



Vandmiljøplanens
Overvågningsprogram 1994

Marine Områder

Fjorde, kyster og åbent hav

Faglig rapport fra DMU, nr. 142
1995

Karsten Dahl

Gunni Ærtebjerg

Jørgen Nørrevang Jensen

Torkel Gissel Nielsen

Dennis Lisbjerg

Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi

Dorte Krause-Jensen

Peter Bondo Christensen

Afdeling for Sø- og Fjordøkologi

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
November 1995

Datablad/Data Sheet

Titel/Title:	Marine Områder - Fjorde, kyster og åbent hav <i>Marine Areas - Inlets, Coasts and Open Sea</i>	
Undertitel/Subtitle:	Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994 <i>The Monitoring Programme under the Action Plan for the Aquatic Environment 1994</i>	
Forfattere/Authors:	Karsten Dahl, Gunni Ærtebjerg, Jørgen Nørrevang Jensen, Torkel Gissel Nielsen, Dennis Lisbjerg, Dorte Krause-Jensen*, Peter Bondo Christensen*	
Referee/Referee:	Flemming Møhlenberg	
Afdelingsnavne/ Departments:	Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi <i>Department of Marine Ecology and Microbiology</i> *Afdeling for Sø- og Fjordøkologi *Department of Lake and Estuarine Ecology	
Serietitel og nummer/ Serial title and number:	Faglig rapport fra DMU, nr. 142	
Udgiver/Publisher:	Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser© <i>Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute</i>	
Udgivelsesår/ Year of publication:	November 1995	
Redaktion/Editor:	Karsten Dahl	
Layout/Layout: Tegninger/Illustrations: EDB assistance/Edp assistance:	Anne van Acker Peter Sandbeck, Steen Wessel Platou, Kathe Møgelvang, Ole Lund Jensen Carsten Thy Agger	
Bedes citeret/Please quote:	Dahl, K., Ærtebjerg, G., Nørrevang Jensen, J., Gissel Nielsen, T., Krause-Jensen, D., Bondo Christensen, P. (1995): Marine Områder - Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. S. __ - Faglig rapport fra DMU, nr. 142	
	Gengivelse kun tilladt med tydelige kildeangivelse. <i>Reproduction permitted only when quoting is evident.</i>	
Emneord/Keywords:	Vandmiljø, marin, overvågning, hydrografi, eutrofiering <i>Marine ecology, monitoring, assessment, hydrography, eutrophication</i>	
ISBN:	87-7772-225-6	
ISSN:	0905-815x	
Papirkvalitet/Paper quality:	115 g cycluspript	
Tryk/Printed by:	Christensens Fotosats	
Oplag/Impression:	400 stk.	
Sideantal/Number of pages:	123	
Pris/Price:	150 DKK (incl. 25% moms, excl. forsendelse)	
Købes hos/For sale at:	Danmarks Miljøundersøgelser Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi Frederiksborgvej 399, Postboks 358 DK-4000 Roskilde Tlf. 46 30 12 00 Fax 46 30 11 14	Miljøbutikken Information og Bøger Læderstræde 1 DK-1201 København K Tlf. 33 92 76 92 (information) Tlf. 33 93 92 92 (bøger)

Indhold

Forord 5

Resume 7

1 Indledning 9

2 Overvågningsprogrammet for de marine områder 11

- 2.1 Formål 11
- 2.2 Strategi 11
- 2.3 Variable 12
- 2.4 Omfang og frekvens 13

3 Hydrografiske forhold 17

- 3.1 Vindforhold ved Sprogø 17
- 3.2 Strømningen gennem Storebælt 18
- 3.3 Hydrografiske observationer i de indre farvande 19
- 3.4 Hydrografiske observationer i Vesterhavet 23
- 3.5 Konklusion 24

4 Næringssalte 27

- 4.1 Indledning 27
- 4.2 Tilførsel fra land og atmosfære 27
- 4.3 Kvælstofkoncentrationer 33
- 4.4 Fosforkoncentrationer 41
- 4.5 Silikatkoncentrationer 45
- 4.6 Næringssaltbegrænsning 46
- 4.7 Konklusion 51

5 Fytoplankton 53

- 5.1 Sigtdybde, klorofylbiomasse og primærproduktion 53
- 5.2 Artssammensætning og masseforekomster 56
- 5.3 Toksiske alger 61
- 5.4 Konklusion 63

6 Iltforhold 65

- 6.1 Indledning 65
- 6.2 Iltvind i 1994 65
- 6.3 Udviklingen 69
- 6.4 Konklusion 72

7 Bundfauna 73

- 7.1 Indledning 73
- 7.2 Status for de kystnære områder 73
- 7.3 Status for de åbne farvande 80
- 7.4 Konklusion 82

8 Bundvegetation 83

- 8.1 Indledning 83
- 8.2 Udviklingstendenser for blomsterplanter i 1994 83
- 8.3 Udviklingstendenser for makroalger i kystnære områder i 1994 85
- 8.4 Udviklingstendenser for makroalger på stenrev i de åbne farvande 90
- 8.5 Konklusion 91

9 Miljøtilstanden i de danske farvande 93

- 9.1 Indledning 93
- 9.2 Næringssaltbelastning 93
- 9.3 Miljøtilstanden i fjordene 94
- 9.4 Miljøtilstanden i kystnære marine områder 96
- 9.5 Miljøtilstanden i de åbne marine områder 99
- 9.6 Miljøtilstanden i relation til de økologiske målsætninger 100

10 Konklusion 103

11 Referencer 105

Bilag 1 109

Oversigt over rapporter fra amtskommunerne og Københavns Kommune

Bilag 2 111

Den statistiske metode bag tabellerne 4.4, 4.6, 4.10 og 6.1

Bilag 3 115

Landbelastning 1994

Sammenfatning 117

Danmarks Miljøundersøgelser 123

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser som et led i den landsdækkende rapportering af Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Overvågningsprogrammet blev iværksat efteråret 1988.

