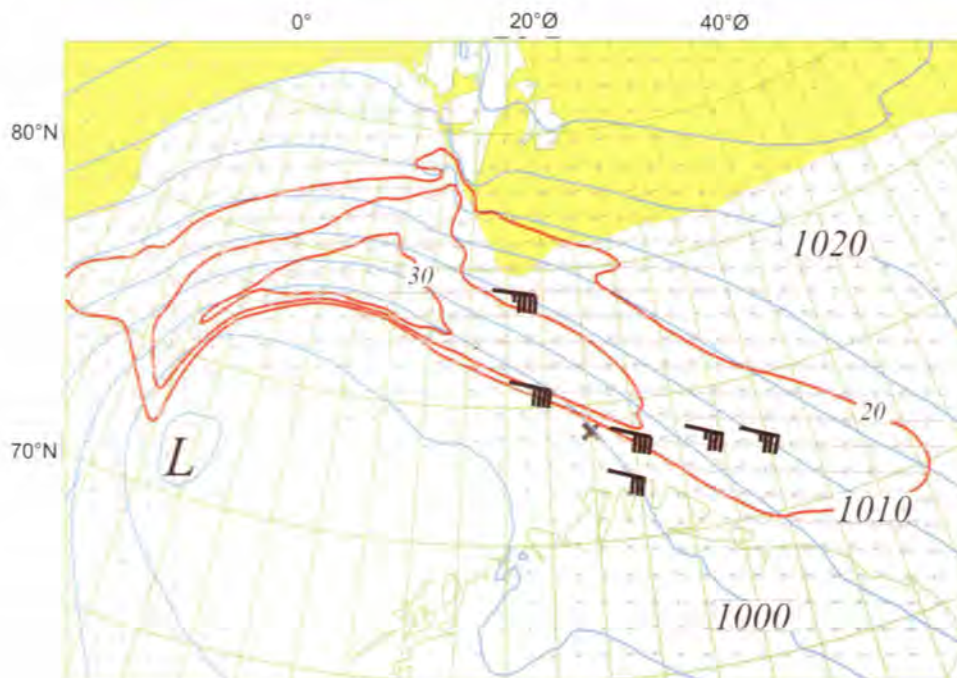
og ising, tåke, snøkave og plutselige værforandringer. Vind, bølger og ising er av størst interesse med hensyn til sikkerheten. Når vindforholdene ved et tidspunkt er kjent over store havområder, kan bølgene beregnes. Men det blir tatt få vindmålinger over Barentshavet, og de vindstasjonene som finnes, ligger gjerne på kysten. Vinden på havet anslås indirekte. Tidligere ble dette gjort ut fra trykkanalyser som meteorologene lager i daglig værtjeneste. Vind- og bølgeklimaet i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet er blitt anslått på grunnlag av slike analyser i en database laget rundt 1980 av Meteorologisk institutt i samarbeid med oljeselskapene. På grunn av mye dårligere datadekning, er kvaliteten vesentlig dårligere for Barentshavet enn for Nordsjøen.

Således fanger ikke databasen opp spesielle værforhold i Barentshavet, som i tillegg til vanlig lavtrykksaktivitet kan gi vind opp til orkan. Disse fenomenene, *polare lavtrykk*, *arktiske fronter*, har relativt liten utstrekning og er derfor vanskelige å varsle. I tillegg kommer visse topografiske forsterkninger av vinden, f.eks. jeter (langstrakt, smalt område med forsterket vind) utenfor kysten av Troms og Finnmark. Slike topografiske forhold er lite undersøkte, men vi vet de blir markante når kalde luftmasser strømmer over fjell. Polare lavtrykk er nevnt i OEDs utredning, men ikke de andre fenomenene.

Arktiske fronter

De spesielle værforholdene er gjerne knyttet til store temperaturkontraster (temperaturgradienter) mellom kald luft over isen i nord og varm luft over hav. Luftmassene dannet over isen avgrenses i sør ved en front, en brå overgang mellom luftmasser, her kalt arktisk front. Nord for denne fronten gir temperaturgradientene trykkforskjeller som gir vind (høyt trykk over isen). På den måten får en et belte med sterkere vind (en jet nær overflaten) nord for fronten. Dette er gjerne vinder fra nord og øst. Når vanlige lavtrykk forflytter seg østover sør for fronten, kommer vinden fra lavtrykket i tillegg til vinden nord for fronten. I Figur 7.4.1 ser vi at kotene for lufttrykk er sterkt sammentrykket på nordsiden av lavtrykket og langs den arktiske fronten, noe som betyr at det her er sterk vind. Storm og orkan er da ikke uvanlig. Noen ganger forflyttes fronten og den kalde luften ut over havet. Under slike forhold, da varmen fra havet kan nå opp i over 1000 Watt per m², dannes det polare lavtrykk.

Hvilke problem slike værforhold kan gi, kan illustreres ved to eksempler. Det ene er været da den britiske tråleren *Gaul* gikk ned nord for Honningsvåg 8. februar 1974 (Figur 7.4.2). Det ble ikke sendt ut nødmelding, og alle 36 om bord



Figur 7.4.2

Værkart 12 GMT for 8. februar 1974 da tråleren *Gaul* gikk ned (posisjon vist ved kryss). Kartet er beregnet i ettertid og viser koter for likt trykk (isobarer, blå linjer), vindpiler og koter for vindstyrke for 20, 25 og 30 m s⁻¹ (røde linjer). Tilgjengelige vindobservasjoner er tegnet inn som piler med stråstreker (en hel strek gir 10 knop, en halv strek 5 knop). Sjøisen er merket gul. Den arktiske fronten er ikke tegnet inn, men går omtrent langs sørligste del av koten for 20 m s⁻¹. Det er sterk vind i et belte nord for fronten med vindstyrke opp i orkan.

*Weather map constructed (hindcasted) for 12 GMT 8 February 1974 when the British trawler *Gaul* went down (the position is shown by a cross). The map shows isobars (blue lines), wind vectors and contours for wind speed 20, 25, 30 m s⁻¹ (red lines). Available wind observations are shown (knots). The arctic front is not indicated, but follows the southern part of the contour for 20 m s⁻¹. There are very strong winds north of the front.*

omkom. Det andre er et uvær der et kystvaktskip rapporterte orkan sør for Bjørnøya 12. januar 1993. I begge tilfellene viste modellberegninger i ettertid orkan knyttet til arktiske fronter, mens det ble varslet sterk kuling. Det er mulig at Gaul ble overrasket av vind med opptil full storms styrke ved at fronten passerte skipet.

Nye undersøkelser nødvendig

Med nye metoder har en fått fram vindmonstre til den sterke vinden som kan dannes ved slike arktiske fronter. Grunnlaget i beregningene er såkalte etteranalyser fra det europeiske værvarslingssenteret i Reading, England. Når disse dataene brukes som inngangsdata for en moderne værvarslingsmodell med høy oppløsning, får en fram de eksponerte sterke vindene og kan beregne bølgeforldene med mye større nøyaktighet. Spesielt er det mulig å ta hensyn til helt ny kunnskap om at enkelte bølger kan vokse på bekostning av andre og gi såkalte *monsterbølger*.

Disse etteranalysene fra 1958 til dags dato har betydelig bedre kvalitet enn den databasen som OED og oljeselskapene har benyttet. Ved å bruke samme teknikk som beskrevet i avsnittet over, er det lett overkommelig å skaffe nye og mye bedre data for vind, temperatur og nedbør. Jeg anbefaler at oljemyndighetene og oljeselskapene gir Meteorologisk institutt i oppgave å lage en slik database til utnyttelse i planlegging av utbygging i Barentshavet. Med utgangspunkt i en slik database kan en utføre nye og bedre beregninger av bølger og ising. Til sammen vil en oppnå langt bedre kunnskap om de spesielle værforholdene.

Værvarslingen må utbedres

I tillegg må det ved oljeutbygging tas hensyn til at værvarsling er vanskeligere i nord enn i sør. Dette skyldes færre observasjoner fra skip og fly og mindre romlig utstrekning

på mange lavtrykk. Bedre værvarsling vil derfor kreve flere observasjoner, f.eks. ville værradar på Andøya og Bjørnøya være til stor hjelp. Militære overvåkningsfly burde foreta regelmessige værobservasjoner mellom Norskekysten og isen i Arktis. Det faste nettet med radiosonderinger fra ballonger på Grønland og Ishavet er særdeles viktig. En økning fra to til fire slipp per døgn ville bidra til sikrere værvarsling. I tillegg kan en utvikle bedre metoder for å utnytte satellittinformasjon i polområdene.

Jeg vil derfor konkludere med at værforholdene i Barentshavet må undersøkes på nytt med nytt datagrunnlag. Det gamle datagrunnlaget som OED bruker, holder ikke, men kan forbedres radikalt med beskjedne utgifter. Det er nødvendig å vurdere observasjonsgrunnlaget for værvarsling på nytt, og sørge for bedre observasjonsdekning i området. Om ulykken skulle være ute en gang i framtiden, må myndighetene og oljeselskapene ikke kunne klandres for hovmod mot naturkreftene i planleggingsfasen.

Summary

The challenge of the weather in the Barents Sea is similar to that found elsewhere in Norwegian waters. This was recently stated by OED, the Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, in a survey on environmental consequences of future oil activity in the Barents Sea. We here argue that the conclusion has been drawn from incomplete knowledge. Wintertime weather in the area is often dominated by phenomena like polar lows and arctic fronts, which cause severe weather characterised by strong winds, rough sea, heavy precipitation and icing. The phenomena have relatively small scales and are hard to forecast. The situation is worsened by scarcity of weather observations. Nevertheless, OED has not at all considered weather forecasting in their extensive investigations.

Lis Lindal Jørgensen og Jan H. Sundet

Økosystemeffekter av kongekrabbe har de seneste årene fått økende oppmerksomhet, og Havforskningsinstituttet utarbeidet i 2003 rapporten "Forskningsplan – Økosystemeffekter av kongekrabbe" (se HIs nettside www.imr.no). Her blir viktige punkt fra planen presentert, sammen med noen aktuelle resultater. Mange av de presenterte resultatene og forslagene til forskningsoppgaver er blitt til i samarbeid med andre forskningsinstitusjoner, bl.a. Norges fiskerihøgskole og Universitetet i Tromsø.

Kongekrabben (*Paralithodes camtschaticus*) ble introdusert til Barentshavet av russiske forskere gjennom flere utsetninger på 1960-tallet, og er i dag utbredt fra Kapp Kanin i øst til Sørøya i vest. Kongekrabben har sin hovedutbredelse i Varangerfjorden og østover på russisk side, men den ekspanderer stadig vestover. Det er rapportert om hyppige bifangster vestover til Porsanger og sporadiske bifangster så langt sørvest som til Loføten. Bestandsanalysene er upresise, men indikerer en betydelig økning i antall krabber, spesielt i løpet av de siste årene. Den store økningen skyldes nye, sterke årsklasser i bestanden. For en oppdatert status av kongekrabbens populasjonsutvikling henvises det til *Havets ressurser 2003* (Fisken og havet, sæmnummer 1-2003).

I perioden 1994–2001 var det hver høst et forskningsfiske etter kongekrabben både på norsk og russisk side i Barentshavet. Totalkvoten har gradvis økt gjennom disse årene, og i 2001 var den norske kvoten på 100 000 individer. Fra og med 2002 ble krabbefisket på norsk side gjennomført som et kommersielt fiskeri. Etter at krabben ble tallrik i Varanger på begynnelsen av 1990-tallet, har den utgjort et betydelig problem som bifangst i det kystnære gam- og linefisket etter torsk og rognkjeks. Bifangstene økte fram til 1999, men har etter den tid gått noe ned. Til tross for at kongekrabben etter hvert har fått en betydelig kommersiell verdi, er den en invasjonstype med de potensielle effekter arten kan ha for økosystemer i fjorder, langs kysten og i åpne havområder.

Effekter på bunndyrsamfunn

I de siste årene har det vært økt interesse for å undersøke hvilken effekt kongekrabben kan ha på bunndyrsamfunn langs norskekysten. Undersøkelser av mageinnholdet hos kongekrabbe fanget på bløtbunn i Varanger, viser at den har mange forskjellige byttedyrarter i dietten, og at små muslinger og børstemark dominerer både høst og vår. Undersøkelser der krabber blir føret i forsøktanker viser at krabben spiser mange typer skjell, og at store skjell blir knust og kjøttet spist (Figur 7.5.1). Skjellkjøtt, i likhet med en rekke andre "lettopploslige" dyr, er nesten umulig å gjenkjenne i mageinnholdet. Mageundersøkelser alene kan derfor ikke vise hva kongekrabben spiser, eller hvilken påvirkning krabben har på bunndyrsamfunn. Hvis vi ønsker å dokumentere effekten



Foto: Lis Lindal Jørgensen

Figur 7.5.1

Kongekrabbe som plukker ut de siste rester av kjøtt fra et haneskjell. Laboratorieforsøk ved Universitetet i Tromsø.
Red king crab is cleaning out the last remains of flesh from the scallop *Chlamys islandica*. Laboratory investigation at the University of Tromsø.

av kongekrabbens beiting på bunndyr langs kysten på en vitenskapelig måte, må vi vite hvordan dyresamfunnet så ut før krabben invaderte området. Slik kan vi påvise eventuelle forandringer.

Et igangværende prosjekt, finansiert av Norges forskningsråd, har som hovedmål å studere kongekrabbens effekter på dyresamfunn på grunt vann, hvor krabben oppholder seg året rundt frem til den blir kjønnsmoden. Prosjektet har tatt utgangspunkt i haneskjellfelt. Haneskjellene og mange av de andre tilhørende dyrene ligger oppå sedimentet, og det går derfor an å følge forandringene i haneskjellsamfunnet i et slikt felt gjennom flere år. Imidlertid befinner de store kongekrabbene seg på dypt vann med bløtbunn gjennom det meste av året. Potensielle effekter som følge av krabbens beiting på denne bunntypen er ukjent. Det planlagte prosjektet MAREANO (Marin areal-database for norske kyst- og havområder) har som mål å lage en beskrivelse av artsmangfold og biomasse fra et nett av prøvelokaliteter. Dersom MAREANO-prosjektet realiseres, vil det bidra med betydelig kunnskap om økosystemeffekter av kongekrabbe, ved at dyresamfunn i store områder langs kysten vil kunne kartlegges og følges over flere år.

Andre økosystemeffekter

Hvorvidt kongekrabben kan ha effekter på høyere trofiske nivåer (fisk, fugl, pattedyr) i norske farvann, vet vi lite om ennå. I Barentshavet finnes det flere kommersielle fiskeslag hvor eggene utvikles og klekkes på bunnen, slik som lodde, rognkjeks og steinbit. Eggene befinner seg på dyp og i områder hvor det kan forekomme store tettheter av kongekrabbe, og de kan derfor være potensiell mat for krabben. En vet for eksempel at

størstedelen av den kjønnsmodne krabbebestanden befinner seg på grunt vann om våren, i de samme områdene hvor rognkjeks, lodde og en del andre ikke-kommersielle fiskearter gyter. Dersom beitingen av kongekrabbe på fiskeegg er betydelig kan det tenkes at den påvirker reproduksjonssuksessen hos de nevnte fiskeslagene. Havforskningsinstituttet har satt i gang en undersøkelse for å kartlegge krabbens mulighet for å spise bentiske (bunntilknyttede) fiskeegg. Gjennom denne undersøkelsen er det dokumentert at krabben spiste på rognkjeksegg.

Kongekrabben kan muligens konkurrere direkte om tilgjengelig føde med fiskearter som spiser bunnlevende dyr (flatfisk, hyse, steinbit). På grunn av størrelsen og adferden kan det også tenkes at kongekrabben er en konkurrent til andre krabbearter som finnes naturlig i vår fauna, slik som trollkrabbe og pyntekrabbe.

Kongekrabbens temperaturavhengige utbredelse

I de første årene på 90-tallet så krabben ut til å holde seg i Varanger-området og på Kolakysten. I den senere tid er imidlertid krabben blitt registrert helt til Nord-Troms og inn i Kvitsjøen, og samtidig er den registrert langt til havs både på norsk og russisk side. På norsk side nærmer den seg Bjørnøya. Undersøkelser av vandring hos voksen krabbe foregår gjennom pågående merkeforsøk. For å finne ut om temperaturen setter grenser for kongekrabbens utbredelse, er det gjennomført innledende studier av temperaturpreferanse hos voksen krabbe. Denne undersøkelsen viste at krabben foretrekker lave (under 4 °C) fremfor høyere temperaturer (over 4 °C). En annen undersøkelse viste at unge kongekrabber skiftet tidligere skall og spiste mer når de oppholdt seg i sjøvann med 8 °C enn med 4 °C. En undersøkelse av temperaturavhengig utvikling hos kongekrabbelarver viste at larver hadde best overlevelse og vekst ved en noe høyere temperatur (6 °C). Kongekrabben er en kaldtvannstilknyttet art, og det er derfor sannsynlig at krabben sprer seg til Bjørnøya og Svalbard.

Viktige forskningsoppgaver og undersøkelser som ennå ikke er påbegynt

Det er en rekke prioriterte forskningsoppgaver i Forskningsplanen hvor det ennå ikke foreligger resultater eller som ennå ikke er blitt påbegynt.

En måte å studere økosystemeffekter av kongekrabben på er å lage et stort laboratorium *in situ* (i naturen). Dette kan gjøres ved f.eks. å hindre at krabben inntar små og utvalgte kystnære områder (små fjorder, bukter eller lignende). På denne måten kan en studere effekter av krabben på et begrenset og oversiktlig bunndyrsamfunn, med og uten krabbe. Det finnes en del eksempler på slike studier i andre land som en kan få kunnskap fra. Slike undersøkelser vil måtte foregå over flere år, og vil kunne inngå som en del av andre rutinemessige innsamlingsprogrammer. Det motsatte, å lukke kongekrabber inne i bur for å studere forandringer i bunnsfaunaen forårsaket av beiting fra kongekrabben, er også aktuelt. Bruk av slike bur på haneskjellfelt er utprøvd på kongekrabbe, og kan bli et naturlig steg videre i oppklaringen av krabbens effekter på bunndyrsamfunn.

Spredningen av kongekrabbe i Barentshavet kan skje både ved vandring av voksne individer, drift av larver med havstrømmene og transport av larver/krabber f.eks. via ballastvann. Sistnevnte måte er høyaktuell i dag på grunn av den økte skipstrafikken i nordområdene (transport av olje og gass). Det er planlagt å utvikle modeller for spredning av kongekrabbelarver med havstrømmer langs kysten av Finnmark. En rapport om ballastvann-problematikken i Barentshavet forventes å gi informasjon om spredningspotensialet for kongekrabben i forbindelse med skipstrafikk.

Kongekrabben kan spre parasitter, symbionter og sykdom i Barentshavet. Det er kjent at en encellet blodparasitt (*Trypanosoma*) hos bl.a. torsk har en igle som mellomvert. Denne iglen benytter krabbeskall som substrat, og finnes til tider i store mengder på kongekrabbe. Det er derfor tenkelig at kongekrabben kan øke spredningen av denne parasitten etter hvert som krabben øker i antall og sprer seg til nye områder. Både iglen og blodparasitten fantes i våre farvann fra før av, og er altså ikke introdusert sammen med kongekrabben, men senere undersøkelser kan tyde på at infeksjonsgraden av parasitten har økt i områder hvor krabbebestanden har vokst de senere årene. Det er ikke kjent hvilken grad av dødelighet parasitten innebærer for torskefisk, men undersøkelser av dette er satt i gang.

Når arter blir flyttet fra sine opprinnelige omgivelser til helt nye områder har det vist seg at det kan skje en tilpasning til det nye miljøet som frambringer andre og helt nye egenskaper hos arten. Genetisk drift er en fellesbetegnelse for slike endringer, som innebærer at arten endrer genetisk karakter i forhold til sin opprinnelse. Spesielt gjelder dette i situasjoner hvor antallet som gir opphav til den nye populasjonen er lavt, noe som må kunne sies å være tilfelle med introduksjonen av kongekrabben. Hos noen arter har det vist seg at slike endringer i egenskaper har hatt omfattende økologiske konsekvenser ved introduksjon til nye områder. Man vet ikke om dette kan være tilfelle hos den introduserte kongekrabben i Barentshavet. Det er derfor viktig å få gjennomført en genetisk karakterisering av arten, både for å undersøke eventuelle genetiske forskjeller mellom kongekrabben i Barentshavet og de opprinnelige populasjonene i Okhotskhavet, og for å etablere et referansemateriale for senere undersøkelser av krabben lenger vest langs kysten av Nord-Norge.

Summary

Russian scientists intentionally introduced the red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) to the Barents Sea in the 1960s. Since then the population of the crab has increased in both Norwegian and Russian regions. The crab has high commercial value, but bycatch is creating problems to Norwegian coastal fisheries. A report, focussing on possible ecosystem effects of king crab, was presented by the Institute of Marine Research in 2003. Preliminary results show that king crab eats several types of native species from the sea bottom including mussels and scallops (e.g. *Chlamys islandica*) and polychaetes, but it may also eat demersal eggs from e.g. capelin. Ongoing and planned research activities are described.

Vivian Husa



Foto: Dag Fosse

Figur 7.6.1

Heterosiphonia japonica fra Raunefjorden i januar 2004.

Heterosiphonia japonica from Raunefjorden January 2004.