Hensigten med Vandmiljøplanens overvågningsprogram er at undersøge effekten af de reguleringer og investeringer, som er gennemført i forbindelse med Vandmiljøplanen (1987). Systematisk indsamling af data gør det muligt at opgøre udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet samt at registrere de økologiske effekter, der følger af den ændrede belastning af vandmiljøet med næringssalte.

Danmarks Miljøundersøgelser har som sektorforskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet til opgave at forbedre og styrke det faglige grundlag for de miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. En væsentlig del af denne opgave er overvågning af miljø og natur. Det er derfor et naturligt led i Danmarks Miljøundersøgelsers opgave at forestå den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne: Ferske vande, Marine områder, Landovervågning og Atmosfæren.

I overvågningsprogrammet er der en klar arbejdsdeling og ansvarsdeling mellem amtskommunerne og Københavns og Frederiksberg kommuner og de statslige myndigheder.

Rapporterne "Ferske vandområder - vandløb og kilder" og "Ferske vandområder - søer" er således baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af de ferske vande.

Rapporten "Marine områder - fjorde, kyster og åbent hav" er baseret på amtskommunale data og rapporter af overvågningen af fjorde og kystvande samt Danmarks Miljøundersøgelsers overvågning af de åbne havområder.

Rapporten "Landovervågningsoplande" er baseret på data indberettet af amtskommunerne fra 6 overvågningsoplande, og er udarbejdet i samarbejde med Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser.

Endelig er rapporten "Atmosfærisk deposition af kvælstof" baseret på Danmarks Miljøundersøgelsers overvågningsindsats.

Bagest i denne rapport findes en sammenfatning af resultaterne fra samtlige overvågningsrapporter fra Danmarks Miljøundersøgelser.

Resume

I 1994 blev der målt den største ferskvandsafstrømning fra danske landområder til indre danske farvande i mere end 50 år. Afstrømningen var ekstrem stor i januar, marts og september, og også den samlede vinterafstrømning fra december 1993 til maj 1994 var rekord stor. Den store afstrømning førte store mængder udvasket kvælstof og fosfor med sig, specielt fra det åbne land.

Belastningen af de marine områder med spildevand synes med få undtagelser nu at være stabiliseret på et niveau tæt på de fastsatte målsætninger.

Den samlede danske tilførsel til havområderne via vandløb og punktkilder androg i 1994 128.000 tons kvælstof og 4490 tons fosfor hvoraf ca. 75% af begge næringssalte blev tilledt de indre danske farvande.

Atmosfærebidraget af kvælstof er generelt uændret, men med nye beregningsmetoder er det samlet opgjort til ca. 128.000 tons for de danske farvande og de svenske dele af Kattegat og Øresund. Af de 128.000 tons deponeres ca. 40% i indre farvande.

Den forøgede udvaskning af næringssalte kunne genfindes både i fjorde, kystnære og åbne havområder som forhøjede værdier af kvælstof i vinter og forårsmånederne i forhold til tidligere år. Fosforkoncentrationerne var også generelt højere i vinter- og forårsmånederne end i 1993.

Det er ikke muligt at påvise nogen landsdækkende udvikling i vinter og sommermiddelkoncentrationerne af kvælstof siden slutningen af 1980'erne. Dette er i overensstemmelse med, at kvælstofbelastningen til havområderne primært stammer fra udvaskning fra landarealer, og at udvaskningen primært er afhængig af de variable nedbørs- og afstrømningsforhold fra år til år.

På trods af at den samlede belastningen med fosfor steg noget i 1994 i forhold til 1993, er der påvist signifikante fald i fosforkoncentrationerne i de fleste fjorde og kystnære områder siden slutningen af 1980'erne, som følge af den væsentlig reducerede udledning af fra punktkilder.

De store mængder næringssalte der blev tilført de danske farvande i 1994, i kombination med en længere periode med usædvanlig stor solindstråling og høje temperaturer i sommeren, førte til masseforekomster af planteplankton i næsten alle fjorde og kystvande. I mange fjordområder blev der registreret de hidtil største biomasser siden overvågningen blev iværksat.

I mange kystområder var perioderne, med lave kvælstofkoncentrationer, der kan have været begrænsende for planteplanktonproduktionen, mindre hyppige og af kortere varighed end i de foregående år, som følge af den meget store kvælstofbelastning og de specielle

gældende for fosfor, der i takt med den aftagende punktkildebelastning de senere år, har vist en tendens til længerevarende perioder med lave koncentrationer, der kan have været begrænsende for planktonproduktionen i kystvandene.

De store planteplanktonbiomasser, i kombination med det rekordvarme vand, en lang vindstille periode i juli og august og med usædvanlige tilfælde af lagdeling af vandmasser, gav i de fleste danske fjordområder anledning til de værste iltsvindsproblemer siden 1988. Også mange kystnære marine områder blev ramt af iltsvind. Specielt i Bælthavet, var nogle iltsvind meget alvorlige med iltfrie forhold og svovlbrintefrigivelse fra sedimentet til vandsøjlen. I de åbne farvande blev specielt Arkonahavet påvirket af alvorligt iltsvind, hvorimod dynamiske hydrografiske forhold i Kattegat, forårsaget af stor vindenergi i sensommeren og i efteråret, fik udskiftet bundvandet før kritiske forhold opstod.

Det landsdækkende overblik over bundfaunaens tilstand i de danske farvande dækker perioden hen til foråret 1994. Frem til dette tidspunkt kunne der generelt spores en fortsat fremgang for faunaen siden de omfattende iltsvind i 1988. At den efterfølgende sommers omfattende iltsvind fik alvorlige konsekvenser for faunaen, er foreløbig dokumenteret fra en række farvandsområder. I Limfjorden og det Sydfynske Øhav blev der således registreret omfattende bundfaunadød, i Roskilde og Isefjord blev der konstateret døde blåmuslinger og effekter på fiskebestandene og ud for den jyske vestkyst blev der fundet døde fisk.

1994 var præget af omfattende reduktioner i udbredelsen af ålegræs og flerårige rød- og brunalger i mange fjorde og kystnære marine områder. Selv om der ikke er registreret effekter i alle områder, er det generelle indtryk, at der er tale om de mest omfattende reduktioner siden vandmiljøplanens overvågningsprogram blev iværksat i 1989. Det formodes, at ekstreme forhold bestående af iltsvind, svovlbrinteudslip, høje vandtemperaturer, nedslag af muslinger og dårlige lysforhold, er de primære årsager til den dårlige udvikling i vegetationsforholdene. De store bundlevende alger i de åbne farvande udviste derimod forbedrede vækstforhold hen over sommeren. Årsagen er formodentlig den store solindstråling og en lav planteplanktonbiomasse i de øvre vandlag i de dybe lagdelte farvande forårsaget af næringsmangel og udsynkning som følge af den 6 uger lange vindstille periode.

De senere års forbedrede miljøforhold i kystområderne blev i 1994 vendt til et alvorligt tilbageslag. Tilstanden i de danske farvande i 1994 viser med al tydelighed, at det er nødvendigt at tage initiativer, der kan minimere primært kvælstofudvaskningen for at opnå et godt vandmiljø.

1 Indledning

Den danske regering fremsatte i januar 1987 Vandmiljøhandlingsplanen, og året efter blev vandmiljøplanens overvågningsprogram etableret i et samarbejde mellem statslige og amtskommunale myndigheder.

Denne rapport giver en overordnet beskrivelse af miljøtilstanden i 1994 i de danske farvande ud fra resultaterne af det omfattende undersøgelsesprogram, der er gennemført. Med det formål at påvise eventuelle udviklingstendenser, foretages derudover en sammenligning med tidligere data, indsamlet enten som led i Vandmiljøplanens overvågningsprogram eller i forbindelse med anden overvågning, for at påvise udviklingstendenser.

Baggrundsmaterialet for rapporten er resultaterne fra Vandmiljøplanens marine overvågningsprogram i form af data og rapporter fra amtskommunerne, Skov- og Naturstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser. Desuden er data velvilligt stillet til rådighed af Danmarks Fiskeriundersøgelser, af Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institutet, Oceanografiska Laboratoriet, af Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Flødevigen, Norge, af Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, Tyskland og af Institut für Ostseeforschung an der Universität Rostock, Tyskland.

Mere detaljerede oplysninger om miljøets tilstand og udvikling i kystvandene kan findes i de amtskommunale rapporter (se oversigten i bilag 1).

2 Overvågningsprogrammet for de marine områder

2.1 Formål

Formålene med den marine overvågning er:

- at følge udviklingen fortrinsvis i de indre farvande af den fysisk-kemiske og biologiske tilstand
- at opnå øget viden om i hvilken grad og hvordan tilstanden er påvirket af næringsstofbelastningen, samt hvordan tilstanden udvikler sig som følge af ændringer i næringsstofbelastningen.

2.2 Strategi

Kystområder

Det primære indsatsområde er de farvandsafsnit, der er mest berørt af næringsstofbelastningen fra land, og hvor det kan antages, at resultaterne af belastningsreduktioner vil få størst effekt på de undersøgte miljøvariable, dvs. i kystfarvandene og bælteerne. Indsatsen i disse områder varetages først og fremmest af amtskommunerne.

Åbne havområder

Overvågningsprogrammet omfatter desuden målinger og observationer i de åbne havområder med hovedvægten på de indre farvande, og i særdeleshed hvor disse støder op til Skagerrak og Østersøen. Herved er det muligt at vurdere de tilstødende havområders betydning for vandkvaliteten i de indre farvande, samt at bestemme referenceværdier for målingerne i kystvandene. Indsatsen i de åbne områder varetages i dag primært af Danmarks Miljøundersøgelser.

Overvågningsprogrammet er tilrettelagt således, at det i størst mulig udstrækning belyser:

- ændringer i dyre- og planteliv inden for de enkelte farvandsafsnit
- biologiske og fysisk-kemiske gradienter fra land gennem kystvand ud imod det åbne hav
- biologiske og fysisk-kemiske gradienter på langs af den jyske vestkyst
- biologiske og fysisk-kemiske gradienter gennem de indre farvande.

Programmet suppleres med målinger af meteorologisk betingede faktorer som nedbør, afstrømning, vind, strøm, temperatur og vandstand.

2.3 Variable

De frie vandmasser

Overvågningsprogrammet er opdelt i to hovedgrupper, én der omfatter hyppige målinger i "de frie vandmasser", og én der omfatter bundundersøgelser med prøvetagning typisk 1-2 gange årligt.