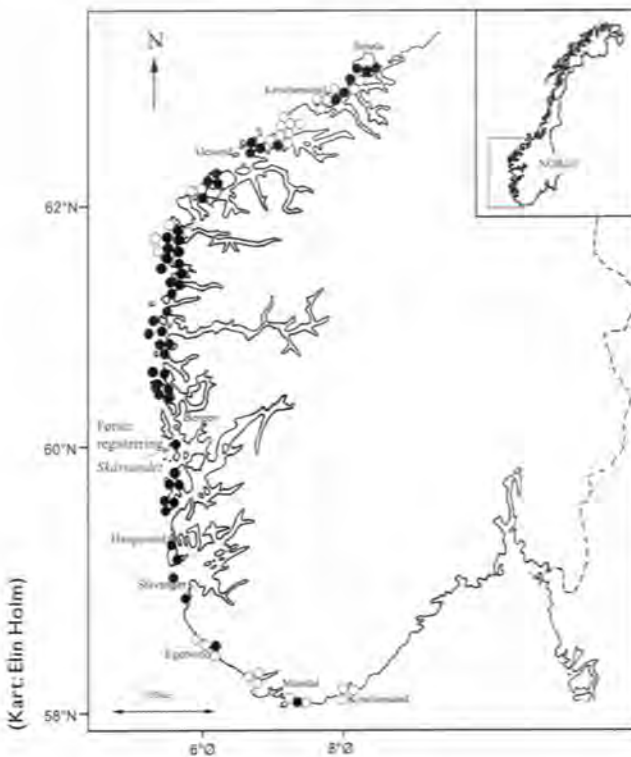
Globale forflytninger av marine arter ved hjelp av mennesker er et økende problem. Makroalger utgjør en betydelig andel av de marine artene som etablerer seg i fremmede farvann. De fleste introduserte makroalger som har etablert seg i europeiske farvann stammer fra Stillehavet, og mange har kommet hit gjennom import av levende østersyngel fra Asia. I Norge er det påvist at 12 nye makroalgearter har etablert seg her de siste hundre årene. Siste skudd på stammen er den eksotiske rødalgen *Heterosiphonia japonica*, som ble registrert på Vestlandskysten for første gang i 1996. Ved Havforskningsinstituttet i Bergen pågår det nå et treårig prosjekt, finansiert av Norges forskningsråd, for å undersøke om forekomster av den eksotiske rødalgen *H. japonica* kan ha negative effekter på algesamfunn langs kysten.

H. japonica er en opptil 30 cm høy buskaktig rødalge (Figur 7.6.1), som er kjent fra både den nordvestlige og nordøstlige delen av Stillehavet. Algen ble første gang registrert i Europa i 1994 i en tom østersdam i Nederland, og arten spredde seg raskt i de indre sjøområdene i landet. Samme år ble den også registrert på den galiciske kysten av Spania, hvor den

særlig i områder med østersoppdrett danner tette bestander. Arten ble registrert på den franske vestkysten i 1996 og den franske middelhavskysten i 1998, også her i områder med skjelloppdrett. I 1996 ble *H. japonica* registrert i Skårsundet sør for Bergen (Figur 7.6.2). Arten har trolig kommet til norskekysten med ballastvann eller annen skipstrafikk fra Nederland.

Utbredelse på kysten av Sørvest-Norge

Vinteren 2000–2001 ble utbredelsen av den nye arten kartlagt på kysten av Sørvest-Norge. Med en trekantskrype ble det tatt prøver fra 83 utvalgte lokaliteter langs kysten fra Kristiansand til Smøla. Prøvene ble tatt mellom 5 og 18 meters dyp. Undersøkelsen viste at *H. japonica* hadde etablert seg fra Mandal til Smøla (Figur 7.6.2). I den nordlige og sørligste delen av det undersøkte området viste *H. japonica* flekkvise forekomster, og algen ble hyppigst registrert på lokaliteter nær havnebyer. Dette kan tyde på at spredningen her trolig har skjedd ved hjelp av båttrafikk mellom havnene. *H. japonica* var best etablert i området mellom Ålesund og Stavanger, hvor den ble funnet på 90 % av de undersøkte lokalitetene. På mange steder ble *H. japonica* funnet i store mengder, og i prøver fra enkelte lokaliteter utgjorde biomassen til



Figur 7.6.2

Geografisk utbredelse av *H. japonica* på kysten av Sørvest-Norge i 2000-2001. Svarte sirkler markerer hvor arten ble registrert, åpne sirkler viser lokaliteter som ble undersøkt uten at arten ble funnet. Geographical distribution of *H. japonica* on the Norwegian southwest coast in 2000-2001. The species was recorded at localities shown as black dots, and was not recorded at localities shown as open dots.

denne algen over 50 % av den totale algebiomassen. Den nye rødalgen har dermed på kort tid blitt en av de vanligste makroalgeartene langs kysten av Vestlandet.

Habitat

H. japonica trives i strømrrike sund og på lokaliteter som er beskyttet eller middels eksponert overfor bølgeaktivitet, men den er ikke blitt registrert på eksponerte lokaliteter. Arten vokser på alle slags substrat og i utstrakt grad som påvekst på andre bentiske alger og dyr (Figur 7.6.3).

En undersøkelse med grabb og ROV i Skårumsundet sommeren 2001 viste at *H. japonica* kan vokse fra nedre del av fjæresonen og minst ned til 42 meters dyp. De største mengdene av arten ble funnet i området mellom 6 og 22 meter. På denne lokaliteten i Skårumsundet vokser *H. japonica* tett på løstliggende kalkalger på 8-14 meters dyp (Figur 7.6.4). I Europa finnes slike 'maerbed' kun langs kysten av Norge, Irland, Skottland og i Middelhavet. Denne typen samfunn, som er kjent for sin høye biodiversitet, er foreslått fredet i flere land. Denne lokaliteten ble tidligere brukt til algeinnsamling i kurssammenheng på Universitetet i Bergen på grunn av den store variasjonen i arter som fantes her, men nå finner man relativt få arter her. Det kan tenkes at grunnen til dette er at *H. japonica* vokser så rikelig at den "tar opp plassen" og utkonkurrerer andre arter, slik at andre alger forekommer sjeldnere.

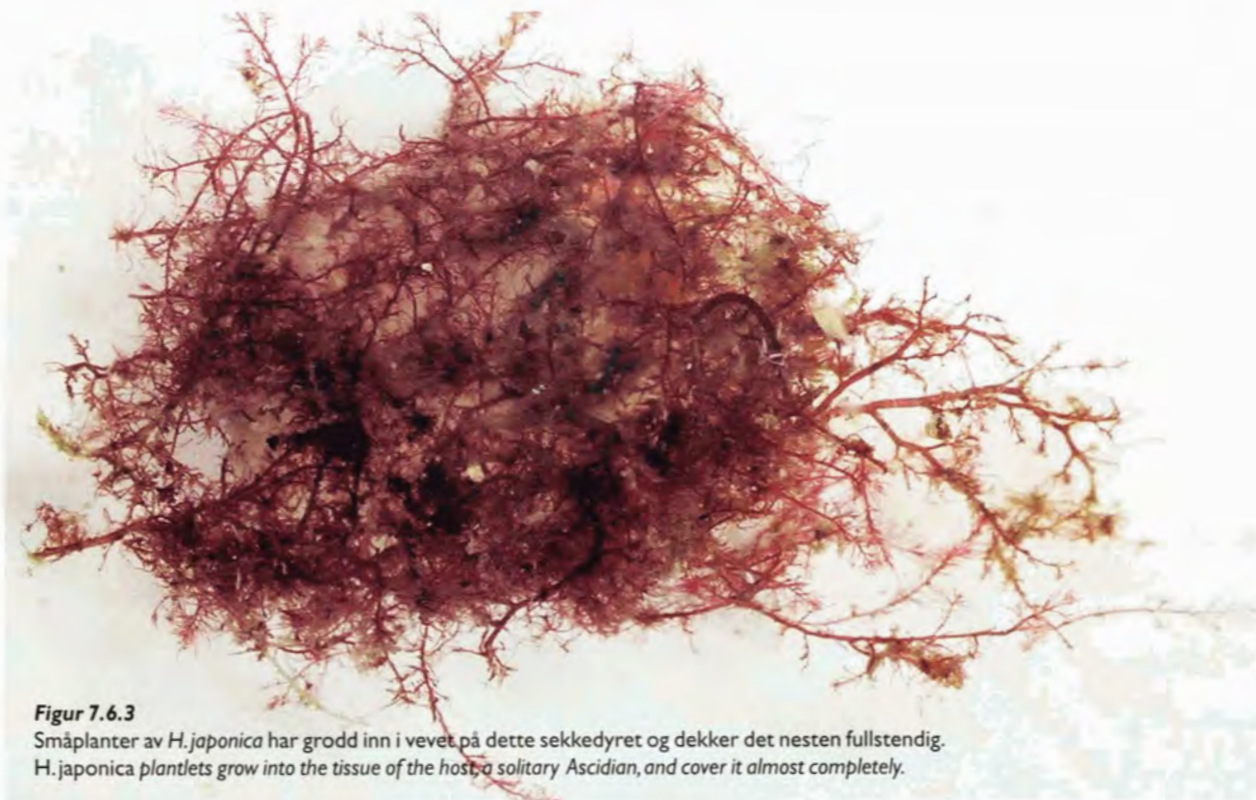
Rekruttering

Lite er kjent om årsaken til *H. japonicas* raske spredning og massive etablering mange steder langs kysten vår. Foreløpige undersøkelser indikerer at *H. japonica* sjelden fullfører en kjønnnet formering i norske farvann. Sannsynligvis er evnen til å kunne rekruttere nye planter fra små sideskudd, som lett felles (Figur 7.6.5 A-D), en medvirkende årsak til den store

suksessen som denne arten har hatt i våre farvann. Det er gjennomført forsøk der disse små sideskuddene er plukket av plantene og dyrket, og de danner da raskt festestrukturer og begynner å spire til nye planter. Slike småskudd, samt større eller mindre biter av algen (fragmenter), er funnet å kunne spire etter 20 dager i totalt mørke (Figur 7.6.5 D), noe som betyr at de vil lett kunne spres til nye områder via ballastvann. Vegetativ formering gjennom fragmentering ser ut til å være et karaktertrekk som er felles for mange suksessfulle, introduserte makroalger. Et godt eksempel på dette er grønnalgen *Caulerpa taxifolia*, som sannsynligvis ble introdusert til Middelhavet ved at den ble sluppet ut fra et akvarium i Monaco i 1986, og som har spredd seg svært effektivt i Middelhavet ved hjelp av fragmenter.

Mulige effekter på lokale økosystemer

Introduserte makroalger kan påvirke lokale økosystemer på flere måter. I den smale eufotiske sonen (eufotisk: med nok lys til fotosyntese) langs kysten konkurrerer de bentiske algene først og fremst om plass og lys. Introduksjon av en ny art som viser seg å være en sterk konkurrent, kan resultere i at lokale arter blir redusert i utbredelse og kanskje forsvinner fra enkelte områder. En enda større forandring i det opprinnelige samfunnet blir det hvis en ny art utkonkurrerer eller har en sterk negativ effekt på nøkkelarter, dvs. arter som har en dominerende plass eller en strukturerende rolle i et økosystem. Introduserte makroalger som opptrer på denne måten kalles for "pestalger", og en regner med at omtrent en av ti etablerte introduserte alger vil kunne ha slike egenskaper. Det finnes ingen rapporter fra Stillehavsområdet som tyder på at *H. japonica* er en problemart i sitt opprinnelige miljø. Det hender imidlertid at en art kan spre seg ukontrollert og forekomme i større mengder når den blir introdusert til nye områder, enn hva som er tilfelle der den opprinnelig forekommer. Et eksempel på det er grønnalgen



Figur 7.6.3

Småplanter av *H. japonica* har grodd inn i vevet på dette sekkedyret og dekker det nesten fullstendig.
H. japonica plantlets grow into the tissue of the host, a solitary Ascidian, and cover it almost completely.

Foto: Dag Fosse



Figur 7.6.4

H. japonica danner tette bestander på løstliggende kalkalger på 10 meters dyp i Skårsundet. Bildet er tatt ved hjelp av ROV, og en gripeklo på ROV-en ble brukt til prøveinnsamling.

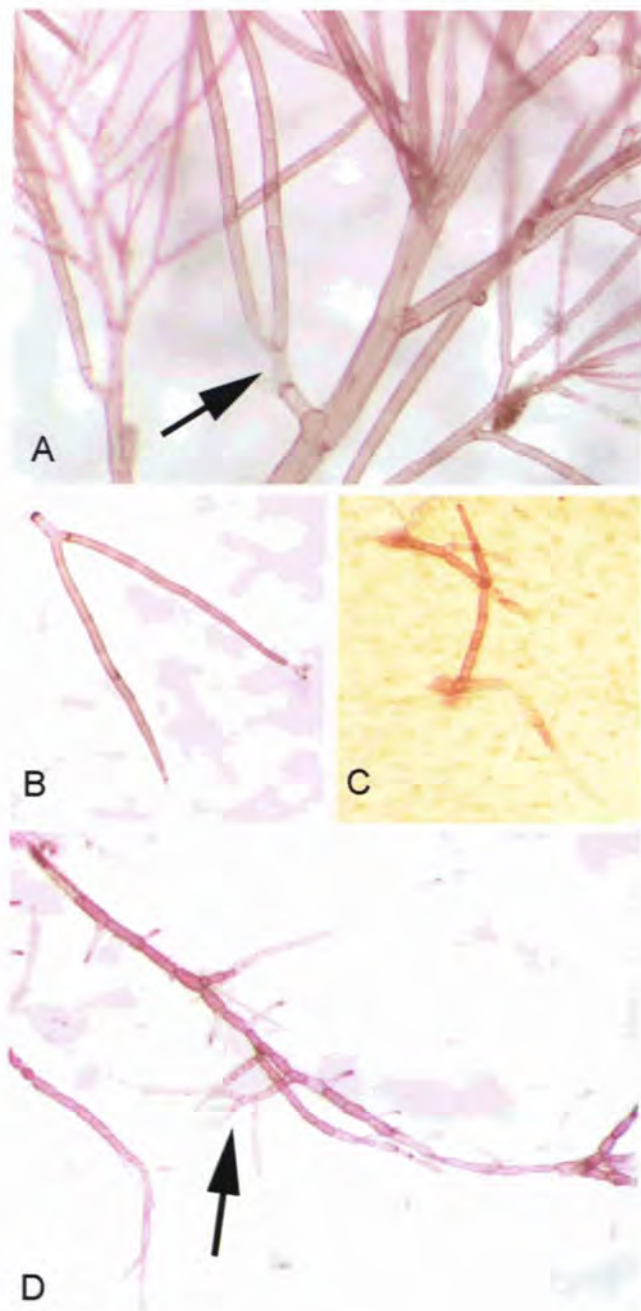
Dense establishment of *H. japonica* in a maerbed at 10 meters depth in Skårsundet. The photo is taken by means of a ROV, and a manipulator arm of the ROV was used to collect samples.

Codium fragile (pollpryd), som kom til europeiske kyster fra Stillehavet i begynnelsen av dette århundret. Verken i Stillehavet eller i Europa forekommer denne arten i spesielt store mengder. Nå har den imidlertid spredd seg til vestsiden av Atlanterhavet, og opptrer der i svært tette bestander.

På verdensbasis finnes det foreløpig få undersøkelser som klart viser negative effekter av introduserte makroalger på lokale økosystemer. Unntaket er den tidligere omtalte grønnalgen *C. taxifolia*, som må regnes som en pestalge i

Middelhavet. Over store områder utkonkurrerer denne arten strukturerende alger og sjøplanter, og påvirker forekomstene av smådyr og fisk i grunne områder.

De tette populasjonene av *H. japonica*, som vi finner mange steder på Vestlandskysten, gir grunn til å tro at denne arten har kapasitet til å påvirke lokale makroalgensamfunn. Dette undersøkes nå ved at lokaliteter der makroalgensamfunnene ble kartlagt i årene 1994-1996, dvs. før *H. japonica* ble registrert i Norge, undersøkes på nytt for å se om det har



Figur 7.6.5

Ukjønnet (vegetativ) formering hos *H. japonica*. A. Om sommeren og høsten er det observert at de små sideskuddene på mange planter løsner og etterlater seg nærmest nakne akser. Pilen viser celledød i den nest nederste cellen på sideskuddet. B. Et løst sideskudd (fragment). C. Fragmenter fra *H. japonica* som har festet seg på bladet til en stortare og begynt å utvikle nye skudd. D. Dette fragmentet har oppholdt seg 20 dager i totalt mørke i 15 °C (etterligning av ballastvannforhold), for deretter å danne nye skudd (pil) under normale kulturforhold.

Asexual reproduction in H. japonica. A. In summer and autumn it is observed that the small side branches in many plants are aborted, leaving almost bare axes. The arrow shows necrosis in supralateral cell of branch. B. Fragment. C. Fragments from *H. japonica* have attached to the lamina of cuvie and developed new shoots. D. This fragment has been kept in total darkness and 15 °C for 20 days (simulation of ballast water conditions) and regenerated willingly in normal culture conditions. The arrow shows a new shoot.

skjedd en forandring i artssammensetningen på lokalitetene. I tillegg vil det bli gjort kontrollerte forsøk der det vil bli undersøkt om *H. japonica* kan utkonkurrere andre algearter.

Summary

The newly introduced red alga *Heterosiphonia japonica* has since its first record in Europe in 1994 established populations in the Netherlands, Spain, France and Norway. In order to investigate the geographical distribution of the species along the Norwegian southwest coast, 83 localities were dredged

and the abundance of *H. japonica* recorded in 2000-2001. *H. japonica* was present in the entire range investigated. *H. japonica* was not present at wave-exposed localities, but was abundant at the more sheltered localities where it could constitute over 50 % of the total algal content of the dredge. Results of ongoing studies suggest that the species has a high dispersal and recruitment capacity. A three-year project, supported by the Research Council of Norway, is now carried out at the Institute of Marine Research in Bergen, in order to study the effect of *H. japonica* on indigenous ecosystems.

Einar Dahl, Tore Aune*, Karl Tangen**, Tonje Castberg, Eli Gustad, Lars Naustvoll, John Aasen*, Lai Nguyen* og Johanne Arff**

De siste årene har vi fått betydelig mer kunnskap om, og erfaringer med, giftige planktonalger i norske farvann. Det skyldes ikke minst et strategisk instituttprogram (SIP), finansiert av Norges forskningsråd, med tittelen "Marine algal toxins, ecology, analysis and toxicology". Dette startet i 2000 og avsluttes i 2004, og her oppsummeres viktige resultater fram til nå.

I programmet samarbeider Norges veterinærhøgskole, Veterinærinstituttet og Havforskningsinstituttet om 1) utvikling av analysemetoder for algegifter, deriblant immunologiske metoder (ELISA-metoder) for enklere påvisning av gifter, 2) isolering og identifisering av nye algegifter, 3) studier av forekomst og økologi til giftige alger, inkludert variabilitet i giftighet, og 4) toksikologiske og patologiske studier av relevante algegifter. Også gjennom den løpende overvåkingen av algegifter i skjell langs kysten, i regi av Statens næringsmiddeltilsyn (SNT) (fra 2004 Mattilsynet), får vi stadig ny kunnskap om gifthalger. Mattilsynet baserer seg nå på bruk av kjemiske metoder for påvisning av algegifter. Figur 7.7.1 viser en samlet oversikt over SNTs kostholdsråd for 2003. Norske institusjoners egen overvåking og forskning på algegifter, og kontakt med utenlandske forskningsmiljøer, er også viktig for å bygge opp mer kunnskap om gifthalger.

Ny kunnskap de siste årene

Denne korte gjennomgangen av ny kunnskap omfatter både nytt om de "klassiske" problemene og informasjon om nye giftproblemer. Algegifter er kjemisk sett en svært uensartet gruppe. De siste årene har man delvis gått over fra å analysere algegifter ved hjelp av musetester til å bruke kjemiske analyser. Dette har resultert i at vi har fått mye ny kunnskap om algegifter. Disse kjemiske testene involverer i hovedsak bruk av høytrykks-væskeskromatografi (HPLC), ofte i kombinasjon med massespektrometri (LC-MS) og immunologiske metoder (ELISA-metoder). Vi gjennomgår her ulike grupper av algegifter, gamle kjente og nye, og fokuserer på den nye kunnskapen vi har fått i løpet av de siste årene.

Lammende (paralyserende) gifter (PSP-gifter)

De siste års systematiske overvåking har bekreftet at alger med lammende gifter forekommer langs hele kysten, fra

svenskegrensen til grensen mot Russland. Forgiftningsfare ved konsum av skjell kan ikke utelukkes noen tid på året. I 2003 var den imidlertid størst i april-juni i Sør-Norge og i mai-august i Nord-Norge (Figur 7.7.1), et mønster vi også har sett andre år. Arter av slekten *Alexandrium* er de viktigste potensielle kildene til PSP-gift i skjell, men disse kan ha varierende grad av giftighet. Arten *A. ostenfeldii* synes å være mindre giftig enn artene *A. tamarense* og *A. minutum*. Også innen en og samme art synes giftighetsgraden å variere, og det er mulig at vi i Norge kan ha en nord-sør gradient i giftighet av *Alexandrium*, med mest giftighet per celle i nord. I mai 2003 akkumulerte skjellene langs kysten av Skagerrak relativt mye PSP-toksiner, selv om bare få *Alexandrium*-celler ble registrert i sjoen. Fra andre land er det kjent at bakterier kan være kilde til PSP-toksiner i skjell, og dette er noe som bør undersøkes nærmere også for norske forhold.

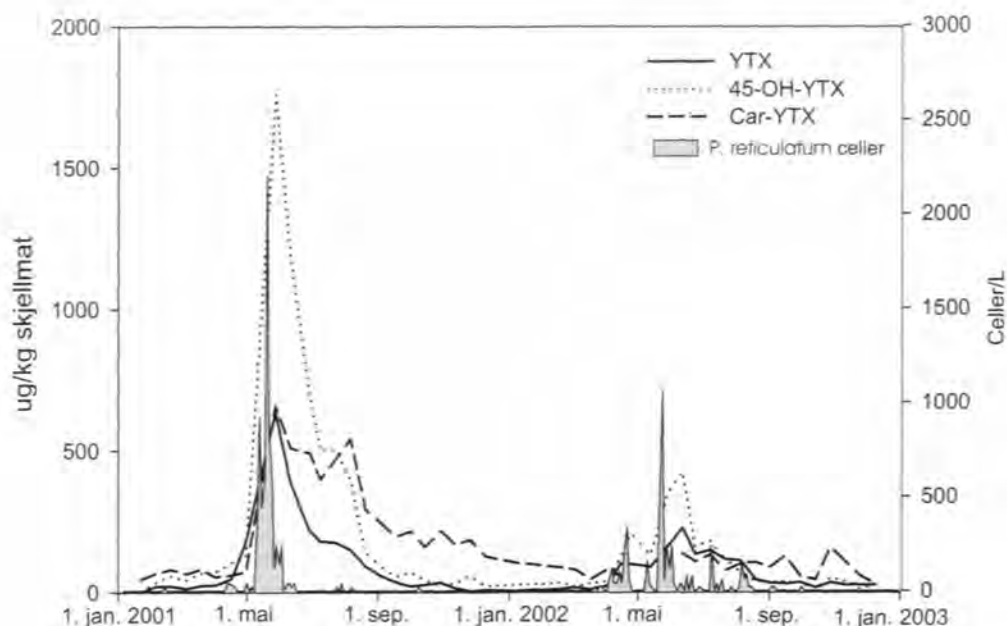
Problemene med paralytiske gifter i skjell kan variere mye fra sted til sted og også mellom år på samme lokalitet. De siste årene sett under ett har imidlertid ikke problemene med PSP-gifter vært spesielt store. Bruk av kjemiske metoder har avdekket at det klassiske saxitoksinet er vanligste PSP-gift i norske skjell, men flere andre av de mer enn 20 forskjellige lammende giftene som er kjent finnes også i mindre mengder.

Diarégivende gifter (DSP-gifter)

Inntil for få år siden ble yessotoksiner og pectenotoksiner inkludert i de diarégivende giftene fordi de blir fanget opp med den samme musetesten. Nå regner vi bare okadasyre med dens derivater til de diarégivende giftene. Dinoflagellaten *Dinophysis acuta* er en sannsynlig kilde til DSP-gifter i skjell, og faregrensen for denne algen er blitt skjerpet. Problemet med diarégifter i skjell fører til de fleste høsteforbud av skjell gjennom året (Figur 7.7.1). I løpet av de siste fem årene er betydelige mengder *Dinophysis* og også diarégifter i skjell påvist helt nord i Finnmark. Det kan derved synes som om problemet med *Dinophysis* og DSP-gifter har bredt seg nordover, men fortsatt er skjell fra Skagerrak og de indre deler av fjorder på Vestlandet hyppigst og mest giftige. DSP-gifter kan transporteres i næringskjeden, slik at organismer som beiter på blåskjell kan oppkonsentrere disse giftene. Dette var tilfellet sommeren 2002, da taskekrabbe langs kysten av Skagerrak oppkonsentrerte diarégifter i slike

* Norges veterinærhøgskole, Institutt for mattrygghet og infeksjonsbiologi

** OCEANOR



Figur 7.7.2

Sammenhengen mellom forekomst av *Protoceratium reticulatum* (celler l^{-1}) i sjøen og ulike yessotoksiner (YTX, 45-OH-YTX, Car-YTX) i blåskjell ($\mu\text{g kg}^{-1}$ skjellmat). Data fra Flødevigen i 2001 og 2002.

Relationship between occurrence of *Protoceratium reticulatum* (cells l^{-1}) in the sea and yessotoxins (YTX, 45-OH-YTX, Car-YTX) in mussel meat ($\mu\text{g kg}^{-1}$). Data from southern coast of Norway, Flødevigen Bay, 2001 and 2002.

mengder at noen personer ble syke etter krabbekonsum. Episoden førte til at SNT i 2003 igangsatte en overvåking av algegifter i krabbe. Imidlertid ble det da bare funnet spormengder av DSP-gifter i krabber, og det var ingen risiko for forgiftninger ved krabbekonsum i 2003. Fra 2000 av har kjemiske metoder vært brukt av Veterinærhøgskolen for påvisning av diarégivende gifter i overvåknings- og rådgivningssammenheng.

Yessotoksiner (YTX-gifter)

Vi vet nå at dinoflagellaten *Protoceratium reticulatum* er en viktig kildeorganisme til disse giftene (Figur 7.7.2), og det pågår en kartlegging av hvorvidt andre arter også kan produsere denne giften. Norsk forskning har vært banebrytende for kunnskap om giftigheten av YTX-gifter, og bidratt sterkt til å utvikle pålitelige kjemiske påvisningsmetoder. Man kjenner ikke til forgiftninger av mennesker av YTX-gifter, men i dyreforsøk har de i høye doser skadet hjertemuskelen. Ny kunnskap har ført til at faregrensen for disse giftene er hevet betraktelig. For tiden analyseres alle skjellpartier for salg både med kjemisk metode og musetest, og den nye grenseverdien overskrides meget sjelden. Det har ført til at YTX-gifter, som for bare få år siden gav positive utslag på musetester for DSP-gifter og derved ofte bidro til høsteforbud, i dag knapt er årsak til høsteforbud av skjell i Norge.

Pectenotoksiner (PTX-gifter)

Kunnskapen om PTX-gifter er relativt begrenset, men samtidig synes også problemet med slike gifter i skjell å ha lite omfang her i landet. I Norge hadde vi en episode med PTX-gifter i skjell i Trøndelag vinteren 2002. En samtidig og forholdsvis stor forekomst av dinoflagellaten *Dinophysis acuta* i området indikerte at den kunne være kildeorganismen. Senere har bruk av kjemiske analysemetoder for PTX-gifter bekreftet at *D. acuta* kan inneholde disse. Nye forskningsdata, som ble framlagt under en konferanse i New Zealand i november 2003, indikerer at både PTX- og YTX-gifter er lite potente overfor mennesker. I dyreforsøk er det vist at PTX-gifter gir skade på leveren i høye doser.

Gifter som kan gi hukommelsestap (ASP-gifter)

De siste årene har ASP-gifter nesten årvisst ført til perioder med høsteforbud av kamskjell i Skottland. Den viktigste ASP-giften ble tidlig identifisert som en aminosyre, domoisyre. Det er særlig arter innen kiselalgeslekten *Pseudo-nitzschia*, som er vanlig langs vår kyst, som kan inneholde ASP-gifter. For fem år siden ble musetesten for PSP-gifter også brukt for å identifisere ASP-gifter i skjell, ved å forlenge observasjonstiden. Imidlertid var følsomheten så lav at man kun observerte eventuelle ASP-gifter fra ca. to ganger grenseverdien for menneskelig konsum. En analytisk metode for ASP-giftene er nå heldigvis utviklet og internasjonalt

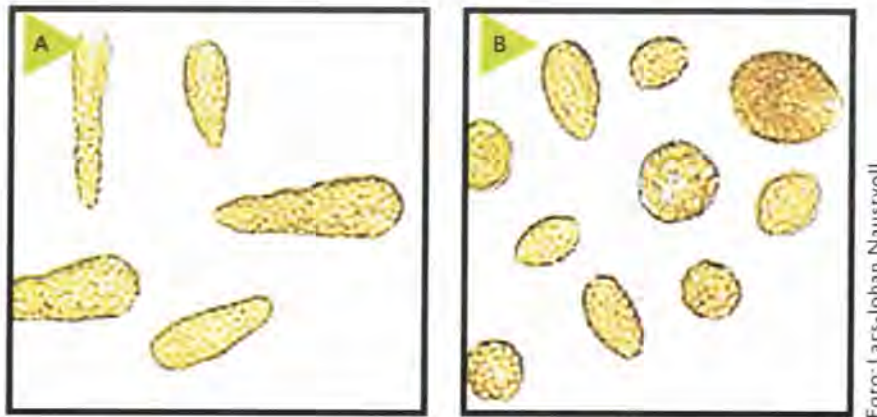


Foto: Lars-Johan Naustvoll

Figur 7.7.3

Ulike former av *Chattonella* aff. *verruculosa* i kultur. A. Typiske avlange celler under optimale betingelser. B. Runde og ovale former under sub-optimale betingelser.
Chattonella aff. *verruculosa* in culture. A. Common elongated cells growing under optimum conditions. B. Round and oval cell morphology under sub-optimum conditions.

godkjent. Ved Norges veterinærhøgskole har ASP-gifter i både blåskjell og kamskjell langs kysten vært overvåket med denne metoden fra 2001. Dette har avdekket at giften finnes både i kamskjell og blåskjell langs vår kyst, men bare ved et par anledninger har nivået vært så høyt at man har gått ut med kostholdsrad. Det siste tilfellet var ved Molde i juni 2003, da blåskjell fikk et relativt høyt innhold av ASP-gifter under en oppblomstring av *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (Figur 7.7.1). Disse episodene har vært lokale og kortvarige, men indikerer at vi har en potensiell forgiftningsfare fra ASP-gifter ved konsum av skjell også langs vår kyst.

Azaspiracider (AZA-gifter)

Forgiftning med AZA-gifter etter konsum av skjell ble første gang registrert på vestkysten av Irland tidlig på 1990-tallet. Symptomene ligner dem en får av diarégivende gifter (DSP-gifter), men symptomene kan vare lenger, og i dyreforsøk har de i høye doser gitt en rekke skadeeffekter på andre organer. Det tok noen år før man identifiserte giftstoffene. Fortsatt er det vanskelig å få tak i standardmateriale slik at pålitelige kjemisk analyser (LC-MS analyser) kan utføres. Kolleger fra Irland har tidligere hjulpet oss å se etter AZA-gifter i norske skjell, og små mengder er blitt påvist. Fra 2002 har vi hatt egen overvåkning av AZA-gifter i skjell, og i 2003 påviste vi for første gang verdier over faregrenser for forgiftninger (Figur 7.7.1). Det skjedde både helt i syd og i nord, og førte til høsteforbud for enkelte skjelldyrkere. Om dette er et problem som vil tilta, kan bare tiden vise. I Irland har AZA-gifter i skjellene vært et nokså stort problem enkelte år. Giften kommer gjerne sent på året, og kan bli værende i skjellene gjennom mye av vinteren. Ulike arter av dinoflagellatslekten *Prorocentrum* har vært pekt på som kildeorganismer, men foreløpig er dokumentasjonen sparsom.

Spirolider

Spirolider er en relativt ny algegiftgruppe som først ble påvist i Canada midt på 1990-tallet. De er assosiert med oppblomstring

av algen *Alexandrium ostenfeldii*. Gifter fra denne gruppen er i Norge blitt påvist i skjell og alger fra indre del av Sognefjorden i 2002/2003. *A. ostenfeldii* er relativt vanlig på kysten og i fjordene, men store oppblomstringer er ikke kjent. I Norge er det påvist spirolider i skjell ved ganske små konsentrasjoner av *A. ostenfeldii*. Det er foreløpig ikke nok datagrunnlag for fastsettelse av faregrenser, og det er indikasjoner på at algen bare er giftig i en spesiell morfotype eller et spesielt cellestadium. Man kjenner ikke den eventuelle helserisikoen av spirolider overfor mennesker. Det er et nært samarbeid med kolleger i Canada for å bedre kunnskapen om spirolider.

Fissegifter (ichthyotoksiner)

De fem siste årene har problemene med store algeoppblomstringer som dreper fisk vært relativt små langs vår kyst. De klassiske problemalgene og -slektene *Karenia mikimotoi* (tidligere navn *Gyrodinium aureolum*), *Chrysochromulina* og *Prymnesium* har ikke dannet store oppblomstringer. Unntakene er noen episoder av fiskedød i Nord-Norge, som kan ha vært forårsaket av mer lokale og kortvarige forekomster av *Chrysochromulina leadbeateri*.

Derimot har vi hatt oppblomstringer av *Chattonella*, som er en forholdsvis ny problemalge i norske farvann. *Chattonella* har etablert seg i Skagerrak og Kattegat, hvor den blir observert i perioden fra januar til mai hvert år i varierende tetthet. I Skagerrakregionen har det vært tre større oppblomstringer, i 1998, 2000 og 2001. Analyser av disse tre oppblomstringsforløpene er blitt gjort gjennom EU-prosjektet HABLE, der Havforskningsinstituttet samarbeider med forskningsmiljø i Danmark og Sverige. Et annet samarbeidsprosjekt, organisert av Havforskningsinstituttet, er finansiert av Norges forskningsråd og har fått fram kunnskap om artens biologi og systematiske tilhørighet. Resultatene av avanserte taksonomiske studier, utført av kolleger ved Universitetet i Oslo, viser at *Chattonella* aff. *verruculosa*, som opptrådte i 2001, skiller seg så klart fra *Chattonella*-slekten at

den ikke hører hjemme der, men bør gis en annen plassering i det taksonomiske system. Hvorvidt andre *Chattonella*-arter også bør flyttes, er uvisst. *Chattonella* aff. *verruculosa* er en typisk kystart med vid toleranse for ulike saltholdigheter, men med optimal vekst i saltholdigheter fra 20 til 33. Arten er tilpasset kaldt vann, og vokser best ved temperaturer mellom 5 og 10 °C. Det har vist seg at utseendet til arten varierer mye. Avlange, store celler dominerer ved optimale betingelser, og runde og ovale ved sub-optimale betingelser (Figur 7.7.3). Resultater fra undersøkelser av sedimentprøver i etterkant av oppblomstringen i 2001 tyder på at arten har hvilestadier i sedimentet. Disse hvilestadiene kan være utgangspunkt for nye oppblomstringer. De videre undersøkelsene vil ta for seg betydningen av næringssalter, beiting, hvilestadier og livssyklusen for vekst og overlevning av *Chattonella* aff. *verruculosa*.

Summary

During the last years chemical methods, such as HPLC, LC-MS and ELISA, have been introduced for analyses of algal toxins in Norway, both for regular and scientific purposes. This has brought new knowledge about toxic algae and algal toxins in shellfish in Norwegian coastal waters. PSP-toxins

may occur in mussels all along the coast, with saxitoxin as the main component. The relationship between presence of the source algae, *Alexandrium* spp., and the mussel toxicity is generally poor. *Dinophysis acuta* is the most potent source for DSP-toxins in mussels, and in 2002 such toxins were also detected in brown meat in crabs above quarantine levels. Yessotoxins are common in Norwegian mussels, but very seldom above quarantine levels. The dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* has been identified as an important source for yessotoxins in Norwegian mussels. Pectenotoxins were found in mussels from mid-Norway in 2002, and *Dinophysis acuta* was identified as the most likely source. The ASP-toxin domoic acid was for the first time recorded at quarantine level in blue mussels in mid-Norway in June 2003. In 2003 azaspiracids were found in mussels for the first time in Norway. Spirolides, toxins relatively recently described from Canada, have also been found in Norway, but the problem is so far considered to be small. A likely source-algae is *Alexandrium ostenfeldii*, which occurs along the coast although seldom numerous. The most common ichthyotoxic algae in Norwegian waters in recent years is *Chattonella* aff. *verruculosa*, which is an euryhalin coldwater species.

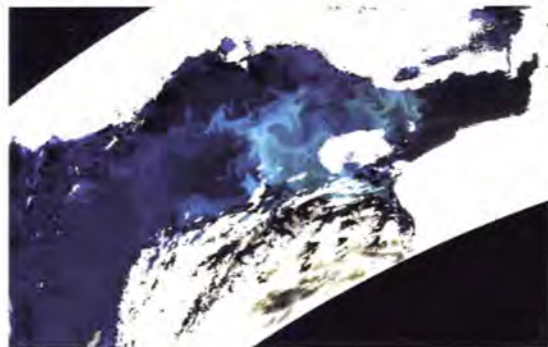
Helge Sagen og Padmini Dalpadado

CoastWatch er et ESA-prosjekt (European Space Agency), og en del av det større prosjektet Global Monitoring for Environment and Security (GMES). CoastWatch er det elementet innen GMES som fokuserer på miljøforvaltning og overvåking av kystområder. Koordineringen av prosjektet utføres av institusjonen EADS Systems & Defence Electronics i Frankrike. Prosjektet startet opp i 2003 og avsluttes foreløpig i 2004, men målet er at det skal kunne videreføres til 2010.

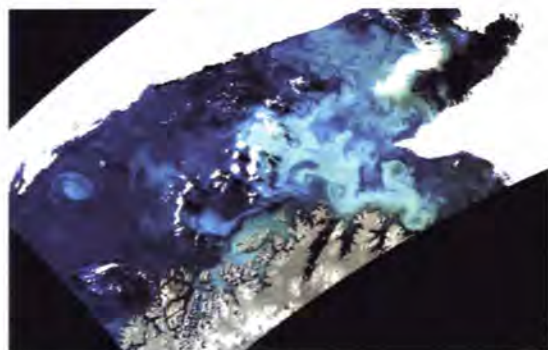
Vår oppgave innen prosjektet er å oppdage endringer i kystområdene ved å benytte satellittbaserte sensorer med høy oppløsning. Havforskningsinstituttet vil benytte bildedata fra satellitter for å overvåke endringer i strømmer og sjøens overflatetemperatur, primærproduksjon og isdekking. Flere forskningsgrupper med ansvar for ulike områder (Barentshavet, Norskehavet og Nordsjøen) er involvert som sluttbrukere i prosjektet. Disse gruppene er interesserte i å benytte satellittinformasjon som tilleggsmateriale i sine forskningsaktiviteter. En nøkkeloppgave i prosjektet er å visualisere innsamlet informasjon fra de høyoppløselige satellittsensorene og data fra forskningsfartøyer, gjennom bruk av Geografisk Informasjonssystem (GIS). Informasjon fra MERIS (ESA-ENVISAT-satellitten) i sann tid eller nær sann tid blir prosessert ved firmaet Analytical and Computational Research, Inc. (ACRI) i Frankrike og overføres deretter til Havforskningsinstituttet.

Den melkeaktige turkise fargen av havoverflaten i Barentshavet, som ble observert i en rekke bilder fra ENVISAT MERIS i juli 2003, skyldtes en oppblomstring av kalkflagellaten *Emiliana huxleyi* (Figur 7.8.1). Figur 7.8.2 viser klorofyllkonsentrasjoner i Barentshavet 19. juli, beregnet på grunnlag av Figur 7.8.1C. ACRI benytter egne algoritmer for å beregne klorofyllmengder basert på satellittdata. *Emiliana huxleyi* er en mikro-skopisk alge (2–10 micrometer), og hver celle er altfor liten til å bli sett med det nakne øye. Cellene er dekket med små kalsiumskjell, og oppblomstringer med store konsentrasjoner av algen er derfor synlig som flekker med en melkeaktig turkis farge av havoverflaten. Fra 1965 har Havforskningsinstituttet gjennomført årlige tokt i august–september. De siste årene (2001–2003) har forskerne observert at oppblomstringer av *E. huxleyi* har dekket store deler av de isfrie områdene i Barentshavet. På et av instituttets tokter i juli 2003 ble det tatt prøver av algen. Disse ble sendt til dr. Toby Tyrrel, Southampton Oceanography Centre, England, som slo fast

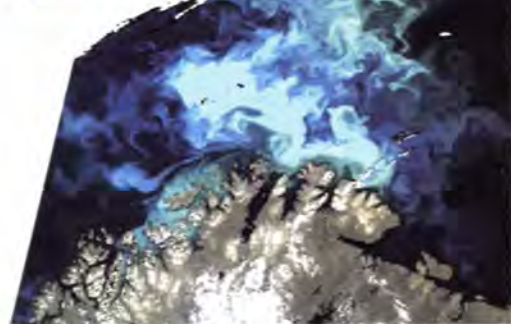
11 juli 2003 A



18 juli 2003 B



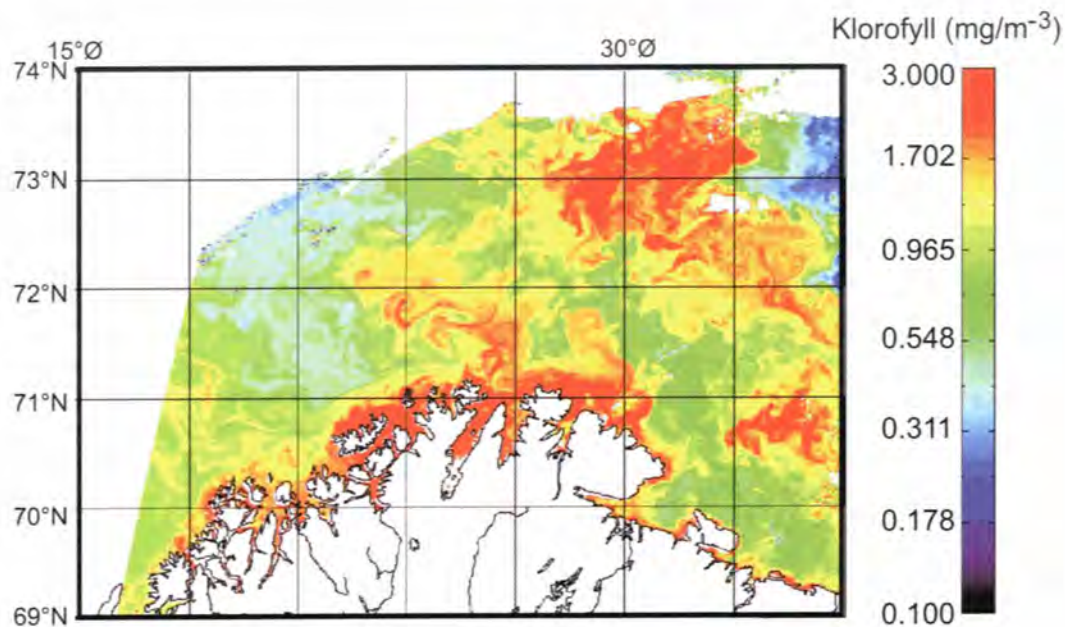
19 juli 2003 C



Figur 7.8.1

ESA ENVISAT/MERIS-bilder prosessert ved ACRI viser lyst turkise flekker (*E. huxleyi*-oppblomstringer) som dekker store deler av Barentshavet: A. 11. juli 2003, B. 18. juli 2003 og C. 19. juli 2003.