Undersøgelserne i de frie vandmasser omfatter en række profil-målinger, der foretages direkte i felten, og en række vandkemiske og biologiske prøver, der analyseres i laboratorium.

Profilmålinger

Profilmålinger:

- salinitet
- temperatur
- iltindhold
- sigtdybde
- evt. klorofyl-fluorescens

Vandkemiske prøver

Vandkemiske laboratorieprøver:

- total kvælstof (ufiltreret prøve)
- uorganisk kvælstof (filtreret prøve), dvs. nitrit+nitrat og ammonium
- total fosfor (ufiltreret prøve)
- orthofosfat (filtreret prøve)
- klorofyl-a
- silikat
- evt. sulfid
- evt. TOC (total organisk kulstof)
- evt. pH

På lavvandede lokaliteter uden lagdeling tages typisk integrerede prøver til vandkemiske analyser (hvor tidsserier ellers ville brydes, tages fortsat prøver i én dybde). På lokaliteter med stor vanddybde og lagdelt vandmasse tages integrerede prøver i den fotiske zone over springlaget og en enkelt prøve tæt over bunden.

Biologiske prøver

De biologiske prøver tages kun på et mindre antal udvalgte stationer, først og fremmest på såkaldte intensivstationer med høj prøvetagningsfrekvens.

Biologiske variable:

- primærproduktion
- fyto- og zooplanktonets artssammensætning, individantal og biomasse

På de intensive stationer, hvor der indgår zooplanktonindsamling, måles tillige mikro- og mesozooplankton, foruden primærproduktion og fytoplankton, således at hovedparten af det pelagiske biologiske system er repræsenteret ved prøvetagningen.

Bundundersøgelser Bundundersøgelserne omfatter monitorering af bundvegetation eller bunddyrsundersøgelser, der typisk er sammenfaldende med sedimentprøver.

Sediment Sedimentundersøgelserne omfatter:

- tørstofsbestemmelse
- glødetabsbestemmelse
- kornstørrelsesfordeling (mindre hyppigt)
- evt. bestemmelse af bakterien *Clostridium perfringens*
- evt. bestemmelse af total kvælstof
- evt. bestemmelse af total fosfor

Bundfauna

Bundfaunaundersøgelserne omfatter:

- artsbestemmelse
- individantal
- biomasse (vådvægt, tørvægt, askefri tørvægt)
- evt. størrelsesfordeling af alm. arter af muslinger

Bundvegetation

Bundvegetationsundersøgelserne omfatter:

- artsantal
- dækningsgrad (semikvantitativt index)
- evt. biomasse
- evt. fladekortlægning

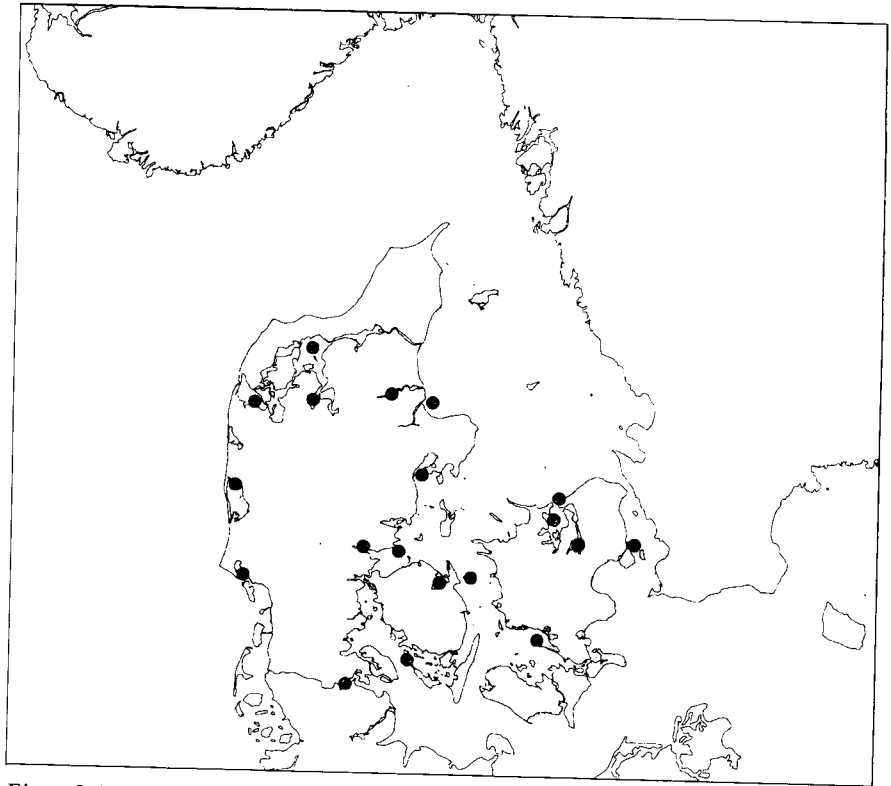
De specifikke metoder til udførelse af både det pelagiske og det bentiske overvågningsprogram er beskrevet i "Retningslinier for marin overvågning" (Miljøstyrelsens havforureningslaboratorium, 1988) samt senere opdateringer på bundvegetationsområdet (Krause-Jensen et al, 1995).

2.4 Omfang og frekvens

Overvågningsprogrammet blev påbegyndt i 1988 (Miljøstyrelsen, 1989) og revideret i 1992 på baggrund af de forløbne års erfaringer (Miljøstyrelsen, 1993).

Intensivstationer

Den primære ændring i programmet bestod i en omfordeling af ressourcerne i den kystnære overvågning til mere intensiv prøvetagning på et reduceret antal pelagiske prøvetagningsstationer (32-52 besøg årligt) på bekostning af den arealmæssige dækning, hvor stationerne typisk besøges 12-14 gange årligt. De faste intensivstationernes placering i de danske farvande er vist på figur 2.1. I nogle amter er der i tilgift til de faste intensivstationer gennemført intensivmålinger på andre af stationerne gennem 1994.



Figur 2.1 Faste intensive overvågningsstationer i danske farvande.

Bundundersøgelser

Bundfaunaundersøgelserne gennemføres typisk en gang årligt om foråret, men i nogle belastede områder er frekvensen højere. Bundvegetationen undersøges 1-2 gange årligt på faste transekter i perioden maj-september, og endelig indsamles sedimentprøver hvert år samtidig med bundfaunaprøvetagningen eller med 3-6 års interval. I 1994 har Storstrøms Amt gennemført en mindre justering af amtets bundvegetationsprogram.

Omfanget af amternes og Danmarks Miljøundersøgelses aktiviteter fremgår af tabel 2.1 og 2.2.

Tabel 2.1 Oversigt over de samlede aktiviteter i det amtslige havovervågningsprogram under Vandmiljøplanen. Antallet af intensive stationer er medregnet i de øvrige stationer. Hvor to amter driver en intensivstation i fællesskab, er den kun medtaget hos ét amt.

Amt	Vandkemi	Primærproduktion	Fytoplankton	Zooplankton	Bundfauna ¹⁾	Vegetations-transekter	Intensive stationer
København K	3	3	2	-	8	1	1
København	5	3	3	-	7	9	-
Frederiksborg	8	4	4	-	8	8	1
Roskilde	10	4	4	2	9	5	1
Vestsjælland	15	15	12	1	15	10	1
Storstrøm	7	1	1	-	14	12+3a ²⁾	1
Bornholm	6	-	-	-	-	20	-
Fyn ³⁾	27	27	3	-	29	18	4
Sønderjylland	12	9	1	1	15+3t	36	1
Ribe	15	6	2	-	3t	-	1
Vejle	10	10	3	1	29	68	1
Ringkøbing	12	12	5	3	41	38	1
Århus	7	2	2	1	55	15	2
Viborg ⁴⁾	14	11	6	6	19	36	3
Nordjylland ⁵⁾	12	4	4	1	32	16	1
I alt	163	111	52	16	281+6t	290	19

¹⁾ (t) Angiver at bundfaunaprøver udtages langs et transekt.

²⁾ (a) Angiver at det er arealundersøgelser.

³⁾ Inkl. Lillebælt.

⁴⁾ Inkl. Limfjorden.

⁵⁾ Inkl. Mariager Fjord.

Tabel 2.2 Oversigt over Danmarks Miljøundersøgelser overvågningsstationer fordelt på miljøvariable og farvandsafsnit.

Farvandsafsnit	Vandkemi	Primær prod.	Fytoplank.	Zooplank.	Bundfauna	Bundveg.
Indre danske farvand	25	7	7	7	26*	8**
Nordsøen	50	-	-	-	3	-
I alt	75	7	7	7	29	8

* Heraf 18 udført for Skov- og Naturstyrelsen.

** Udført for Skov- og Naturstyrelsen.

3 Hydrografiske forhold

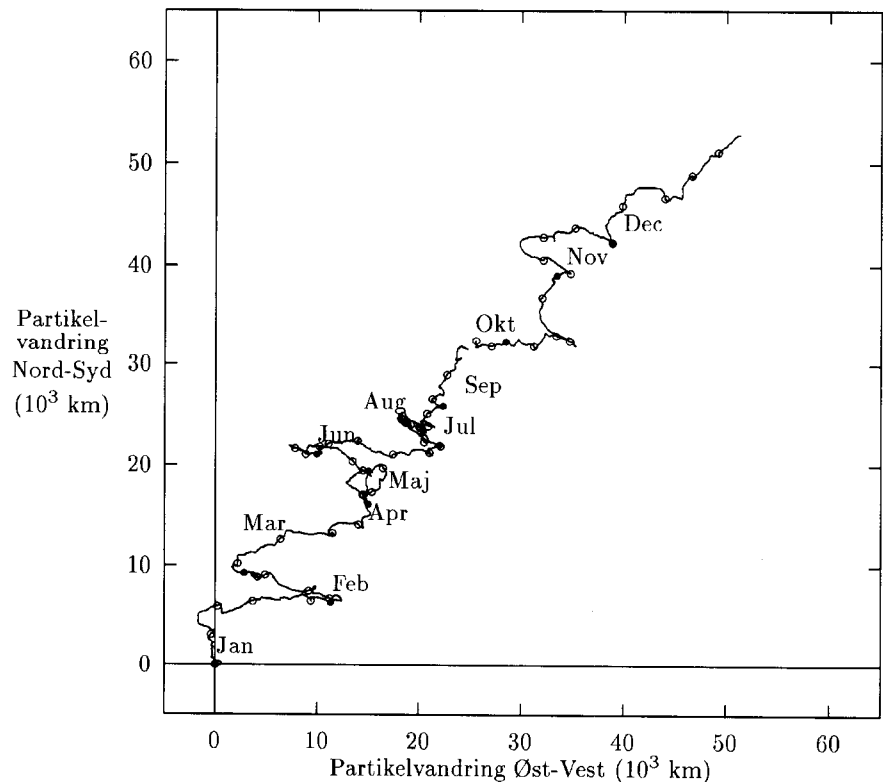
I dette kapitel gives en overordnet beskrivelse af de hydrografiske observationer i løbet af 1994. Beskrivelsen tager udgangspunkt i vind- og strømforhold, samt salinitet og koncentration af ilt og nitrat+nitrit i de åbne farvande. Med dette gives en fysisk ramme for de øvrige forhold i de danske farvande. Beskrivelsen er sammenfattende og dækker udvalgte enkelthændelser, som er karakteristiske for observationerne i 1994.