ESA ENVISAT/MERIS photos processed by ACRI show bright turquoise patches of *E. huxleyi* covering large parts of the Barents Sea at: A. 11 July 2003, B. 18 July 2003 and C. 19 July 2003.



Figur 7.8.2

Klorofyllkonsentrasjoner (mg m^{-3}) under oppblomstringen av *E. huxleyi*, beregnet fra bildet i Figur 1C.

The figure shows the amount of chlorophyll per mg m^{-3} during the *E. huxleyi* bloom, based on information from the image in Figure 1C.

at det var *E. huxleyi*. Undersøkelsene viste at det var mye løse kalkskjell i prøvene, noe som tyder på at mange celler hadde gått i oppløsning og at oppblomstringen nærmet seg slutten. Det er mulig at det nærmest hvite området i midten av Barentshavet med relativt lave klorofyllverdier (Figur 7.8.1C) skyldes at det her er et høyt innhold av slike løse kalkskjell i sjøen.

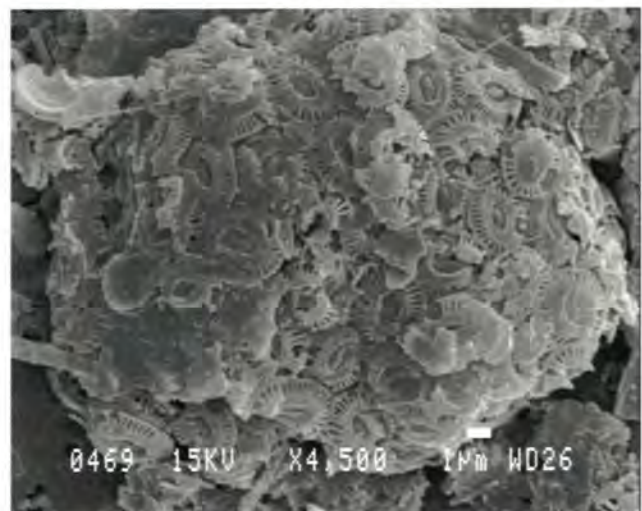
Det har tidligere ikke vært vanlig å finne denne algen i Barentshavet, selv om den ikke er uvanlig i norske fjorder. I perioden 2001–2003 har temperaturene i Barentshavet vært uvanlig høye, sannsynligvis pga. en økt transport av atlantehavsvann fra Norskehavet inn i Barentshavet. Det synes som om *E. huxleyi* har mulighet til å formere seg i stort antall ved disse hydrografiske betingelsene, og at den dermed kan betraktes som en indikator på endrede klimaforhold i Barentshavet.

Krill er små rekeliknende krepsdyr som lever av planteplankton og dyreplankton. Elektronmikroskopstudier av mageinnholdet til nordlig krill (*Thysanoessa inermis*) (Figur 7.8.3) viser at de spiser store mengder *Emiliania huxleyi*. Det ville være interessant å undersøke om denne endringen i algesammensetningen har betydning for de høyere trofiske nivåene.

Summary

The milky turquoise colored nature observed in a series of ENVISAT MERIS images during July 2003 from the Barents Sea reflects the blooming of *Emiliania huxleyi*. In the recent years (2001–2003), scientists have observed *E. huxleyi* blooms covering large areas of the open waters of the Barents Sea. The alga is not commonly found in the Barents

Sea, though it is not uncommon in Norwegian fjords. During 2001–2003, temperatures in the Barents Sea have been exceptionally high, probably due to the increase in inflow of Atlantic water from the Norwegian Sea into the Barents Sea. It seems that the *E. huxleyi* has the capacity to expand in large numbers in such water conditions and thus can be regarded as an indicator of changing climatic conditions in the Barents Sea.



Figur 7.8.3

Elektronmikroskopfotografier av *E. huxleyi* fra mageinnholdet i nordlig krill, *Thysanoessa inermis*. (Foto: Padmini Dalpadado og Gerry Nash)
Electron microscope photo of *E. huxleyi* from stomach content of northern krill, *Thysanoessa inermis*. (Photo: Padmini Dalpadado and Gerry Nash)

Arne Hassel

Som en følge av konflikter mellom oljeindustrien og fiskeriene i forbindelse med seismiske undersøkelser av havbunnen, har Havforskningsinstituttet tidligere studert hvordan seismisk aktivitet har påvirket fiskefordelingen i Nordsjøen. En har også sett på hvilken innvirkning luftkanoner har hatt på fiskeegg, larver og yngel. Senere har Havforskningsinstituttet gjennomført en rekke undersøkelser for å skaffe mer kunnskap om sammenhengen mellom seismisk aktivitet og fiskeatferd. En utførlig beskrivelse av de resultatene fra prosjektet på tobis og seismikk som presenteres her, er kommet ut i egen rapport (Hassel m. fl. 2003).

Liten fisk – stor økonomisk betydning

Tobisfiskeriene i Nordsjøen er et av de største i Norge, og fangstvolumene har variert mellom 600 000 og 900 000 tonn siden 1975. De viktigste fiskefeltene finner en i området fra Doggerbank og nordover langs kysten av England og Skottland, og i de sentrale delene av Nordsjøen der den norske fiskeflåten har konsentrert sin innsats. Det finnes flere arter av tobis, men småsil, *Ammodytes marinus*, har størst betydning og utgjør ca. 95 prosent av fangstene i området.

I jakten på skjulte olje- og gassreserver har oljeletingsfartøyene i lengre tid benyttet seg av kraftige luftkanoner som i lange rekker slepes etter fartøyet i overflaten. Ekkoet fra de forskjellige geologiske lagene dypt nede i havbunnen vil kunne avsløre om lagene er oljeførende. Det er ikke vanskelig å forstå at fisk og fiskeyngel som oppholder seg meget nær eksplosjonene kan ta skade, men det har også blitt hevdet at tobisen uteblir fra seismikkområdet for en lengre periode slik at fiskeriene har blitt skadelidende. Spørsmålet er da om tobisen har vandret ut av området, eller om den på grunn av den fysiske påvirkningen på en eller annen måte ikke lenger er tilgjengelig for trålerne. Noen fiskere har ment at seismiske eksplosjoner kan føre til at tobisen flykter ned mot bunnen der den graver seg ned i sanden og dør. Slike spekulasjoner var noe av bakgrunnen til at Havforskningsinstituttet i 2002 fikk i stand et samarbeid med Oljeindustriens Landsforening, Fiskeridirektoratet og Sør-Norges Trålerlag, om et prosjekt der en skulle se nærmere på hvilken innvirkning seismikken hadde på tobis. I første omgang ble det tatt sikte på å gjennomføre et feltforsøk der fiskeatferden sto i fokus. En grundig studie av fiskefordelingen i etterkant av en fullskala seismikkundersøkelse ville kreve store ressurser innen fartøyer og prøvetaking, og var derfor ment som et eventuelt oppfølgende prosjekt.

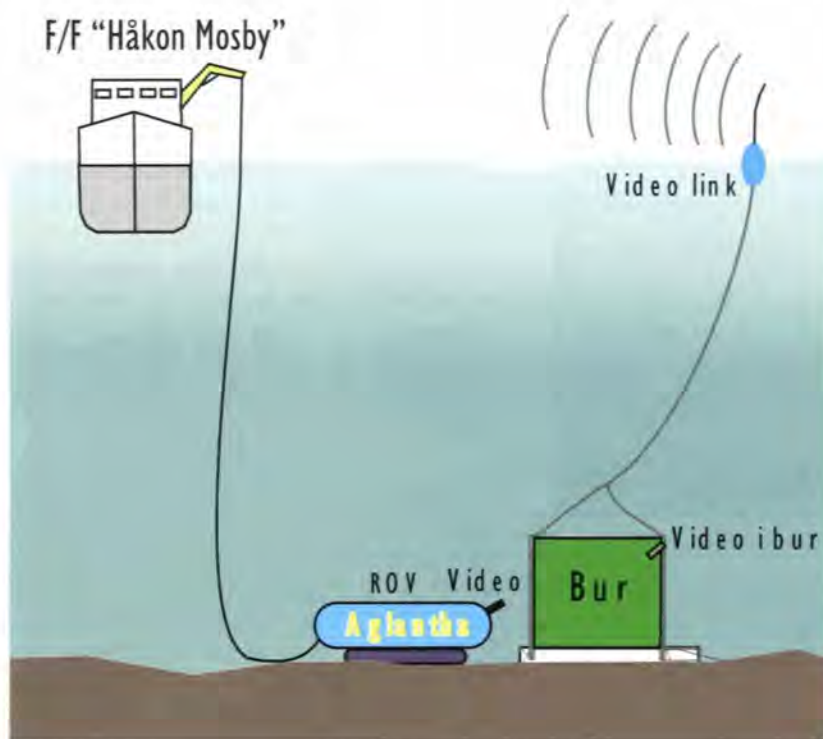
S/V "Falcon Explorer"



Småsil



Figur 7.9.1
Er seismikk-aktivitet og tobis forenelig?
Can seismic activity and sandeel co-exist?



Figur 7.9.2
Skjematisk fremstilling av det eksperimentelle oppsettet.
A schematic presentation of the experimental set up.

Biologien til tobis

Småsil kan bli 20-25 cm lang, og har som de andre artene innen tobisgruppen en slank åle-liknende kropp. Den opptrer i stim og er tilpasset både et pelagisk og bunntilknyttet levesett. Den foretrekker områder med sandholdig bunn og finnes spredt utover Nordsjøen, med unntak av dypområdene i Norskerenna. Om vinteren er tobisen nedgravd i sanden i en slags dvaletilstand, men kommer opp igjen ut på våren. Om sommeren ligger den nedgravd om natten, men ved dagslys kommer tobisen i store mengder og nesten synkront ut av sanden for å beite på dyreplanktonet. Selve nedgravningen kan utføres på brokdelen av et sekund. Tobisen har ikke svømmeblære og må svømme hele tiden for å holde seg oppe i vannmassen. Dette gjør at den er vanskelig å se på ekkoloddet.

Feltforsøket – en utfordrende oppgave

Det ble bestemt at atferden hos tobis skulle overvåkes med videokamera i bur plassert på bunnen, samtidig som et fullt operativt seismikkfartøy passerte på forskjellige avstander mens de seismiske kanonene ble brukt. Logistisk var oppgaven en stor utfordring, tatt i betraktning at tidsrammen var knapp og at mye utstyr måtte lages. FF Håkon Mosby var base for forsøket, og til alt hell fikk vi mulighet til å leie inn seismikkfartøyet SV Falcon Explorer til bruk i vel to døgn (Figur 7.9.1). Oppdraget ble utført mellom 13. og

15. mai. Et forsøksområde ble valgt ut nordøst for Store fiskebank, og delt i et seismikkområde og et kontrollområde, ca. 25 n. mil fra hverandre, og med bundndyp på 50–55 m.

Et egnet område med mange nedgravde tobis skulle først lokaliseres med en 0,2 m² van Veen-grabb, og dette måtte gjøres om natten når tobisen var nedgravd. Systematiske undersøkelser med grabb før og etter den seismiske aktiviteten skulle dessuten avsløre om tobisen over et større område var skadet eller død av eksplosjonene.

Et 38/120 kHz ekkolodd ble brukt til kartlegging og overvåking av de pelagiske konsentrasjonene av tobis under eksperimentet.

Kjernen i prosjektet var alle burene som måtte konstrueres. Kreative krefter på Havforskningsinstituttet kom sammen for å løse oppgaven, og et lokalt firma stod for selve produksjonen. For å skape best mulige forhold for tobisen under forsøket måtte burene være store, og vi endte opp med mål på ca. 2 x 2 x 2 m. De ble bygget av stålror plassert på en solid stålramme, med en total vekt på 300 kg. Burene var åpne i underkant for å stenge inne den nedgravde tobisen. Rammen

hadde en skarp kant som ville synke ca. 10 cm ned i sanden. Veggene ble trukket med finmasket not, med plastvinduer for videoobservasjon utenfra. Etter endt forsøk skulle burene dras noen meter langsmed bunnen, samtidig som den øverste delen av sanden ble skrapet av og samlet i en skuffe inne i buret. Deretter skulle burene lukkes nedentil med en "rullegardin", før de ble heist opp på dekk der tobisen skulle undersøkes. Til sammen ble det laget seks bur, hvorav tre skulle settes ut i seismikkområdet, og tre i kontrollområdet.

Under forsøket ble det benyttet en ROV (Remote Operated Vehicle) for å overvåke og assistere utsettingen av burene. ROVen "Aglantha" var utstyrt med flere videokameraer som kunne overvåke atferden hos tobisen. I tillegg ble det plassert videokamera inne i et eksperimentbur og et kontrollbur. Videosignalene fra disse kameraene ble overført til båten via en videolink i en plasttønne på overflaten, med kabelforbindelse til buret. En skjematisk fremstilling av dette er vist i Figur 7.9.2. Figur 7.9.3 er fra en undervannsvideo av ett av burene, tatt fra "Aglantha". Det rektangulære feltet i midten er observasjonsvinduet.

Vellykket tokt med mye data

Etter en del søk med grabben, og noe prøving og feiling med nedsetting av burene, ble det gjort "god fangst", og vi



Figur 7.9.3

Et av burene plassert på bunnen, overvåket med ROV og videoutstyr.
One of the cages on the bottom, surveyed with ROV and video.

kunne se at et større antall tobis svømte rundt på innsiden av nettingen. Videobildene fra "Aglantha" viste at fisken for det meste holdt seg like under taket.

Ved utsetting av kontrollburene viste det seg vanskelig å finne tobis i sanden. Det ble derfor tatt et kort trålhål for å skaffe nok fisk. Et passe antall individer ble plassert i en beholder inne i burene før utsettingen. Metoden fungerte, tross en del improvisasjon underveis.

Med alle burene på plass ble det gitt klarsignal til "Falcon Explorer". Seismikkfartøyet gikk til sammen 33 parallelle kurslinjer innenfor et rektangel på 10 x 10 km. I sentrum lå våre tre eksperimentbur, og på det nærmeste var fartøyet bare 300 m unna. Med videokameraene til "Aglantha" i posisjon kunne vi følge med i reaksjonene hos tobisen. Ikke før fartøyet var ganske nær og vi kunne høre smellene, mente vi å kunne observere en viss endring i svømmeaktiviteten. Imidlertid var det først på et senere tidspunkt etter en mer systematisk gransking av de brukbare sekvensene av videotapene at et mønster kunne ses: Under skytingen var det en økt frekvens av uregelmessig svømming, som startet med at fisken slo en krøll på kroppen (C-formet eller S-formet), etterfulgt av en kraftig, men kortvarig svømme- eller fluktbevegelse. Liknende fenomener er kjent og beskrevet hos andre arter, og reaksjonene synes å være et resultat av at fisken ble skremt. Før og etter skytingen observerte vi så godt som ingen fluktbevegelser. Vi kunne heller ikke se at tobisen svømte ned mot bunnen og grov seg ned under skytingen.

Både før og etter skytingen ble det foretatt flere deknings av området med ekkolodd. Tallene viste at det var en økning i fiskeekko etter skytingen, og en ny kraftig økning et par

dager senere. Resultatene fra trålfangsten kunne imidlertid tyde på at de høye verdiene vi periodevis observerte skyldtes sild i området.

De fleste grabbfangstene i seismikkområdet viste at tobisen stod tett i sanden, helt opp mot 20 individer i et grabbskudd. Alle fiskene kom opp i god tilstand. For sikkerhets skyld ble en del individer overført til kar med rennende vann, der de holdt seg levende i lang tid. Etter skytingen ble det tatt prøver over et større område innen skytefeltet. Det var ingen tegn til at tobisen var fysisk påvirket på noen måte. Gjennomsnittlig antall individer i grabben var omtrent det samme før og etter skyting (henholdsvis 4 og 5,5 individer), noe som ikke tydet på noen masseflukt fra området.

Etter at de siste dekningene med grabb og akustikk var fullført, og alle burene hadde blitt besøkt med ROV og videokamera, ble de heist opp på dekk. De hadde da stått ute i opptil to uker. Tobisen ble raskt tatt ut og sortert i levende og døde individer. De fleste var levende, men ikke alle var i like god form. Noen hadde ytre skader rundt munnen, og dette kunne forklares

med videoobservasjoner som viste at tobisen ofte svømte mot maskene i buret. Det er rimelig at en innestenging i 1-2 uker skapte mye stress, og dette er den sannsynlige årsaken til skadene. Av de om lag 340 tobisene i seismikkburene og 460 tobisene i kontrollburene, var det en samlet overlevelse på 65 prosent i begge gruppene. Vi kan derfor konkludere med at dødeligheten ikke skyldtes seismisk påvirkning. Lengdefrekvensen på de døde og overlevende tobisene var omtrent den samme, så fiskens størrelse var ikke avgjørende for overlevelsen.

Fiskeristatistikken forteller

Alle større norske fiskefartøyer blir i dag sporet med satellitt slik at posisjonene for tobisflåten kan plottes med jevne mellomrom. Vi hadde derfor muligheten til å se om seismikkforsøket hadde en viss påvirkning på fiskeaktiviteten i samme område. Data fra Fiskeridirektoratet kunne tyde på en liten forskyvning vekk fra området, men grupperingen av fiskeflåten var så tilfeldig fra tid til annen at det er svært vanskelig å si noe om seismikkens påvirkning i dette tilfellet. Vi fikk også tilsendt fiskeristatistikk over landete tobisfangster fra april til juni, og kurven viser et fall 2-3 dager etter seismikkforsøket. Imidlertid var norske tobismottak stengt 17. mai, og dette kan delvis forklare nedgangen. Deretter økte fangstene igjen, og var siden sterkt variable, noe de også var i tiden før eksperimentet.

Våre konklusjoner

Tobisen syntes å reagere på seismisk aktivitet med en lett forhøyet svømmeaktivitet og tendenser til fluktreaksjoner. Den reagerte ikke med flukt mot bunnen for å grave seg ned. Grabbforsøk viste ingen dødelighet på grunn av sprengningen. Andre synlige sprengningsskader var heller

ikke påvisbare. Dødeligheten i burene skyldtes stress og neppe seismikk. Vi har ingen sikre holdepunkter for å si at fiskeriet i området ble påvirket av forsøket, som for øvrig var beskjedent i forhold til oljeselskapenes egne undersøkelser over store områder og over lengre tid.

Summary

Norwegian fishermen have claimed that seismic exploration in the North Sea has a negative effect on the sandeel fisheries. The sandeel catches have been reduced after seismic shooting, and some believes that the fish dies. The Institute of Marine Research has carried out a field experiment in the southern North Sea where a number of sandeel were kept in large steel cages placed on the bottom, while a seismic vessel

performed seismic shooting in the area. The trapped fish were monitored with underwater video, and a slightly enhanced level of swimming activity was recorded. However, no lethal effect was found, neither on the sandeel in the cages, nor on the sandeel caught by grab outside the cages. Also, grab catches did not show significant differences in catch size before and after the shooting experiment.

Referanser

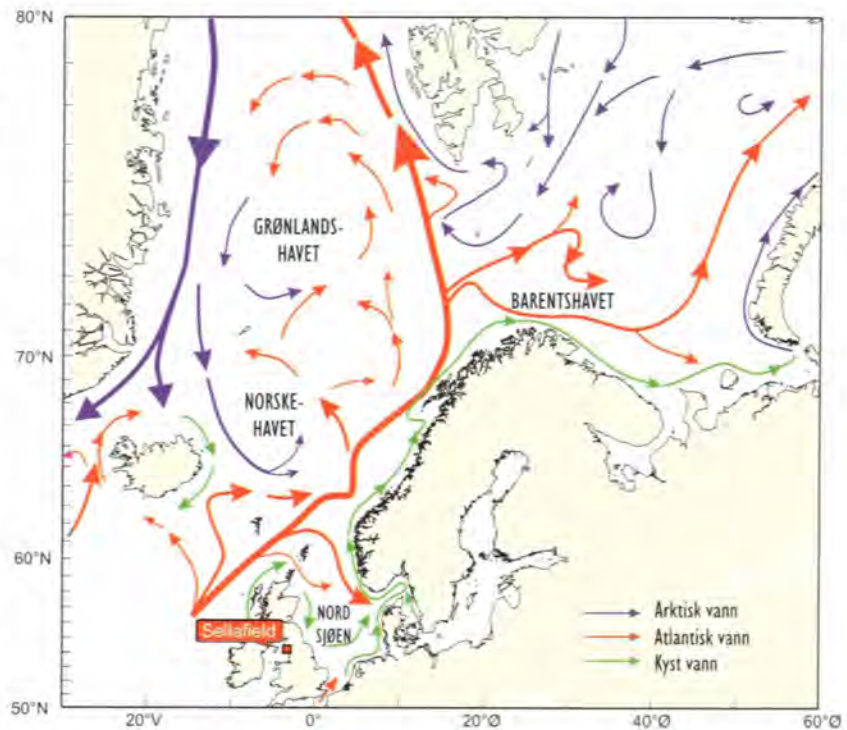
Hassel, A., Knutsen, T., Dalen, J., Skaar, K., Østensen, Ø., Haugland, E.K., Fonn, M., Høines, Å. og Misund, O.A. 2003. Reaction of sandeel to seismic shooting: A field experiment and fishery statistics study. *Fisken og havet*, nummer 4 – 2003. 63 s.

Hilde Elise Heldal, Penny Alvestad, Ingrid Sværen og Lars Føyn
Anne Liv Rudjord, Statens Strålevern

Vi vil i denne artikkelen presentere prosjektet "Transport og akkumulering av technetium-99 (Tc-99) i bentiske og pelagiske marine næringskjeder i norske havområder". Prosjektet omfatter etablering av en analysemetode for Tc-99 ved Havforskningsinstituttet. Videre skal opptaket av Tc-99 i utvalgte marine arter studeres. Prosjektet startet opp i februar 2003, er 3-årig, og finansieres av Norges forskningsråd og Havforskningsinstituttet.