3.1 Vindforhold ved Sprogø

Vindobservationerne er fra Risøs målestation på Sprogø i højden 70 m over havet (o.h.). Nedenfor anvendes vindhastighederne omregnet til højden 10 m o.h. (Petersen *et al.* 1981).

Vindretning

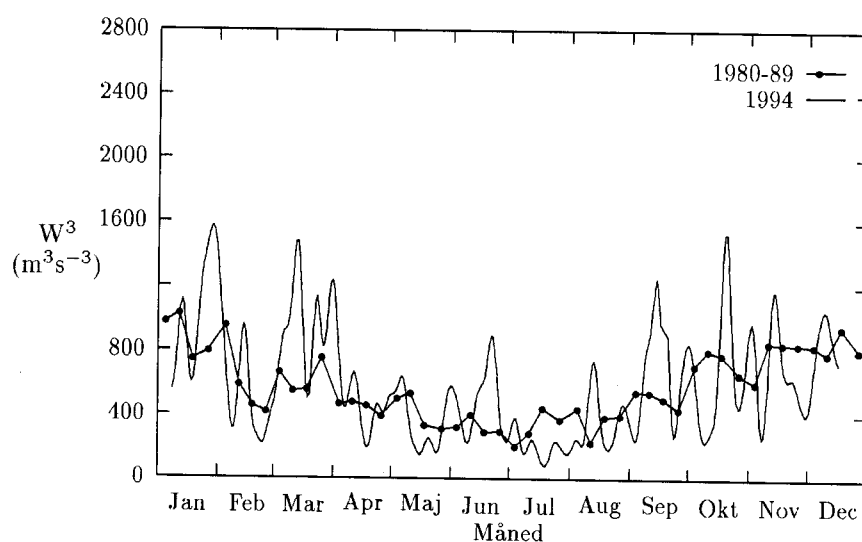
I løbet af 1994 var den overordnede vindretning som sædvanlig overvejende sydvest (Figur 3.1). I slutningen af januar og i marts, juni, september og i begyndelsen af oktober forekom længere perioder med kraftig vind fra vest-sydvest, mens østlig vind var fremherskende i februar, maj, juli, slutningen af oktober og begyndelsen af november. April, midten af maj, juli og august var hovedsagelig præget af svage og skiftende vinde.



Figur 3.1 Progressivt vektor-diagram af vinden ved Sprogø i 1994 omregnet til højden 10 m o.h. (RISØ/SBF). Sort prik for hver måned, åben cirkel for hver uge.

Vindstyrken opløftet i tredje potens (m^3/s^3) er et mål for den afgivne effekt (J/s) til vandsøjlen (Figur 3.2), og kan anvendes som et mål for vindens opblanding af vandsøjlen. Størrelsen af opblandingen er beregnet som en glidende middelværdi ved hjælp af et Parzen-filter (Madsen 1989), hvor variationer med en periodelængde kortere end 7 døgn ekskluderes.

I slutningen af januar målt relativt høje vindhastigheder. Derimod var vindhastigheden i februar lav, dog med et mindre maksimum forårsaget af østenvind midt i måneden. Den kraftige vestenvind i marts medførte god blanding af vandmasserne. Vindhastigheden var lav i april-maj, øget i juni, og usædvanligt lav i juli, samt begyndelsen af august. Maksimumet i vindens blandingsenergi i midten af august fik stor betydning, idet den førte til forbedrede iltforhold i mange lavvandede områder. Omkring midten af månederne september og oktober forekom ligeledes relativt høje vindhastigheder. Disse var forårsaget af henholdsvis sydvestlig og østlig vind. Sammenlignet med de seneste år var vindens blandingsenergi i 1994 lav og uden meget høje maksimumværdier, som blev observeret i 1993.



Figur 3.2 Glidende uge-middelværdier af vindhastigheden i tredje potens W^3 fra Sprogø 1994 i højden 10 m o.h. (alm. linie) og uge-middelværdier for 1980-89 (linie med prikker) (RISØ/SBF).