Technetium-99 (Tc-99) er en menneskeskapt beta-utstrålende atomkjerne med halveringstid på 213 000 år. Tc-99 finnes i marint miljø som følge av utslipp fra gjenvinningsanlegg for brukt kjernefysisk brensel, nedfall fra atomprøvesprengninger på 1950- og 60-tallet og i svært små mengder også fra medisinsk bruk av Tc-99m (Tc-99m er en ustabil isotop med halveringstid på 6 timer. Den brytes ned til Tc-99 ved utsendelse av gamma-stråling). Fra 1994 har utslippene av Tc-99 fra gjenvinningsanlegget Sellafield (Cumbria, UK) (Figur 7.10.1) vært relativt høye, sammenlignet med utslippene på 80-tallet og begynnelsen av 90-tallet (Figur 7.10.2). Bakgrunnen for de økte utslippene er beskrevet tidligere (se f. eks. *Havets miljø 2002*). I juni 2003 avgjorde britiske myndigheter at utslippene skulle stanses midlertidig for å undersøke muligheten for å rense utslippene og lagre Tc-99 i tanker på land. Hvilken skjebne fremtidig Tc-99-avfall fra Sellafield vil få, er i dag uvisst.

Den radioaktive forurensningen fra Sellafield transporteres med havstrømmer til norskekysten. Etter 1994 har konsentrasjonene av Tc-99 økt med opp til 10 ganger nivået i 1994 i den norske kyststrømmen (Figur 7.10.3). Konsentrasjonene i sjøvann er likevel relativt lave, og Statens Strålevern har slått fast at det ikke er noen grunn til å begrense inntak av sjømat ut fra de nivåer av Tc-99 som finnes i for eksempel hummer og tang i norske havområder i dag. Likevel har det vært usikkerhet knyttet til hvilke konsekvenser utslippene har for norske havområder. Enkelte organismer, særlig skalldyr og brunalger, har et høyt opptak av Tc-99, og stoffet kan oppkonsentreres kraftig i enkelte organer i blant annet hummer. Undersøkelser



Figur 7.10.1

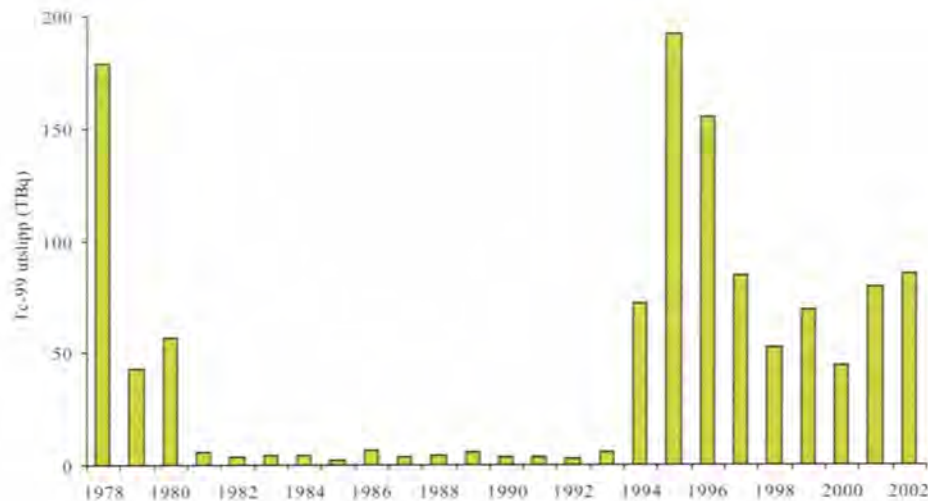
Gjenvinningsanlegget Sellafield (Cumbria, UK) og viktige havstrømmer.
The reprocessing plant Sellafield (Cumbria, UK) and important ocean currents.

har vist at opptak av Tc-99 i for eksempel blåskjell er høyere i naturen enn det som var kjent fra laboratorieforsøk. Den lange halveringstiden til Tc-99 er også en grunn til at det er viktig å begrense utslippene av dette stoffet.

Det har vært knyttet stor oppmerksomhet til Sellafield-utslippene og Tc-99-forurensning de siste årene, og markedene for norsk fiskeeksport er generelt følsomme når det gjelder radioaktiv forurensning. Derfor er det, til tross for relativt lave konsentrasjoner av Tc-99 i sjøvann, viktig for norsk fiskeri-næring at vi øker våre kunnskaper om opptaket av denne radioaktive isotopen i sjømat.

Analysemetode

Analysemetoden som etableres ved Havforskningsinstituttet er utviklet ved Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science (CEFAS), England. Etablering av metoden ved Havforskningsinstituttet er gjort mulig gjennom studieopphold ved CEFAS, og ved at kollegaer fra CEFAS



Figur 7.10.2

Årlige utslipp av Tc-99 fra Sellafield 1978-2002.

Yearly discharges of Tc-99 from Sellafield 1978-2002.

har besøkt vårt kjemilaboratorium. Metoden er utviklet spesielt for å analysere sjøvann og marine organismer med lave konsentrasjoner av Tc-99. I tillegg er metoden tilrettelagt slik at det kan utføres en konsentrering av Tc-99 fra sjøvann på tokt. På denne måten slipper vi å frakte store mengder sjøvann tilbake til Havforskningsinstituttet (før konsentreringen er volumet til en sjøvannsprøve ca. 100 l. Etter konsentreringen er volumet redusert til ca. 50 ml ionebyttermasse). Før vi kan måle konsentrasjonen av Tc-99 vha beta-telling må vi fjerne andre beta-utstrålendeatomkjerner, både naturlige og menneskeskapte, da disse kan forstyrre målingene. Tc-99-analysen er derfor relativt omfattende og foregår i mange trinn. De viktigste kan oppsummeres slik:

1. Tilsetning av en kjent mengde sporstoff for senere å kunne beregne kjemisk utbytte (den mengde sporstoff vi har igjen etter at analysen er utført). Som sporstoff benytter vi ikke-radioaktivt rhenium (Re). Rhenium og technetium tilhører samme gruppe i det periodiske systemet og oppfører seg stort sett kjemisk likt.
2. Konsentrering av Tc-99/Re ved hjelp av ionebytting.
3. Felling av Tc-99/Re som et blandet tetrafenyl-arsonium salt $((C_6H_5)_4AsTcO_4 / (C_6H_5)_4AsReO_4)$. Dette veies, og kjemisk utbytte kan bestemmes (det antas at Tc-99 ikke bidrar med vekt).
4. Beta-telling av Tc-99.

Nivåer av Tc-99 i fisk og sjømat

Som nevnt vet vi at konsentrasjonene av Tc-99 i sjøvann langs norskekysten er relativt lave. Men når det gjelder konsentrasjoner av Tc-99 i marine organismer har vi mange ubesvarte spørsmål, og noen er listet under:

- Vi vet at noen bentiske (bunnlevende) organismer, f. eks. hummer, tar opp Tc-99 i relativt stor grad. Er dette også tilfelle for fisk som beiter på bentiske organismer (f. eks. steinbit og flyndrefisker som kveite og rødspette)?

- Sammenlignet med nivåene av Tc-99 i bentiske organismer, hva er nivåene i pelagisk fisk (fisk som lever i de frie vannmasser), f. eks. lodde, makrell og sild?
- Er det forskjell på Tc-99-nivåene i de viktige kommersielle fiskeslagene torsk og sei (beiter hovedsakelig på pelagiske organismer) og hyse (beiter hovedsakelig på bentiske organismer)?
- Vi vet at opptaket av Tc-99 i forskjellige organer hos hummer varierer mye. Konsentrasjonene varierer også mellom kjønnene. Hva er grunnen til dette? Er det slik for andre marine organismer også?

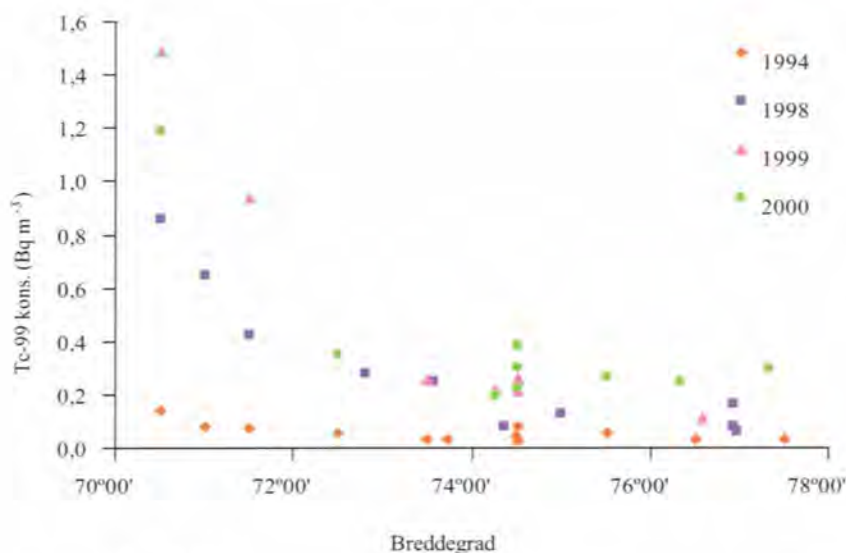
Vi har tatt prøver fra fire steder langs kysten: Arendal (Aust-Agder), Tysnes (Hordaland), Værlandet (Sogn og Fjordane) og Rørvik (Nord-Trøndelag). I tillegg er det tatt prøver gjennom Havforskningsinstituttets tokt. Til å hjelpe oss med prøveinnsamling har vi lokale fiskere, skoleelever fra Værlandet skole og kollegaer ved Havforskningsinstituttet Flødevigen. Fra prøvetakingsstedene langs kysten har vi foreløpig tatt prøver av hummer, krabbe, blåskjell, kråkebolle, steinbit, tang og sjøvann. Noen få prøver er allerede analysert (av CEFAS), og resultatene viser at konsentrasjonene av Tc-99 er høyest i tang og lavest i steinbit (Tabell 7.10.1). Konsentrasjonene av Tc-99 i tang og hummer fra Værlandet er i overensstemmelse med det som er funnet andre steder langs kysten. Når det gjelder de andre organismene vi har undersøkt, ønsker vi å gjøre flere målinger før vi trekker noen konklusjoner.

I løpet av 2004 vil analysemetoden være fullstendig gjennomførbar ved HI, og vi ønsker på sikt å få metoden akkreditert til bruk i blant annet fremtidig overvåkning. Vi vil fortsette med prøveinnsamling og analyser i 2004, og i løpet av 2004/2005 skal resultater sammenfattes og publiseres.

Summary

In February 2003, the two-part project "Transport and accumulation of technetium-99 (Tc-99) in benthic and pelagic marine food chains in Norwegian waters" was initiated at The Institute of Marine Research (IMR). The first stage of this project is to establish an analytical method for analysing Tc-99 in marine biota and seawater. Using this method for stage

two, Tc-99 levels shall then be studied in selected marine species and accompanying seawater collected at various locations, both along the Norwegian coast as well as in the course of IMR (oceanic) cruises. The coastal species include: lobster, crab, blue mussel, sea urchin, wolffish and seaweed. The project is planned to last for three years, and is funded by The Research Council of Norway and IMR.



Figur 7.10.3

Figuren viser konsentrasjoner av Tc-99 i Vest Spitsbergen-strømmen (70 - 78° N) for perioden 1994 - 2000. Vi ser en sterk økning i konsentrasjonene i den sørligste delen fra 1994 til 1998 (fra Kershaw m. fl. 2004).

The figure shows concentrations of Tc-99 in the West Spitsbergen Current (70 - 78° N) during 1994-2000. A strong increase in concentrations in the southernmost part is seen from 1994 to 1998 (from Kershaw et al. 2004).

Tabell 7.10.1

Konsentrasjoner av Tc-99 i marine organismer, Værlandet og Kalvåg (Sogn og Fjordane), april/mai 2003.
Concentrations of Tc-99 in marine organisms from Værlandet og Kalvåg (Sogn og Fjordane), April/May 2003

Prøve	Latinsk navn	Prøvetaking		Kjønn	Tc-99	± (%)
		Sted	Tid			
Blåskjell	Mytilus edulis	Værlandet	mai		0,49	5,7
Rød kråkebolle	Echinus esculentus	Værlandet	mai		0,34	12,6
Steinbit	Anarhichas sp.	Kalvåg	april		0,19	14,2
Steinbit	Anarhichas sp.	Kalvåg	april		0,11	17,4
Grisetang	Ascophyllum nodosum	Værlandet	mai		96,85	4,0
Hummer	Homarus gammarus	Værlandet	april	F	9,60	4,1
Hummer	Homarus gammarus	Værlandet	april	F	15,11	4,0
Hummer	Homarus gammarus	Værlandet	april	M	2,90	4,1
Krabbe	Cancer pagurus	Værlandet	april	F	0,50	5,6
Krabbe	Cancer pagurus	Værlandet	april	M	0,69	5,8

Erling Kåre Stenevik, Anders Thorsen og Svein Sundby

Studier av fiskeegg har vært en integrert del av norsk fiskeriforskning helt siden havforskeren Georg Ossian Sars tok til med de praktiskvitenskaplige fiskeriundersøkelsene i 1864. Han oppdaget at skreien hadde fritt-flytende (pelagiske) egg, et oppsiktsvekkende funn på den tiden. Tidligere trodde man at alle fisker gyttte eggene sine på bunnen, slik som blant annet laksefisk gjør.

G.O. Sars var på den tiden utsendt av Regjeringen for å studere Lofotfiskeriene. Regjeringen ville starte undersøkelser der, slik at man om mulig kunne sette i gang tiltak for å øke fangstutbyttet. På den tiden trodde man at det var de gode bunnforholdene i Lofoten som gjorde at så mye rognmoden skrei vandret dit for å gyte. Sars ble derfor svært overrasket da han oppdaget at torskeeggene ikke ble avsatt på bunnen, men fløt fritt i vannmassene som små glassperler med en diameter på litt over en millimeter. Senere har det vist seg at et flertall av de marine beinfisk gyter pelagiske egg slik som torsken.

Forplantning hos fisk

Hos de fleste artene av beinfisk gyter hunnene ubefruktede egg som blir befruktet ved at hannen gyter melken samtidig. Eggene befruktes, utvikles og klekkes dermed utenfor kroppen til hunnen. Det finnes imidlertid også fisk som har innvendig befruktning og som føder levende unger, for eksempel uer og mange bruskfisk (hai og skater). Innenfor eggleggende fisk finnes det flere varianter. En kan grovt dele inn fiskeegg i tre grupper; pelagiske egg (som befinner seg i de øvre vannmasser), bathypelagiske egg (som befinner seg dypere i de frie vannmasser) og egg på bunnen. Pelagiske egg er karakteristisk for mange marine beinfisk, men det finnes unntak blant noen av våre mest vanlige fiskearter. Sild, lodde og tobis gyter egg på bunnen. Hos silda er eggene til og med festet til bunnen med en slags lim. Ellers er bunnegg mest utbredt hos arter som gyter i ferskvann og hos en del marine gruntvannsarter der mange har eggpleie, som f.eks. mange kutlinger og leppefisk.

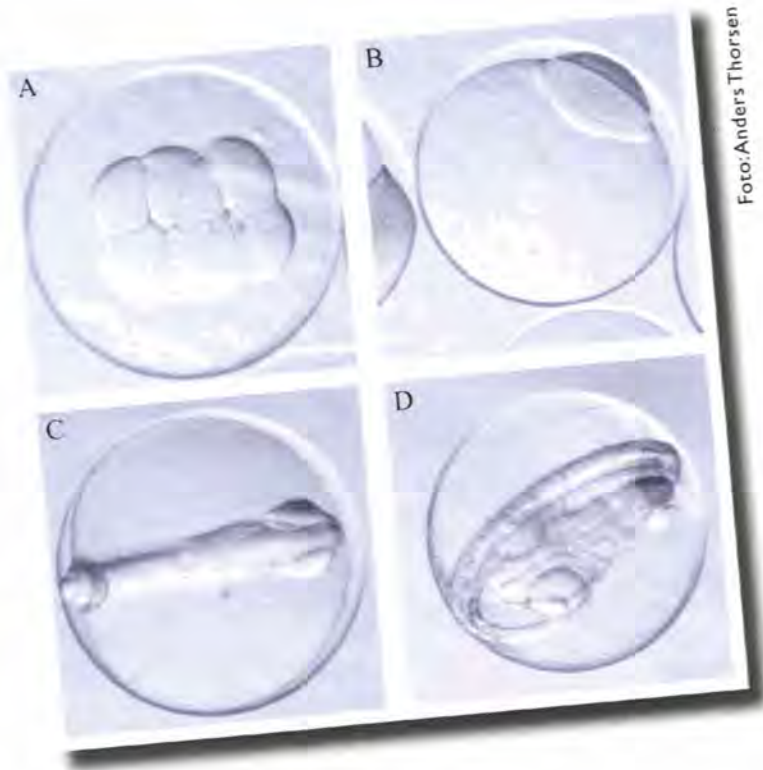


Foto: Anders Thorsen

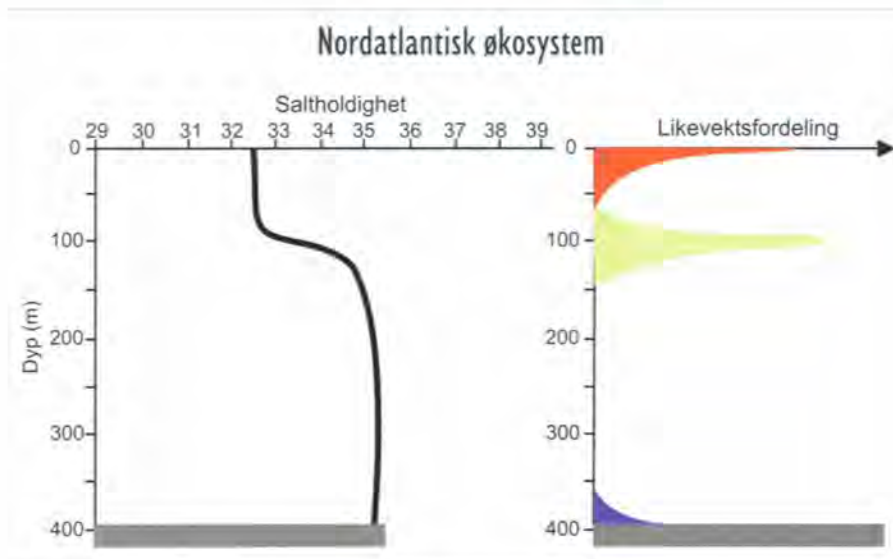
Figur 7.11.1

Torskeegg i forskjellige utviklingsstadier. A. 8-cellestadiet (ca. 10 timer), B. Linsestadiet (dag 2), C. Tidlig embryo (ca. 1 uke), D. Like før klekking (ca. 2 uker). Utviklingshastighet ved 5 °C.

Cod egg in different development stages. A. 8-cell stage (about 10 hours), B: Lens stage (day 2), C. Early embryo (about one week), D. Near hatching (about 2 weeks). Development time at 5 °C.

Utviklingen av fiskeegg

Et pelagisk fiskeegg har vanligvis et forholdsvis tynt, gjennomsiktig skall av et porøst proteinmateriale som slipper gjennom vann, salter og gasser, men ikke store molekyler. Innenfor eggeskallet finner vi det såkalte perivitelline rommet, som hos torsk utgjør ca. 20 % av eggets totale volum. Dette er fylt med sjøvann i tillegg til en liten mengde store molekyler som ikke kan slippe ut gjennom de små porene i eggeskallet. Disse store molekylene opprettholder et såkalt kolloidosmotisk trykk, dvs. de sørger for at det perivitelline rommet til en hver tid er utspent og fylt med sjøvann. Innenfor det perivitelline rommet finner vi plommemembranen som omgir plommemassen og det voksende embryoet. Plommemembranen er særskilt tett for salter og vann. Fiskeegget har en tendens til å tape vann til omgivelsene ved diffusjon, og den tette membranen sørger for at vanntapet blir minimalt. Blir vanntapet for stort vil egget miste flyteevnen sin, da det er det høye vanninnholdet i plommen som er hovedårsaken til



Figur 7.11.2

Vertikalfordeling hos pelagiske egg (merket med rødt), bathypelagiske egg (merket med grønt) og bunnegg (merket med blått) i forhold til saltholdighetsprofilen i vannmassene (vist til venstre) (fra Sundby 1991).

Vertical distribution of pelagic eggs (red), bathypelagic eggs (green), and bottom eggs (blue) with the given salinity profile (left figure) (from Sundby 1991).

eggernes flyteevne. En del egg har også en eller flere oljedråper i plommemassen, som bidrar ytterligere til eggets flyteevne.

Embryoet begynner som en enkelt stor celle, som senere deler seg i stadig mindre celler (Figur 7.11.1 A), som etter hvert utvikler seg til å bli en klump av ganske små celler (Figur 7.11.1 B). Etter noen få dager begynner så disse cellene å bre seg utover overflaten av plommemassen. Etter omtrent en uke har torskembryoet omsluttet hele plommen med et tynt celledag, og i tillegg ser vi nå tydelig embryoets kropp, hode og øyne (Figur 7.11.1 C). I løpet av den neste uken utvikler embryoet seg videre i størrelse, organer dannes og embryoet pigmenteres. Egget er nå klar for klekking (Figur 7.11.1 D). Klekkingen settes i gang ved at det utskilles et klemkeenzym i det perivitelline rommet som svekker eggeskallet.

Pelagiske egg

Eggene til de fleste beinfisk er relativt små. Dette gjelder spesielt hos arter som har pelagiske egg. Små egg reduserer sannsynligheten for at de etterfølgende larvene overlever, fordi de nyklekte larvene er lite utviklet og er mer sårbare for sult og predasjon. Dette kompenseres imidlertid med å gyte mange egg og dermed øke sannsynligheten for at i hvert fall ett avkom overlever. Eggstørrelse kan variere betydelig innenfor en art. Ofte har populasjoner som gyter tidlig på året større egg enn de som gyter senere. Bathypelagiske egg, dvs. egg som flyter fritt nede i vannmassene under det øvre vindblandede laget, er ofte større enn rent pelagiske egg som er konsentrert i det øvre blandingslaget. Trolig er det en fordel med små egg i det øvre laget, da disse er mer robuste mot mekaniske belastninger fra blant annet brytende bølger.

Pelagiske egg som driver fritt med strømmene har stort spredningspotensial. Det er sannsynligvis dette som gjør at denne formen for gyting er så utbredt blant fisk, og de fiskearter som har pelagiske egg eller larver har derfor ofte stor utbredelse. Det er viktig for pelagiske egg å unngå å synke til bunnen der forholdene kan være ugunstige med lavt oksygenivå og mye bakterier og andre skadelige organismer. Eggene må derfor ha en egenvekt som er tilpasset sjøvannets egenvekt, slik at de ikke blir for tunge og dermed synker til bunns. Det er også viktig at eggene og de senere larvene blir transportert til områder som er gunstige som oppvekstområder. Havstrømmene kan variere mye både i styrke og retning ved ulike dyp, og dette understreker ytterligere viktigheten av at eggene har en tilpasning som gjør at de havner i strømmer som transporterer dem til gunstige områder. De eggene som ikke har slike tilpasninger vil ikke overleve, og deres egenskaper vil dermed ikke bli ført videre til neste generasjon. For å forstå hva som påvirker transporten av fiskeegg fra gyteområdene til oppvekstområdene, er det avgjørende å ha kunnskap om eggenes egenskaper og hvordan de er tilpasset det lokale miljøet.

Hva påvirker eggernes vertikalfordeling?

Den vertikale fordelingen til pelagiske fiskeegg bestemmes av vannets tetthet, strøm og turbulens, i tillegg til eggets egenvekt og størrelse. Tettheten bestemmes av saltholdigheten og temperaturen. Siden eggene er homoterme, dvs. at de har samme temperatur som omgivelsene, er det egenvekten av eggene i forhold til saltholdigheten som bestemmer om eggene flyter eller synker. De rent pelagiske eggene har en egenvekt som er lavere enn selv det lette øverste laget i sjøen. Slike egg vil fordele seg med eksponentielt økende konsentrasjon mot

overflaten (Figur 7.11.2). De tunge bunneggene vil fordele seg omvendt, med eksponentielt økende konsentrasjon mot bunnen. Bathypelagiske egg, med en egenvekt tilsvarende sjøvannet i overgangssjiktet mellom det lette øvre laget og det tunge bunnvannet, vil flyte fritt nede i dypet. Det er utviklet matematiske modeller for vertikalfordelingen av fiskeegg. Vertikalfordelingen varierer som funksjon av turbulens i sjøen, saltholdighet, eggene flyteevne og gytedyp. Modellene beregner hvordan eggene blir transportert med strømmene fra gytefeltet, til området hvor de klekkede larvene starter næringsopptaket.

Vertikalfordelingen av pelagiske egg er sterkt påvirket av vind og turbulens, mens bunneegg og bathypelagiske egg er mindre påvirket. Sterk vind lager kraftig turbulens i det øvre vindblandede laget (20–100 m dyp), og blander eggene dypt ned i vannsøylen (Figur 7.11.3). Når det er vindstille stiger eggene langsomt tilbake mot overflaten og kan finnes i høye konsentrasjoner i overflatelaget.

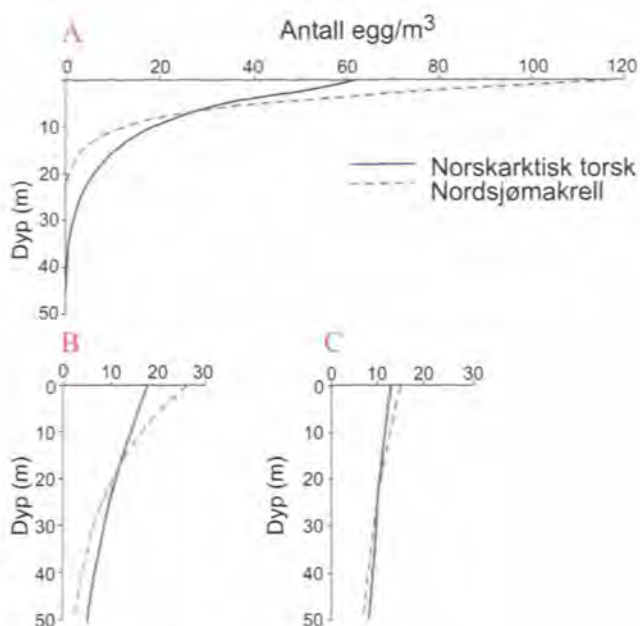
Enkelte arter med pelagiske egg gyter også i overflatelaget, eksempelvis nordsjømakrell, sardin, ansjos og brisling. Da når eggene raskt sin stabile vertikale fordeling nær overflaten. De fleste arter med pelagiske egg gyter imidlertid dypt nede i vannmassene eller til og med på bunnen. Det gjelder eksempelvis de fleste torskbestandene i Nord-Atlanteren og nordsjøflyndre. Det kan ta fra noen timer til flere dager for eggene å stige opp fra dypet. Størrelsen på eggene og egenvekten påvirker oppstigningshastigheten. Av to egg på henholdsvis 0,8 og 1,6 mm i diameter, men samme egenvekt, vil det største egget stige fire ganger raskere enn det minste.

Bathypelagiske egg, som hos for eksempel kveite og blåkveite, kan være gytt på svært store dyp, ned mot 1000 m dyp eller mer. Disse eggene har en svakt positiv flyteevne og kan bruke opptil ti dager på å nå opp til nivåene på 100–300 m dyp hvor de blir værende og utvikler seg videre.

Tilpasninger til lokale miljøforhold

Et eksempel på spesielle tilpasninger hos pelagiske fiskeegg finnes i Østersjøen. Østersjøen er et brakkvannsområde, og saltholdigheten er generelt lavere og mer variabel enn i det marine miljø. For fiskearter som gyter pelagiske egg medfører dette at eggene må ha mye lavere egenvekt enn i det marine miljø. Å holde seg flytende er spesielt viktig for et egg i Østersjøen, ettersom bunnvannet i Østersjøen ofte er tilnærmet fritt for oksygen. Enkelte år er saltholdigheten så lav at alle eggene vil synke til bunns og dø, mens i andre år er det en varierende andel som har tilstrekkelig flyteevne. Bunnvannet i Østersjøen skiftes ut i gjennomsnitt ca. hvert tiende år, og etter en slik utskifting kan det ligge tilrette for nyrekruttering av torsk i de første årene etterpå.

Studier utført av Per Solemdal (Havforskningsinstituttet) i 1960-årene har vist at eggene egenvekttilpasning sannsynligvis er av genetisk art. En østersjøflyndre som forflyttes til et mer marint miljø vil forsette å produsere egg med betydeligere lavere egenvekt enn tilsvarende marine flyndrer.



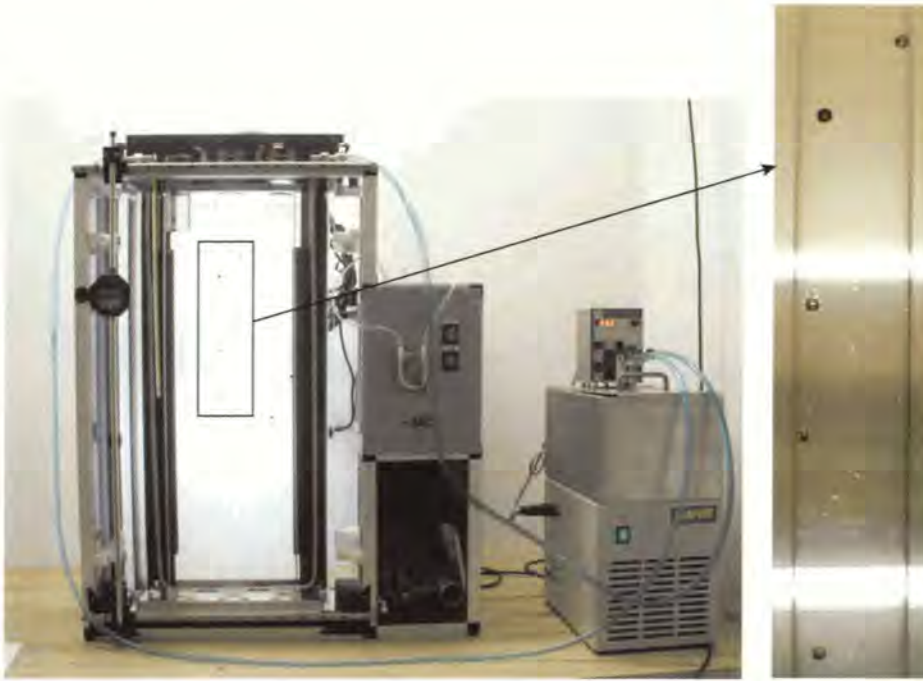
Figur 7.11.3

Modellert vertikal fordeling av lette pelagiske fiskeegg hos makrell fra Nordsjøen og tyngre torskkeegg fra Lofoten. A. Ved svak vind på 2 m s⁻¹ er eggene konsentrert mot overflaten, spesielt de lette makrelleggene. B. Ved økende vind-generert turbulens blandes eggene nedover i dypet. C. Ved liten storm (22 m s⁻¹) er det egg ned til 100 m dyp. Modelled vertical distribution of high buoyancy mackerel eggs from the North Sea and lower buoyancy cod eggs from the Lofoten area. A. At low wind, the eggs are concentrated towards the surface (particularly the buoyant mackerel eggs). B. In increasing wind-induced turbulence the eggs are mixed deeper. C. At 22 m s⁻¹, eggs are distributed down to 100 m.

Senere studier har vist at den nedsatte egenvekten hos torskkeegg fra Østersjøen i det vesentlige skyldes et høyere vanninnhold, noe som også fører til at eggeskallet blir tynnere og dermed utgjør en mindre andel av totalmassen til egget. Torskkeeggene i Østersjøen har et volum som er 2-2,5 ganger så stort som et tilsvarende (samme tørrvekt) marint torskkeegg, og flyter ved en saltholdighet på 11-15, mens et marint torskkeegg flyter ved ca. 32.

Hvordan måler vi egenvekten hos egg?

Fiskeeggene egenvekt kan vi måle ved hjelp av en såkalt tetthetsgradientkolonne (Figur 7.11.4), der egenvekten måles med en presisjon på 0.0001 g cm⁻³. Kolonnen er blitt brukt på Havforskningsinstituttet til å studere torskkeegg i felt, og til å måle egenvekt til egg fra blant annet lysing, sardin og ansjos i Benguelastømmen utenfor Namibia. Instrumentet består av tre glass-sylindere (70 cm høye) som er nedsenket i et temperaturkontrollert vannbad, og man kan dermed måle egenvekten hos tre parallelle serier med egg.



Figur 7.11.4

Figuren viser utstyret som brukes for å måle egenvekten til fiskeegg. Til venstre ses de tre tetthetsgradientkolonnene som er plassert oppi et vannbad. Til høyre ser vi et forstørret bilde av den midterste kolonnen, der man ser fem glasskuler som brukes til å kalibrere saltholdighetsgradienten, og hyseeegg mellom de to lyskildene. Kulene har nøytral oppdrift i saltholdigheter mellom 28.72 og 33.80, og de fleste hyseeeggene flyter mellom saltholdighet på 31.3 og 32.7.

The figure shows equipment for measuring the buoyancy of fish eggs. The density gradient columns are shown to the left. The right figure shows an enlarged picture of the middle column. Five glass bulbs, used to calibrate the salinity gradient, and haddock eggs floating between the two light sources, are clearly seen. The glass bulbs have neutral buoyancy from 28.72 to 33.8. Most of the haddock eggs float at salinities between 31.3 and 32.7.

En saltholdighetsgradient blir laget ved å fylle hver sylinder med vann fra to flasker. Den ene flasken inneholder vann med lav saltholdighet og den andre har vann med høy saltholdighet. Ved at vannet fra de to flaskene blir blandet, er man i stand til å lage en tilnærmet lineær saltgradient med ferskest vann på toppen og økende saltholdighet nedover kolonnen. Gradienten blir så kalibrert ved å tilsette glasskuler med kjent tetthet, og lese av hvor i kolonnen de plasserer seg. Når en så setter inn levende fiskeegg i kolonnen, vil de synke ned til det nivå der tettheten deres tilsvarer tettheten i gradienten, og denne kan dermed registreres. Slike gradienter har vist seg å være svært stabile, selv på sjøen i dårlig vær.

Hva kan vi bruke kunnskap om vertikalfordeling hos fiskeegg til?

Hos enkelte fiskearter brukes den observerte eggmengden i havet direkte til å beregne gytebestanden. I Norge har dette blitt gjort for makrell i Nordsjøen og norsk-arktisk torsk langs kysten av Nord-Norge. For å utføre slike observasjoner er det selvsagt viktig med kunnskap om eggens vertikalfordeling, slik at man vet i hvilket dyp man skal lete etter eggene. For enkelte arter, som for eksempel sardin utenfor California, brukes en såkalt eggpumpe til å samle inn eggene. Dette redskapet samler bare inn egg i ca. 2-3 m dybde. Det er da uvurderlig å ha kunnskap om hvilken vertikalfordeling eggene har og hvordan faktorer som vindpåvirket nedblanding virker inn, som vist i Figur 7.11.3. Med slik kunnskap kan en modellere eggens vertikalfordeling ved ulike vindhastigheter, og ved å måle eggmengden i overflaten kan man beregne den totale eggmengden i hele vannsøylen.

Et annet viktig bruksområde er som inngangsdata i transportmodeller. Slike matematiske modeller er ofte todelte. En del

av modellen simulerer havstrømmene i et aktuelt område (den fysiske modellen). Ved så å sette inn partikler (som representerer egg eller larver) i et simulert strømfelt, kan en, ved å kople den fysiske modellen med en modell som følger partiklene, studere transporten av partiklene over tid. De fysiske modellene er etter hvert blitt gode til å simulere havstrømmene, og de baseres på realistiske data (blant annet vind), noe som gjør at man kan simulere strømmene i et gitt tidsintervall. For at den modellerte transporten skal bli realistisk, er en imidlertid avhengig av gode data på vertikalfordeling til egg og eventuelt larver, fordi strømmen kan variere mye ved ulike dyp. Slike modeller er nå et viktig verktøy for å forstå transporten av fiskeegg og larver fra gytefeltene til oppvekstområdene, og bidrar til økt kunnskap om hva som påvirker rekrutteringen til viktige fiskebestander.

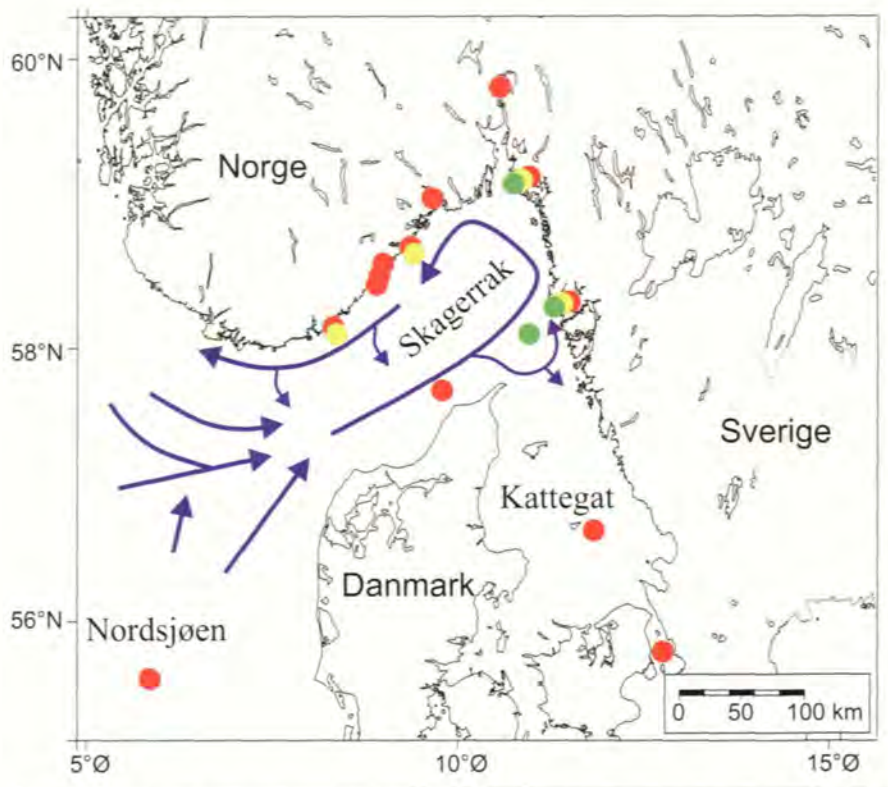
Summary

The majority of marine fish species produce pelagic eggs. Knowledge about their floating ability is vital for understanding their vertical distribution and transport in the ocean. The specific gravity of the pelagic eggs are specifically tuned to their environment; eggs spawned in the brackish water of the Baltic sea have much lower specific gravities compared to eggs spawned in the marine environment. Also among the marine eggs there are differences, eggs with high specific gravities will float deep in the water column, while eggs with lower specific gravities will tend to float in the upper water layers. The vertical distribution of the eggs in the upper water layers is strongly influenced by wind driven turbulence. On quiet days the eggs will be floating close to the surface, while on windy days they may be mixed down to about 100 m depth. Estimation of spawning stock biomass is for some species (e.g. mackerel) carried out using the numbers of pelagic eggs found in plankton samples.

Et viktig utgangspunkt for forvaltning av biologiske ressurser er kunnskap om deres romlige struktur, det vil si hvordan bestandene er avgrenset geografisk. Torsk er en viktig ressurs, både i åpne havområder og langs kysten.

Hittil har vi visst lite om kystorskens populasjonsstruktur. Det har vært uklart om kystorskens hovedsakelig består av separate, lokale populasjoner, eller om den blander seg med de store bestandene i havområdene utenfor. Dette spørsmålet er gammelt, og var i sin tid en del av grunnen til etableringen av Statens uttlekkingsanstalt i Flødevigen, som nå heter Havforskningsinstituttet Flødevigen.

Allerede på 60-tallet ble torskens gjenstand for genetiske studier med det formål å avdekke bestandsstrukturen innen arten. Slike studier bygger på prinsippet om at individer som er fra samme populasjon er nærmere i slekt med hverandre, og derfor har flere gener felles, enn de er med individer fra andre populasjoner. Bruk av genetiske metoder i populasjonsstudier har bl.a. den fordel at vi ikke trenger å følge enkeltindivider og deres vandring, noe som er både tidkrevende og vanskelig, ikke minst på egg- og larvestadiet. De første genetiske studiene kunne slå fast at skrei og kystorsk i nord ikke hører til samme bestand, men teknikken den gang var ikke god nok til å påvise de relativt små genetiske forskjellene som finnes mellom andre bestander i våre farvann.



Figur 7.12.1

Kart over Skagerrak-Nordsjøområdet med posisjoner for prøvetaking av voksen torsk (røde prikker) og skjematisk framstilling av de viktigste havstrømmene (blå piler). Stasjoner der prøver av ungtorsk ble tatt i 2000 er vist med grønne prikker (to sammenfallende med prøvetakingsstasjoner for voksen torsk), og i 2001 med gule prikker (alle sammenfallende med prøvetakingsstasjoner for voksen torsk).

Map of the Skagerrak-North Sea area with sample locations for adult cod (red dots) and depicting the predominant ocean currents (blue arrows). Locations where samples of juvenile cod were collected in 2000 are shown by green dots (two are situated at locations for adult cod sampling), and in 2002 by yellow dots (all situated at locations for adult cod sampling).

I Skagerrak er det egne fjordbestander av kysttorsk

Ved Havforskningsinstituttet Flødevigen har vi i samarbeid med Universitetet i Oslo, Biologisk institutt, foretatt nye genetiske undersøkelser av torsk basert på moderne DNA-teknikker. Metoden som er brukt er analyser av såkalte DNA-mikrosatellitter, som kort beskrevet er ikke-kodende gener som består av korte, repeterte sekvenser og der antallet repetisjoner varierer mye mellom individene. Gjennom denne analysemetoden kan ganske små genetiske forskjeller påvises. Vi har undersøkt gytemoden torsk fra Nordsjøen og kysttorsk (både voksen og ungfisk) langs Skagerrakkysten, fra Høvåg i Vest-Agder til Øresund i Sør-Sverige (Figur 7.12.1). Et batteri av ti forskjellige DNA-mikrosatellitter ble undersøkt hos hver fisk (ca. 100 voksne fisk fra hver lokalitet: røde prikker i Figur 7.12.1), og dette avdekket i alt ca. 200 ulike genvarianter. Den romlige fordelingen til disse genvariantene i Skagerrak viser at det er en statistisk holdbar tendens til at torsk fra ulike lokaliteter er mer genetisk forskjellige fra hverandre enn individer som kommer fra samme lokalitet. Med andre ord har vi å gjøre med ulike bestander (populasjoner) av kysttorsk i dette området. Disse kystbestandene gyter lokalt inne i fjordene langs kysten, og grovt sett ser det ut til at hver fjord kan ha sin egen torskbestand. Merkeforsøk har vist at kysttorsk vandrer lite, og sammen med våre genetiske resultater tyder dette på at den hovedsakelig holder seg i den fjorden den er født.