3.2 Strømningen gennem Storebælt

Volumenstrømmen gennem Storebælt, Q (m^3/s), er beregnet ved

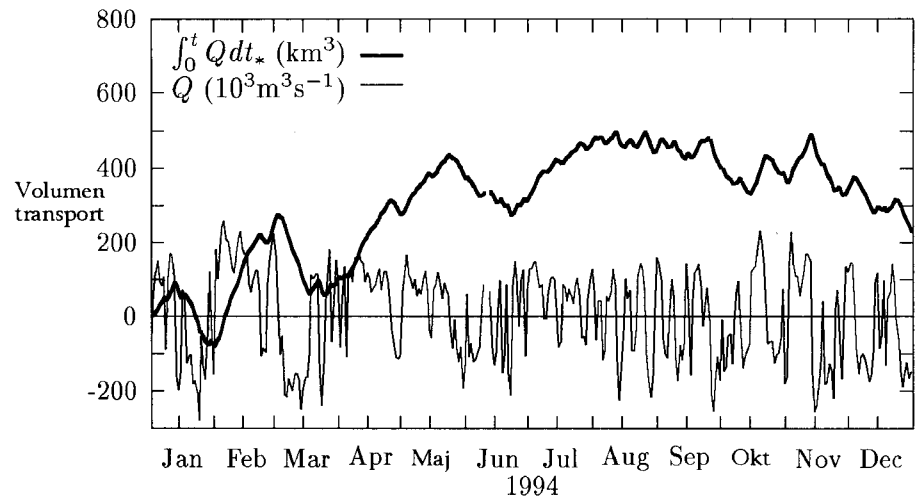
$$dh + h_{kor} = KQ^2$$

hvor dh (m) er middelvandstands-differencen i forhold til Dansk Normal Nul (DNN) mellem Gedser og Hornbæk målt som døgn-middelværdier. K er $3,81 \times 10^{-11} \text{ s}^2/\text{m}^5$ og regnes som konstant. h_{kor} (m) er tidsafhængig og er fastlagt af landhævningen ved Gedser og Hornbæk, samt ved en antagelse om, at middeludstrømningen ($15.000 \text{ m}^3/\text{s}$) fra Østersøen er uændret gennem århundredet (Jacobsen, 1993)

$$h_{kor} = -7,7 \times 10^{-4} (\text{år} - 1893) + 2,2 \times 10^{-2}$$

Beregningsmetoden er usikker og anvendes kun til at fastslå tidspunkt og periodelængde for markante ind- og udstrømningshændelser.

Forholdet mellem strømningerne i Lillebælt, Storebælt og Øresund er bestemt til 1:7:3 (Jacobsen, 1980). Den samlede volumenstrøm gennem Øresund og Bælthavet beregnes derfor som $11/7 \times Q$. Vandstandsdata er stillet til rådighed af Farvandsvæsenet.



Figur 3.3 Kumuleret nettovandføring (km^3) gennem Øresund og Bælthavet i 1994 sammen med volumenstrømningen ($10^3 \text{ m}^3/\text{s}$).

Vandføring

Volumenstrømningen i 1994 gennem Øresund og Bælthavet er i figur 3.3 vist sammen med den kumulerede nettovandføring regnet positiv fra Østersøen til Kattegat. De største sammenhængende udstrømninger fra Østersøen forekom i perioder med svag eller nordøstlig til sydøstlig vind. Disse udstrømninger fandt sted i begyndelsen af januar og i februar, april-maj og juli, samt i kortere perioder i slutningen af oktober og begyndelsen af november. De største indstrømninger forekom under kraftige vestlige vinde i slutningen af januar og i marts, juni og begyndelsen af oktober. August-september var præget af hyppigt skiftende strømretninger, hvorefter fulgte to længerevarende ind- og udstrømninger fra sidst i september og frem til midt november, hvor nettoudstrømningen fra Østersøen nåede årets højeste niveau på ca. 500 km^3 . Resten af året var der hovedsageligt indstrømning, således at nettoudstrømningen i 1994 endte på ca. 230 km^3 .

3.3 Hydrografiske observationer i de indre farvande

Januar

Midt i januar 1994 var saltholdigheden i næsten hele Kattegats overflade over 24 psu (Practical Salinity Unit). Kun i den sydligste del fandtes under 20 psu. Lagdelingen i Kattegat var svag, mens den i Øresund og Bælthavet var kraftigere. I bundvandet i det

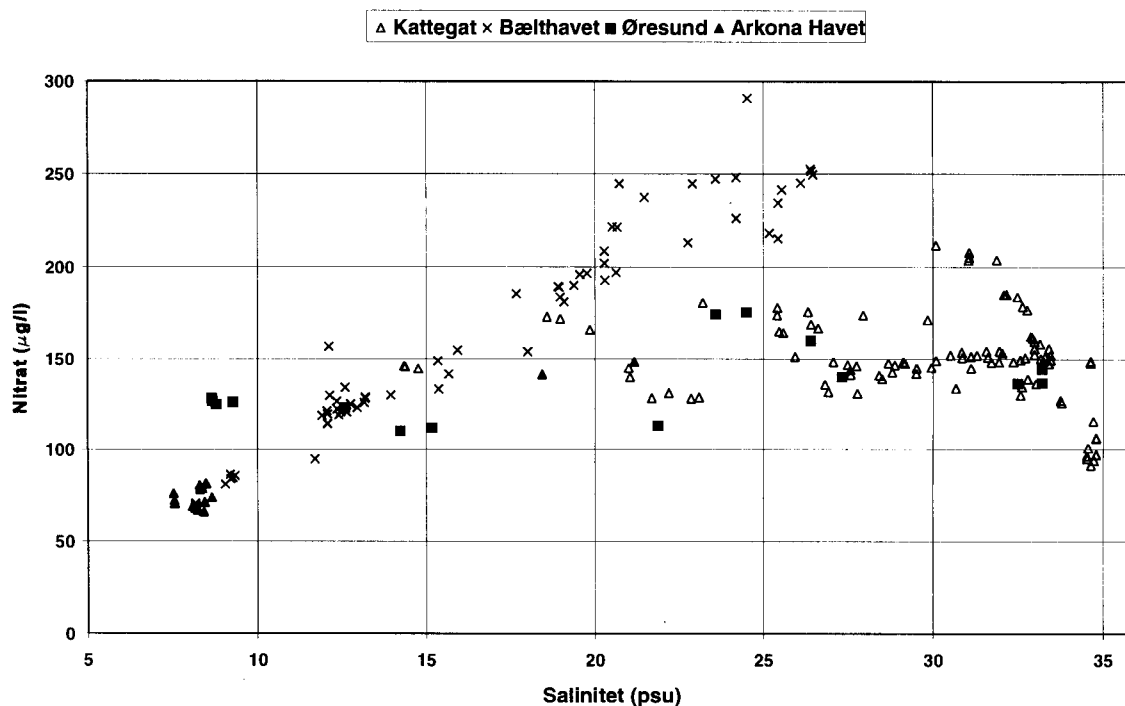
nordlige Bælthav fandtes 30 psu. Iltindholdet i bundvandet var højt med minimumskoncentrationer på 75-95% mætning. Kraftig vestenvind i sidste halvdel af januar medførte en større indstrømning til Østersøen, hvorved overfladesaliniteten øgedes i Bælthavet, mens lagdelingen blev reduceret. Som et resultat af stor nedbør og afstrømning var nitratkoncentrationerne høje (150-200 $\mu\text{g}/\text{l}$) i Øresund, Århus Bugt, og det nordvestlige Kattegat. I Arkona Havets overflade var nitratindholdet 50 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Februar