Der er likevel stor genetisk likhet mellom kysttorsk og nordsjøtorsk

Selv om analysemetoden vi har brukt er så fin at den kan påvise forskjeller mellom torskbestandene i de forskjellige fjordene, er det egentlig stor genetisk likhet mellom kystbestandene i Skagerrak. Det er også stor likhet mellom disse bestandene og torsk som gyter ute i Nordsjøen. Våre genetiske undersøkelser av ungtorsk (larver og bunnslått 0-gruppe) fra Skagerrak gir en forklaring på denne høye graden av genetisk likhet, da vi finner at ungtorsken i Skagerrak kan være født i Nordsjøen. Dette betyr at torskelarver driver med havstrømmene fra Nordsjøen inn til Skagerrakkysten, der de tilsynelatende blander seg med stedegen torsk. Dette fenomenet observerer vi både langs norske- og svenskekysten, men slik inndrift av larver ser ut til å være et variabelt fenomen. I to år (2000 og 2001) har vi undersøkt den genetiske sammensetningen av ungtorsk på et utvalg av stasjonene (grønne og gule prikker i Figur 7.12.1), og resultatene er helt forskjellige i de to årene. I 2001 undersøkte vi ungfisk fra fire ulike lokaliteter i Skagerrak (100 larver eller 0-gruppe fisk fra hver lokalitet), og fant på alle lokalitetene at ungfisken var genetisk sett mer lik voksen torsk fra Nordsjøen enn fra de samme lokalitetene i Skagerrak.

Året før, derimot, fant vi ingen slik tendens, og ungfisken fra de tre lokalitetene som ble undersøkt det året representerte sannsynligvis lokalt produsert kysttorsk.

En viktig årsak til en slik variabel drift av larver inn til Skagerrak ligger trolig i strømforholdene i Skagerrak-Nordsjøområdet under gytetiden og like etterpå, når larvene fortsatt er pelagiske. Ved å beregne denne strømkomponenten (ved hjelp av en matematisk modell) for de to aktuelle årene, fant vi at havstrømmen fra Nordsjøen inn mot Skagerrak var langt sterkere i gyte- og larveperioden (mars-april) i 2001 enn i samme periode året før. Våre resultater er også i overensstemmelse med observasjoner gjort av ICES langs den svenske vestkysten, der man i 2001 fant den nest største registreringen på 25 år av ungtorsk. Dette er ungtorsk som sannsynligvis stammer fra Nordsjøen, ifølge våre analyser fra Gullmarfjorden. Videre undersøkelser vil bli gjort for å se om 2001 var et spesielt år mht. larvedrift av torsk fra Nordsjøen, eller om slik larvedrift er et vanlig forekommende fenomen.

Betydning for forvaltning av kysttorsk

At kysttorsk er delt inn i separate bestander, som bare i begrenset grad blander seg med hverandre, innebærer at bestandsutviklingen i stor grad påvirkes av lokale forhold. Dette bør tas hensyn til i forvaltningen av kysttorsk og ved utarbeiding av lokale og regionale planer for kystsonen. Spesielt bør fisketrykktet tilpasses rekrutteringsgrunnlaget i de lokale bestandene, og viktige lokale gyte- og oppvekstområder i kystsonen bør identifiseres og sikres mot utilsiktede inngrep. Resultatene våre tyder også på at kysttorsk ikke kan ses isolert fra Nordsjøtorsk, og det synes klart at larvedrift fra Nordsjøen bidrar i alle fall genetisk til kysttorskbestandene, og trolig også til bestandsutviklingen hos disse. Videre undersøkelser av populasjonsdynamikken til torsk i Nordsjøen og tiliggende kystområder vil være avgjørende for forståelsen og forvaltningen av dette bestandskomplekset.

Summary

A recent study of cod genetics in Skagerrak has shown that coastal cod is subdivided into local populations that are separated from each other and partly also from cod in the North Sea. Cod populations in the Skagerrak-North Sea area are nevertheless quite similar genetically, and our results indicate that this is due to drift of cod larvae from the North Sea to the coast of Skagerrak. In other words, cod in the Skagerrak-North Sea area appear to represent a population complex containing both ocean spawning and coastal spawning populations. This poses great challenges for the management of cod in this area.

Trygve Gytre

Når en gass kommer i kontakt med vann, vil en del gassmolekyler legge seg inn i ledige hulrom i og mellom vannmolekylene og derved bli til usynlig, oppløst gass. Alt vann i naturen inneholder oppløste gasser, deriblant oppløst oksygen. Før oksygenet er blitt oppløst i vann er det biologisk utilgjengelig. Selv landdyr som oss mennesker er avhengige av at oksygenet vi puster inn umiddelbart løses opp i vårt vannholdige blod. Først da kan oksygenet inngå i våre livsprosesser. Denne artikkelen handler om havets oppløste oksygen.

Løsbarehet

Havets evne til å løse opp oksygen avhenger hovedsakelig av vannets temperatur, vannets saltinnhold, og oksygenets andel av det totale gasstrykk, det såkalte "oksygendeltrykket" eller oksygenets partialtrykk. Ved enhver kombinasjon av trykk, temperatur og saltholdighet finnes der en likevektsløsbarehet der vannet er "mettet" på oksygen. Løsbareheten øker med partialtrykket og avtar med økende temperatur og saltholdighet. Så snart det oppstår en situasjon der løsbareheten enten stiger eller synker, vil vannmolekylene henholdsvis jakte etter ledige oksygenmolekyler, eller prøve å kvitte seg med overskuddet ved å skille ut gassbobler. Siden det er styrken av oksygenets partialtrykk som driver oppløst oksygenmolekyler gjennom biologiske membraner og derved inn i det levende liv, er partialtrykket en meget viktig biologisk parameter.

Produksjon av oksygen

Havets innhold av oppløst oksygen er resultatet av en dynamisk balanse mellom prosesser som forbruker oksygen og prosesser som tilfører oksygen. Tilført oksygen kommer hovedsakelig fra atmosfæren og ikke minst fra fotosyntesen i vannplanter.

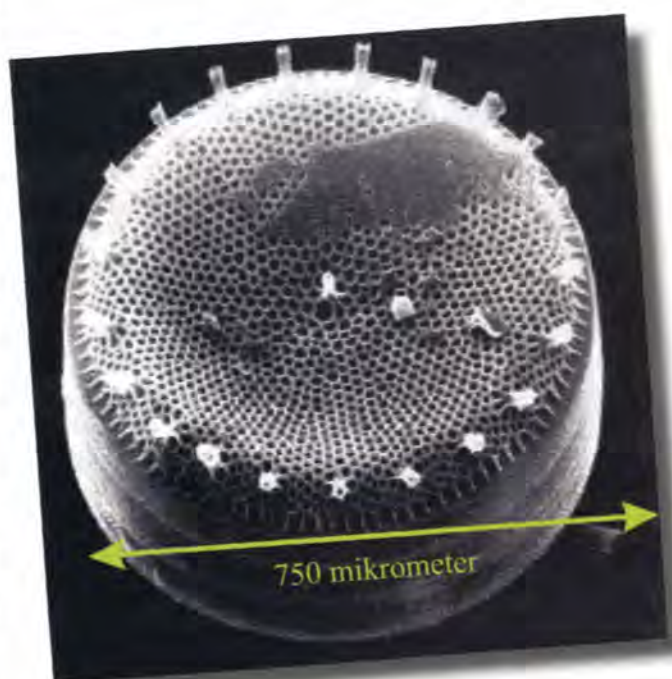
Fotosyntesen er en genial kjemisk prosess som produserer karbonhydrater i klorofyllholdige planter ved hjelp av sollys. Havets fotosyntesere: planktonalger, makroalger og enkelte bakterier, inneholder pigmenter og fotosyntesesentre som lager karbohydrater og oksygen ved hjelp av vann, og karbondioksid fra havet og lysenergi fra solen.

I sin enkleste form kan prosessen beskrives ved hjelp av likningen under:



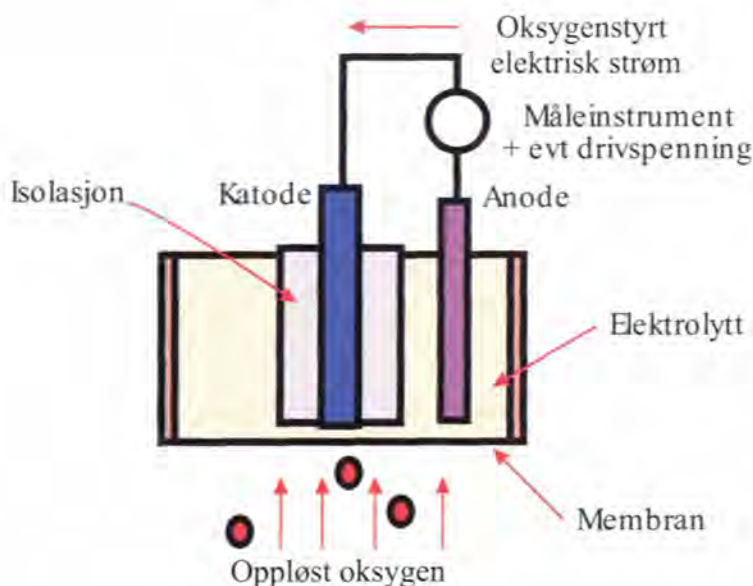
Likning 1 forteller at fotosyntesen benytter grupper av seks karbondioksidmolekyler og seks vannmolekyler fra vannet til å bygge et energirikt hydrokarbonmolekyl (glukose). Samtidig skaper prosessen seks nye oksygenmolekyler. Glu-kose er et eksempel på den form for kjemisk energi som vi i dagligtalen kaller mat. Hydrokarbonmaten som dannes ved fotosyntese lagres i algene. Algenes eget stoffskifte produserer deretter "tilleggsmat" i form av proteiner og fett. Små plantespisende dyr spiser små alger. Så spiser større dyr mindre dyr, hvorpå havets næringskjede er i full gang. Fordi fotosyntesen er starten på havets produksjon av mat, kalles fotosyntesen for havets primærproduksjon.

Oksygenet som skapes under fotosyntesen er utgangspunktet et biprodukt. Hovedhensikten er å lage hydrokarboner. Noen få prosent av det produserte oksygenet brukes internt til plantenes eget stoffskifte, og overskytende oksygen slippes ut i havet. Havets flittigste produsenter av oksygen er de små encellede kiselalgene (Figur 7.13.1). Enkelte arter klarer



Figur 7.13.1
En av våre beste oksygen-produsenter, en planktonalge (kiselalge).
One of our best oxygen producers, a diatom.

A Måleprinsipp



B Eksempel på en elektrokjemisk celle



Figur 7.13.2

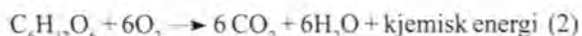
A. Prinsipp for oksygenmåling med elektrokjemisk celle. Strømmen av oksygenmolekyler gjennom membranet styrer den målbare elektriske strømmen mellom anode og katode. B. Eksempel på en kommersiell elektrokjemisk celle.

A. The electrochemical oxygen cell. Reduction of oxygen at the cathode generates an oxygen controlled and measureable electric current between anode and cathode. B. A commercial electrochemical oxygen cell.

faktisk å omforme opp til 55 % av den mottatte solenergi til kjemisk energi. Det er langt bedre enn hva menneskeskapt teknologi klarer. Planktonets totale, årlige produksjon av oksygen anslås til rundt 30 milliarder tonn. Det meste av dette oksygenet havner i jordens atmosfære. Det oksygenet som både vi mennesker og andre landdyr nå puster inn, har derfor høyst sannsynlig en gang passert et kiselalgeskall.

Livet forutsetter adgang til oksygen

Mens plantene lager egen mat ved hjelp av solenergi, må dyrene i havet enten skaffe seg energi ved å spise planter direkte, eller ved å spise dyr som på et eller flere lavere næringsstrinn har spist planter. Prosessen som omdanner mat til energi kalles for respirasjon. Både planter og dyr forbruker oksygen under nedbrytningen av kjemiske forbindelser (mat) til kjemisk energi. Under respirasjonen blir karbon og hydrogenholdige matmolekyler tilbakedannet til karbondioksid, vann og gjen-vunnet energi. Prosessen forutsetter nærvær av oksygen. Likning 2 beskriver hvordan dette skjer.



Den kjemiske energien lagres i cellene som såkalte ATP-molekyler.

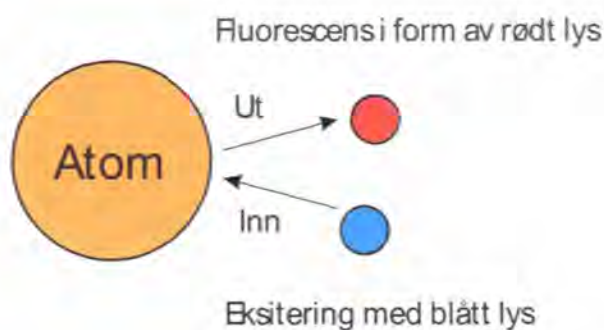
Litterært sett er likningene (1) og (2) kjedelig lesning, men det er bare tilsynelatende.

Egentlig er likningene et vitenskapelig uttrykk for livets dramatiske kamp for tilværelsen. Likning 1 beskriver den oppbyggende prosessen som gjør karbondioksid, vann og solenergi om til mat og oksygen, mens likning 2 beskriver den like viktige nedbrytende prosessen som "fordøyer" mat og oksygen til karbondioksid, vann og energi. Livet selv er egentlig bare en animering av disse to likningene!

Varierende oksygenbehov

Skal livet i havet fungere, må de levende deltakerne få nok oksygen til sine livsprosesser. Uten nok tilgang på oksygen stanser likning 2 opp. En laks i oppdrett trenger f. eks. 1 - 5 mg oksygen / kg / minutt avhengig av vanntemperatur, størrelse og aktivitetsnivå. Ved føring doubles oksygenbehovet i forhold til behovet ved hvile. Generelt får de fleste fiskearter det vanskelig dersom oksygeninnholdet blir lavere enn 5-6 mg oksygen per liter vann. Vill fisk berger seg ved å svømme til steder med mer oksygenholdig vann, mens innesperret oppdrettsfisk først vil miste matlysten og deretter begynne å dø. Sterkt overmettet vann er heller ikke bra. Vannet vil da skille ut utallige små gassbobler som kan blokkere fiskens gjellefunksjoner og derved forårsake kvelningsdød.

I kyst- og fjordområder kan overgjødning på grunn av tilsig av fosfater og nitrater fra industri og landbruk gi dramatiske effekter på oksygenbalansen. I overflaten fører mye næring til sterk algevekst. Når algene og annen produksjon dør, synker



Figur 7.13.3

Fluorescens oppstår når et atom eksiteres av innkommende fotoner (f. eks. i form av blått lys) og deretter returnerer fotoner med litt lavere energi (f. eks. i form av rødt lys).

Fluorescence. An atom is excited by high energy photons (f. inst. blue light) and reradiates low energy photons (f. inst. red light).

de ned i dypere vannlag der de brytes ned av bakterielle prosesser som krever mye oksygen. I dypet og ved bunnen kan det derfor oppstå en så sterk mangel på oksygen at alle dyr inklusiv fisk drives ut. Det pulserende, artsrike livet forsvinner, og biologien "kupes" av fosfat-, ammonium- og svovelvannstoff-produiserende bakterier som benytter andre stoffer enn oksygen i respirasjonen.

Måling av oksygen

Siden oksygeninnholdet er så avgjørende for livet i havet, er det særdeles viktig å kunne måle og overvåke vannets oksygeninnhold. I særlig grad er oksygenmåling blitt viktig for oppdrettsnæringen.

Mengden av oppløst oksygen i vann presenteres på to hovedmåter:

- **Metningsgraden** angir forholdet mellom den eksisterende oksygenkonsentrasjon og den konsentrasjonen man ville målt ved 100 % metning, dvs. når konsentrasjonen av oppløst oksygen = oksygenets løsløshet.
- **Oksygenkonsentrasjonen** viser direkte hvor mange mg, ml eller mikromol oksygen som er oppløst i en liter av det aktuelle vannet.

Grovt sett har vi nå tre hovedmåter å måle oksygen på:

- gjennom kjemisk titrering
- med elektrokjemiske celler
- med fluorescensprobe

Kjemisk titrering

Kjemisk titrering-metoden (Winklers metode) går i prinsippet ut på å måle hvor mange oksygenmolekyler som befinner seg i en vannprøve med kjent volum. Prosessen starter med at det samles inn vannprøver i felt. Det innsamlede vannet tilsettes

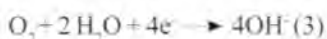
kjemikalier som via flere delreaksjoner danner en mengde jodin (I_2) som står i forhold til den opprinnelige prøvens oksygenmengde. Iodinet gir oppløsningen en gyllengul farge som eventuelt kan gjøres blå ved tilsetning av stivelse. Mengden av jodin (og derved mengden av oppløst oksygen) bestemmes i laboratoriet ved å titrere med natriumthiosulfat inntil iodinet er nøytralisert og prøven endrer farge. Forbruket av thiosulfat gir grunnlag for å beregne oksygeninnholdet.

Fordelen med Winklers metode er at den er nøyaktig og stabil. Ulempen er at den er tidkrevende og krever adgang til kjemisk laboratorium og kjemisk ekspertise. I dag brukes derfor denne metoden mest til referansemålinger, til kalibrering av andre typer oksygenmålere og til måleoppgaver der tid mellom måling og resultat ikke er kritisk. Moderne og travle brukere ønsker i stigende grad å måle oksygen direkte ved hjelp av "elektriske" målemetoder.

"Elektrisk" oksygenmåling

Fordelen med et målesignal i form av en elektrisk strøm eller en elektrisk spenning er at elektriske signaler uten videre kan behandles og presenteres ved hjelp av kjent og billig teknologi. "Elektrisk" oksygenmåling er i dag først og fremst basert på den elektrokjemiske cellen.

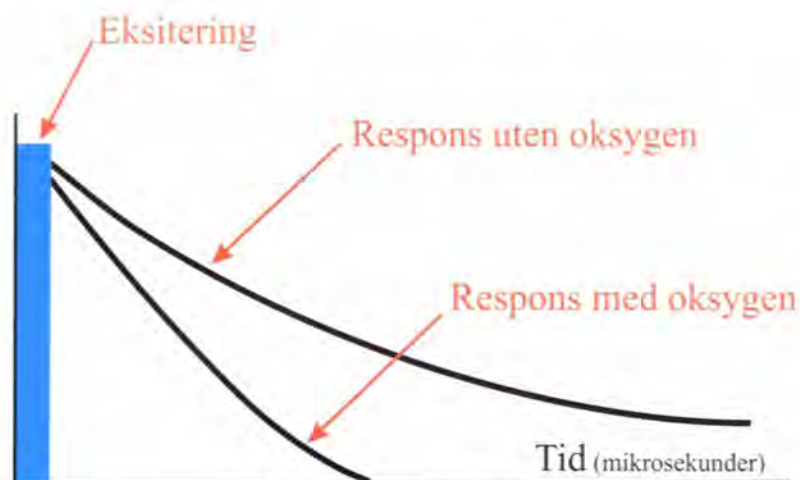
En typisk elektrokjemisk celle har fire basiskomponenter: En katode, en anode, en elektrolytt og et membran som lar oksygenmolekyler passere mens det stenger for uønskete ioner og molekyler (Figur 7.13.2). Drevet av oksygenets partialtrykk vil oppløste oksygenmolekyler utenfor cellen diffundere gjennom membranen der de umiddelbart "redueres" av elektroner fra katoden. Den kjemiske reaksjonen ved katoden er:



(Reaksjonen forutsetter at katoden holdes på et tilstrekkelig negativt potensial i forhold til anoden, f. eks. ved hjelp av en ytre drivspenning, se Figur 7.13.2)

Likning 3 forteller at hver gang et oksygenmolekyl treffer katoden, så går det en elektrisk strøm av fire elektroner mellom anode og katode. I praksis treffes katoden av flere millioner oksygenmolekyler i sekundet, og resultatet blir en målbar, elektrisk strøm mellom anode og katode som er proporsjonal med oksygenets partialtrykk. Sammen med informasjon om temperatur, trykk og saltholdighet gir en elektrokjemisk celle grunnlag for beregning av både metningsgraden og konsentrasjonen av oppløst oksygen i f. eks. mg/l. Det er først og fremst amerikaneren Clarks innføring av membranen som har gjort den elektrokjemiske cellen så anvendelig. Membranet gjør det f. eks. mulig å kalibrere cellen i luft.

Godt vedlikeholdte elektrokjemiske celler kan gi pålitelige måledata med nøyaktighet rundt +/- 0,1 mg/l. Dessverre har den elektrokjemiske cellen flere iboende svakheter. Elektrolytten kan lekke ut. Membranen kan forandre tykkelse og gjennomtrengelighet. Dette gjør at cellen trenger hyppig



Figur 7.13.4

Prinsipp for måling av oksygen via fluorescens. Et fluoriserende materiale eksiteres med kortvarige blå lyspulser og svarer med å sende ut mer langvarige røde lyspulser. Nærvær av oksygen reduserer fluorescensens varighet. Prosessen følger Stern-Volmers likning $T_0/T = 1 + K_Q(Q)$. T_0 og T er fluorescensens varighet henholdsvis uten og med oksygen. K_Q er en konstant, mens Q er oksygenkonsentrasjonen.

Principle for measurement of dissolved oxygen via fluorescence. A fluorescing material is excited with short pulses with blue light and responds by reemitting long pulses with red light. Presence of oxygen reduces the duration of red light pulses.

rekalibrering. Tykkere og mer stabile membraner reduserer probens følsomhet og øker reaksjonstidstiden. Begroing og bakterievekst på membranet er et konstant problem når oksygensensoren er utilgjengelig for vedlikehold. I tillegg forbraker cellen oksygen, og for å oppnå korrekte målinger må derfor vannet utenfor en elektrokjemisk celle stadig fornyes.

Produsentene av elektrokjemiske celler lanserer stadig nye forbedringer av den elektrokjemiske oksygen cellen, men uansett raffinement og finesser kommer man ikke forbi at elektrokjemiske prosesser er vanskelig å kontrollere. Jakten på alternative målemetoder har pågått lenge. Dagens mest lovende alternative måleprinsipp er basert på fluorescens.

Hva er fluorescens?

Fluorescens er en atomær prosess som skjer når en gruppe av egnete atomer mottar energi ("eksiteres") av energirike fotoner, f. eks. i form av blått lys. De eksiterte atomene vil i løpet av noen mikrosekunder "fluorescere" ved å stråle tilbake lys med litt lengre bølgelengde (f. eks. rødt lys). Figur 7.13.3 illustrerer prosessen.

Oppløst oksygen har ingen fluoriserende egenskaper i seg selv, men oppløst oksygen i kontakt med et fluoriserende materiale gjør fluorescensen mindre intens og mer kortvarig. Figur 7.13.4 viser den prinsipielle sammenhengen mellom oksygenkonsentrasjon og fluorescensens varighet. Jo høyere oksygenkonsentrasjon, dess kortere varighet. Dette kan brukes til måling av oksygen! Figur 7.13.5 viser oppbygning og realisering av en fluorescensbasert oksygensensor. Detek-

sjonen av oksygen i denne sensoren (Aanderaa Instrument sensor 3990) skjer i et oksygengjennomtrengbart membran som inneholder et kompleks av fluoriserende mineraler. Membranet bestråles bakfra med impulser av blått lys fra en lysdiode. Mineralene i membranet svarer med å returnere pulser med rødt lys til fotodetektoren i midten. I oksygenholdig vann vil oksygemolekyler fra vannet vandre inn i membranet og redusere fluorescensens varighet. Elektroniske målekretser bak fotodetektoren omformer fluorescensens varighet til et kalibrert elektrisk målesignal. Under prosessen blir rødt referanselys brukt til intern kalibrering. Imotsetning til elektrokjemiske celler er fluorescensprober helt uavhengig av omrøring. Den kan også gjøres ganske ufølsom for begroing. Fravær av all elektrokjemi gjør den elektrokjemiske cellens driftsproblemer uaktuelle.

Lovende, men kostbar

Fluorescens er en godt forstått fysisk prosess. Fluorescens sammen med moderne elektronisk teknologi har derfor potensial til å utkonkurrere den elektrokjemiske cellen og bli en ledende oksygensensortype. Foreløpig er bruken av fluorescensbaserte oksygenprober relativt lite utbredt. Det skyldes i stor grad at det ennå er kostbart, og at det er vanskelig både å bearbeide informasjonen og å produsere fluoriserende membraner med tilfredsstillende følsomhet, stabilitet, holdbarhet og responstid. Resultatet er høye priser og avventende kunder. Erfaring tilsier at industrien alltid klarer å lage avanserte produkter til en lav pris dersom bare markedet er stort nok. Skal markedet for fluorescensprober bli stort, må imidlertid prisen ned. En av mulighetene for prisreduksjon ligger i bruk av nanoteknologi.

Nanoteknologi

Nanoteknologi er en fremtidig og sannsynligvis meget kosteffektiv produksjonsmetode som går ut på å etterlikne naturens evne til å bygge små, kompliserte og ofte vakre strukturer ved å plassere utvalgte enkeltatomer side ved side etter en overordnet genetisk plan. Både kiselalgen i Figur 7.13.1 og ikke minst internstrukturen i algens fantastiske kloroplastmolekyler, der fotosyntesen foregår, er utmerkete eksempler på naturens nanoteknologi.

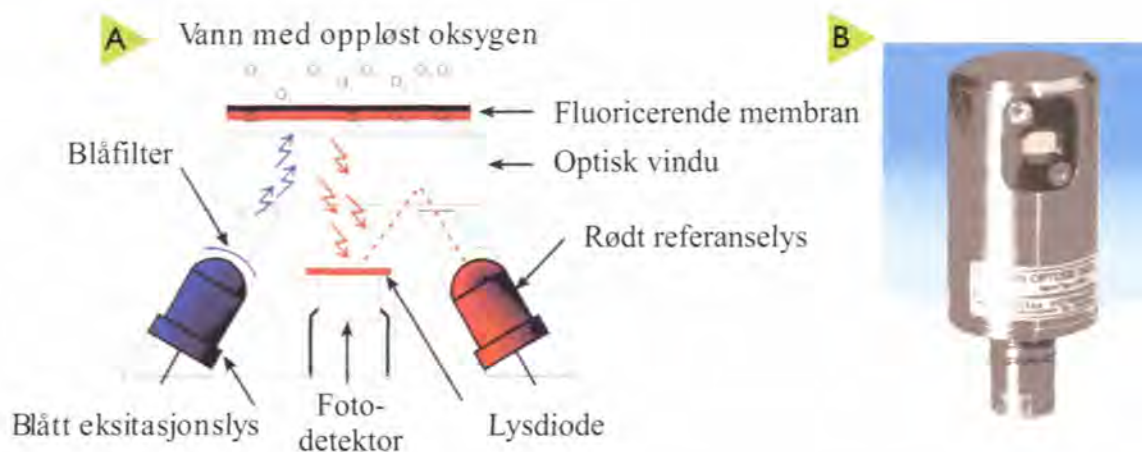
Ved veis ende?

Vi er neppe ved veis ende i valg av måleprinsipp. Oksygen inngår i utallige kjemiske reaksjoner og prosesser, og mange av disse kan sannsynligvis danne basis for fremtidige målemetoder. Fluorescensbasert oksygenmåling er avgjort en meget lovende teknologi, og særlig hvis fluorescensmåle-prinsippet kombineres med nanoteknologi. Kanskje blir fremtidens oksygenmåler rett og slett en frimerkestor, nanoteknologisk fremstilt membran med intelligente molekyler som nærmest

gratis danner og registrerer fluorescensen og deretter behandler og presenterer informasjonen?

Summary

Most of the oxygen in the atmosphere and in the sea is basically a result of oxygen producing photosynthesis in algae and other green plants during millions of years. When oxygen gas comes in contact with water, a limited number of oxygen molecules will find a vacant space inside the water molecules and by this become dissolved oxygen. Access to dissolved oxygen is a must for life processes both on land and in the sea. In order to understand and control life processes in the sea efficient dissolved oxygen instrumentation is needed. Traditionally chemical analysis (Winkler's method) and electrochemical (Clark type) cells have been the preferred ways to measure dissolved oxygen in water. Both methods have their shortcomings. A new method for oxygen measurement based on oxygen effects on fluorescence may be a future winner.



Figur 7.13.5

Oppbygging av en kommersiell fluorescensbasert målecelle (Aanderaa sensor 3930). A. Måleprinsipp, B. Praktisk utførelse.
Design of a commercial fluorescence based oxygen sensor. A. Principle of measurement, B. Instrument design.

Tone Falkenhaug og Odd Aksel Bergstad

Vi vet at fiskebestandene og økosystemene i dyphavet er svært sårbare for menneskapt påvirkning gjennom fiskerier o.a. Kunnskapsmangelen om de åpne havs dyresamfunn og systemer er imidlertid fortsatt meget stor. Det er behov for målrettet innsats for å vinne ny og viktig viten, som bidrag til en bærekraftig internasjonal forvaltning av både ressurser og biologisk mangfold.

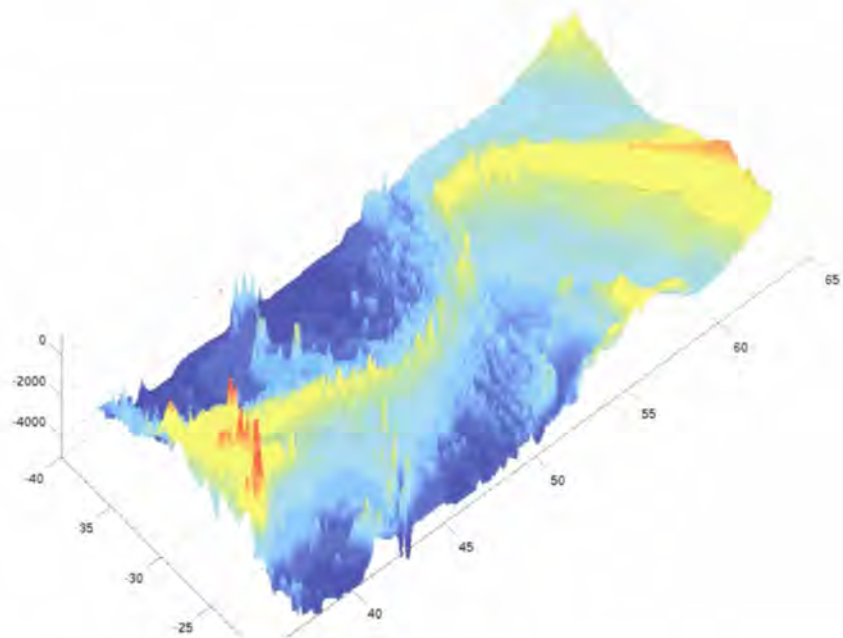
MAR-ECO gir ny giv til internasjonal biodiversitetsforskning i Midt-Atlanteren

Et forent internasjonalt forskningsprogram har større gjennomslagskraft enn en nasjonal innsats i prosessen fram mot internasjonal enighet i ressurs- og miljøforvaltning. Norge tok derfor i 2001 initiativet til et større samarbeidsprosjekt i Nord-Atlanteren, MAR-ECO, en forkortelse av "Mid-Atlantic Ridge ecosystems". Fokus i prosjektet er dyrelivet langs Den midtatlantiske rygg, den enorme fjellkjeden som strekker seg midt i Atlanterhavet fra Island til Sydishavet (Figur 7.14.1). De midtoseaniske ryggene representerer store, men lite undersøkte områder. Deres økologiske betydning, også for de mer produktive økosystemene langs kontinentene, er svært uklar.

Prosjektet har utviklet et nettverk av forskere fra landene rundt Nord-Atlanteren, og ledes av en internasjonal styringsgruppe med medlemmer fra sju land. Koordinerende institusjoner er Havforskningsinstituttet og Universitetet i Bergen. MAR-ECO har status som et feltprosjekt under det globale programmet Census of Marine Life, og A.P. Sloan Foundation i New York har bevilget betydelige midler til planleggingsfasen i 2001-2003 og den tre-årige feltfasen som ble innledet sommeren 2003. Arbeidet er utpreget tverrfaglig og internasjonalt. Her åpner det seg store muligheter for norske forskere og teknologimiljøer til å bidra til nyvinning, spennende

opdagelser og kontaktskapende forskning og utvikling. Norge skal bidra med fartøytid med FF G.O. Sars sommeren 2004, samt personell og kompetanse. Gjennom det nye forskningsfartøyet FF G.O. Sars kan vi integrere det ypperste innen norsk marin teknologi på én plattform. Dette gjør ekspedisjonen i 2004 til et utstillingsvindu for norsk teknologi og kompetanse.

Målet for prosjektet er at det skal munne ut med en bedre oversikt over hvilke dyrearter og dyresamfunn som lever langs Den midtatlantiske rygg, hvilke utbredelsesmønstre de har og hvordan de lever sammen. Hvor får de sin føde fra og hvem spiser hvem? Hvilke tilpasninger gjør dem i stand til å leve og formere seg, og hvilket genetisk slektskap har de til artsfrender langs kontinentene? Nye og spennende arter vil bli beskrevet. Dyregruppene man har hovedfokus på er fisk, krepsdyr, blekksprut og geléplankton samt bunnlevende dyregrupper.



Figur 7.14.1

MAR-ECO skal arbeide langs Den midtatlantiske rygg mellom Island (høyre) og Azorene (venstre). Dybdeakse i meter, horisontale akser refererer til grader nord og vest.

The MAR-ECO study area extends from the Icelandic shelf (right) to the Azorean archipelago (left). Depth in m, horizontal axes in degrees North and West.



Figur 7.14.2

Den russiske bemannede farkosten MIR-II klar til dykk i Charlie-Gibbs Fracture Zone.
The Russian manned submersible MIR-II being launched in the Charlie-Gibbs Fracture Zone.

MAR-ECO skal benytte den ypperste observasjons- og samplingsteknologi for å takle utfordringene ved å arbeide på store dyp i vanskelig terreng. Moderne teknologi stilles til disposisjon for et internasjonalt team av biologer som sjelden får slike muligheter. Teknologiske hjelpemiddel som ubemannede farkoster med avanserte videokamera og spesialtilpassede akustiske instrumenter setter oss i stand til å observere dyptlevende dyr i sitt rette element på flere tusen meters dyp.

Spennende resultater allerede oppnådd

MAR-ECO er et nyvinningsprosjekt som selv i planleggingsfasen fikk en betydelig oppmerksomhet. De første toktene til Den midtatlantiske rygg ble gjennomført sommeren 2003 med forskningsfartøyer fra Island, Russland, Tyskland, UK og Portugal.

I juni 2003 reiste det russiske fartøyet *Akademik Mstislav Keldysh* til Charlie-Gibbs Fracture Zone – en revne i Den midtatlantiske rygg hvor dypvannet strømmer mellom de to bassengene på hver side av ryggen. Med to bemannede undervannsfarkoster (MIR I & II) dykket det amerikanske og russiske mannskapet ned i den dype kløften og fikk for første gang studert dyrelivet helt ned til 4500 m dyp (Figur 7.14.2).

Det som var mest overraskende på dette store dypet var de store mengder av "marin snø", dvs. organisk materiale, som føres ned til dypet fra det produktive overflatelaget. Denne nedsynkingen later til å være både hurtigere og større enn man tidligere har regnet med, og dette vil ha betydning for ernæringsforholdene i dypet. Et av målene med MAR-ECO er å studere de ulike prosesser som påvirker den vertikale transporten av energi fra overflaten til bunn.

MIR-ubåtene undersøkte to områder med forskjellig bunntopografi. Det første området var karakterisert av svært uregelmessig hardbunn med stein og fjellformasjoner av vulkansk opprinnelse, der overflaten var dekket med store mengder svamp, sekkedyr og koralldyr. I slike områder vil det være helt umulig å foreta bunntåling, og direkte observasjon ved hjelp av undervannsfarkoster vil være den eneste måten å få studert dyrelivet på. Ubåtene besøkte også et område med slakere bunntopografi. Her var bunnen dekket med tykke lag av sedimentert materiale, der man så spor etter stor aktivitet av gravende organismer. Like over bunnen var det store forekomster av en gruppe planktoniske kappedyr (appendikularier), som livnærer seg av å filtrere organisk materiale fra vannmassene.



Figur 7.14.3

Bathysaurus ferox fotografert fra MIR på 4500 m i Charlie-Gibbs Fracture Zone.

Bathysaurus ferox, a demersal telost fish observed at 4500 m in the Charlie-Gibbs Fracture Zone.

De totalt 16 timene som ble tilbragt dypere enn 3000 m, ga forskerne et unikt bilde av miljøforhold og dyreliv i et lite og spesielt område av Den midtatlantiske rygg. Man er overrasket over den store mengden og variasjonen av dyrearter som ble observert. I løpet av to dykk ble det registrert minst seks forskjellige fiskearter, blant dem mange yngre individer av Macrourider (skolestliknende arter). Det ble gjort unike filmopptak av sjøiljer (Crinoidea), sjøpølser (Holothuroidea), trollhummer (Galatheidea), reker, blekk-sprut (Octopoda) og et uidentifisert dyr som muligens tilhører gruppen *enteropneusta*. Dyreliv og bunnforhold ble dokumentert med video og stillbilder, som skal brukes for

å identifisere de observerte artene. Figurene 7.14.3 – 7 viser et utvalg av dyr som ble observert. I tillegg til fotografisk dokumentasjon ble det samlet inn en rekke organismer som skal analyseres av eksperter på land.

Det har også vært annen aktivitet innen prosjektet i 2003. Samtidig som RV Akademik Mstislav Keldysh opererte i Charlie-Gibbs Fracture Zone, satte forskningsfartøy fra Island, Russland og Tyskland kursen mot det nordlige om-rådet av Midt-Atlanteren. Den russiske båten RV Smolensk og den tyske RV Walther Herwig tok prøver av dyreplankton, uer og annen pelagisk fisk. Den islandske



Figur 7.14.4

En representant for fiskefamilien Ophididae fotografert fra MIR på 4500 m i Charlie-Gibbs Fracture Zone.

An Ophidid fish observed at 4500 m in the Charlie-Gibbs Fracture Zone.



Figur 7.14.5

En eiendommelig åttearmet blekksprut fra familien Opisthoteuthidae, fotografert fra MIR.

A cirrate octopod, an opisthoteuthid, photographed from the MIR.

RV Arni Fridriksson samlet informasjon om næringsalter, fytoplankton, zoo-plankton og mesopelagisk fisk over Reykjanesryggen. Disse fartøyene deltok i ICES-koordinerte undersøkelser av uer (*Sebastes* sp.) i Irmingerhavet, men toktene var utvidet for å kunne bidra med data og materiale til MAR-ECO. Materiale fra disse toktene vil danne grunnlag for studier av fødekjeder i det pelagiske økosystemet over den nordlige delen av Den midatlantiske rygg. I den sørlige delen av undersøkelsesområdet drar MAR-ECO nytte av data og materiale fra EU-prosjektet OASIS, som har som formål å studere økosystemer knyttet til undersjøiske fjelltopper, "seamounts". I løpet av 2003 har portugisiske, tyske

og britiske forskningsfartøyer foretatt prøvetaking ved et undervannsfjell kalt Sedlo nord for Azorene.

Følg med i fortsettelsen!

2004 blir et viktig og utfordrende år for MAR-ECO. Detaljplanleggingen av et tomåneders tokt med FF G.O. Sars er godt i gang, og forventningene er store. Ytterligere tokt i 2005 og seinere er under planlegging i ulike samarbeidsland.

Prosjektet driver en allsidig formidlingsaktivitet, og mer informasjon og bakgrunnsstoff finnes på nettsiden www.mar-eco.no.

Summary

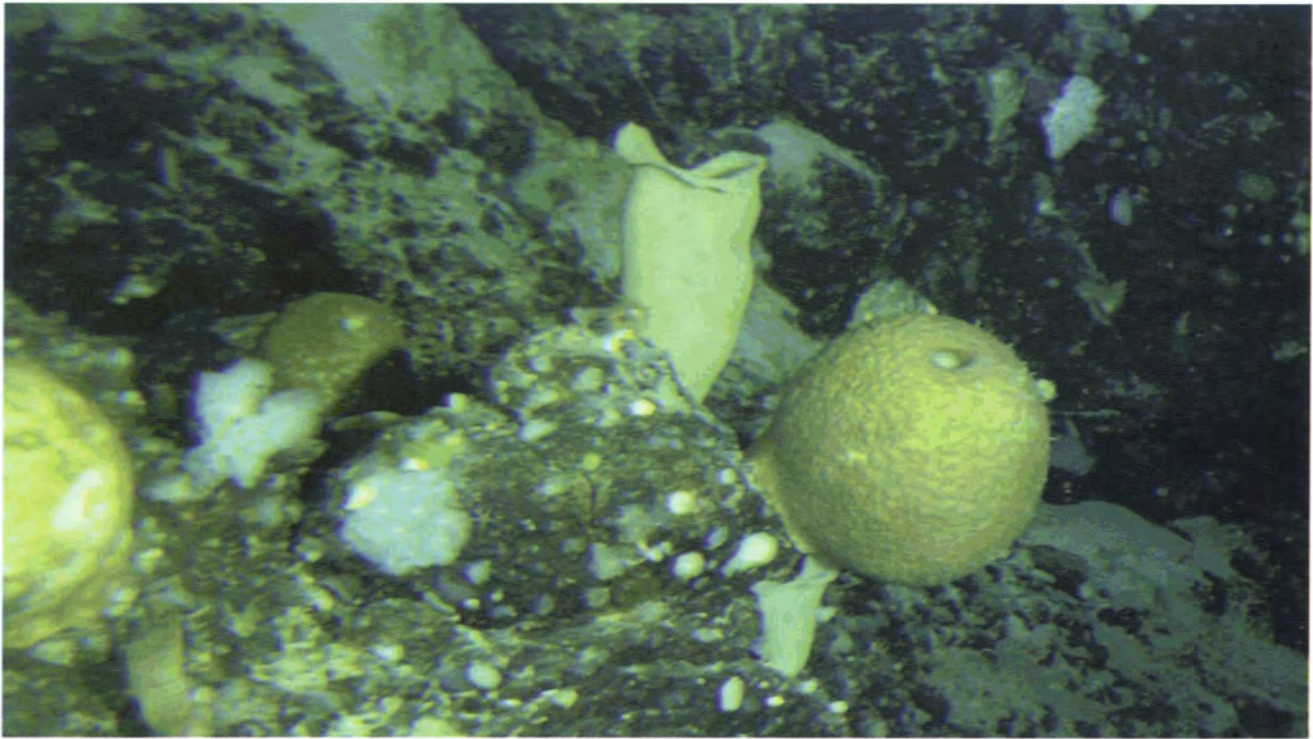
The macro- and megafauna of the waters associated with the Mid-Atlantic Ridge between Iceland and the Azores is the target of the international investigation MAR-ECO, a field study of the Census of Marine Life programme. MAR-ECO gathers new knowledge on biodiversity, distribution patterns and ecological processes; and focuses on pelagic, benthopelagic and epibenthic animals, analysing distribution and abundance patterns in relation to the abiotic and biotic environment. Fish, crustaceans, cephalopods and gelatinous plankton and nekton have the highest priority in the study. A central aim is to utilise modern remote sensing technology (acoustics, optics) and advanced instrument carriers (e.g. towed vehicles, ROVs). The project, led by the Institute of Marine Research and the University of Bergen, entered its field phase in 2003. Exciting results have already been obtained by Russian, US, Icelandic, and Portuguese vessels and scientists. In 2004, a two-month international cruise will be carried out by the RV G.O. Sars, and further field efforts are being planned for 2005 and possibly subsequent years.



Figur 7.14.6

En svømmende sjøpølse. Dyptlevende sjøpølser finnes ofte både oppe i vannsøylen og ved bunnen.

A swimming holothurian or sea cucumber.



Figur 7.14.7

Elegante glassvamper, typiske representanter for hardbunnsfaunaen i Charlie-Gibbs Fracture Zone.
Glass sponges, typical hard-bottom animals of the Charlie-Gibbs Fracture Zone.