Februar var domineret af østenvind og frost. Der forekom isdannelse i en del fjordområder. Indstrømningen og den kraftige vestenvind i slutningen af januar medførte, at saltholdigheden var relativt høj i overfladen (20-30 psu) og lagdelingen ringe i Kattegat i begyndelsen af februar. Alligevel var saliniteten i Bælthavet og det sydlige Kattegat faldet i hele vandsøjlen sammenlignet med midten af januar som følge af stor ferskvandsafstrømning og blanding, og 30 psu fandtes i bundvandet kun ned til Hesselø. Udstrømningen fra Østersøen øgede de vertikale densitetsforskelle i Bælthavet i midten af februar.

Undtagen i det åbne Skagerrak var nitratkoncentrationerne overalt forhøjet (Figur 3.4). Sammenlignet med februar-medianer for perioden 1986-93 var nitrat-indholdet i overfladen af den østlige Nordsø mere end 50% forhøjet, og i store områder var nitratindholdet mere end fordoblet. Samtidigt fandtes høje koncentrationer af nitrit og ammonium. I overfladen i Kattegat og det nordlige Bælthav var nitrat-indholdet 40% til 70% højere end 8 års medianen, faldende gennem Øresund og Bælthavet til ca. 20% højere i Arkona Havet. I bundvandet af Kattegat var nitrat-indholdet ca. 30% over medianen, stigende til mere end det dobbelte i Århus Bugt og det nordlige Storebælt, og aftagende til ca. 30% over i det sydlige Bælthav, Øresund og Arkona Havet. Det udstrømmende brakvand fra Østersøen med lavt nitratindhold erstattede i løbet af februar det salttere og nitratrige overfladevand i det sydlige Bælthav og de sønderjyske fjorde.

7. - 17. februar 1994



Figur 3.4 Nitratkoncentrationer målt af DMU i februar 1994 i de indre danske farvande afbildet som funktion af saltholdigheden. De laveste saltholdigheder repræsenterer Østersøvand og de højeste Skagerrakvand.

Marts

Udstrømningen fra Østersøen gennem februar afløstes i forbindelse med de kraftige vestenvinde i marts af en stor indstrømning, der i midten af marts medførte næsten fuldstændigt vertikalt opblandede vandmasser i det sydlige Bælthav med mere end 20 psu i overfladen helt ned i Fehmern Bælt. I bundvandet fandtes 30 psu helt ned til Langelandsbælt. Saltvand var skyllet over tærsklerne ved Drogden og Gedser og fortsat ind i Østersøen, hvor der i Arkona Havet fandtes usædvanligt høje saliniteter i de nederste 12 m af vandsøjlen.

Fytoplanktonets forårsopblomstring havde fjernet en stor del af næringssaltene i overfladen, undtagen i det nordlige Kattegat, Fehmern Bælt og Arkona Havet. Vand fra den Jyske Kyststrøm med høje næringsstofindhold trængte ind i Limfjorden og fandtes desuden i det nordlige Kattegat med nitratindhold over 300 $\mu\text{g/l}$ ned til 40 m dybde. Nitratkoncentrationer over 150 $\mu\text{g/l}$ fandtes stadig i bundvandet i det sydøstlige Kattegat og Øresund, Århus Bugt, Storebælt og Arkona Havet.

April-maj

Perioden var præget af rolige vindforhold og udstrømning fra Østersøen med en kraftig lagdeling frem til slutningen af maj, hvor nettostrømmen vendte til en indstrømning, der vedblev til slutningen af juni. Rester af det nitratrege vand fra Den Jyske Kyststrøm, der i marts fandtes i det nordlige Kattegat, genfandtes i det østlige Kattegat. Hovedparten af det nitratrege vand var strømmet ud i Skagerrak og Nordsøen. Salt bundvand strømmede ind fra Skager-

rak, og salt bundvand fra Kattegat strømmede ned i farvandet nord for Fyn og Storebælt. Derved fandtes en salinitet større end 30 psu i bundvandet i begyndelsen af maj ned til Sprogø.

Bundvandets iltindhold var efter forårsopblomstringen faldet. Specielt i Øresund og det sydlige Storebælt var det lavt med koncentrationer omkring henholdsvis 50% og 60% mætning. I begyndelsen af maj fandtes stadig overalt målelige mængder af nitrat og silikat i overfladelaget, mens fosfatkoncentrationerne var meget lave.

Juni

Det kolde vejr, den kraftige vestenvind og indstrømning fra Skagerrak af koldt, salt, nitrat- og iltrigt vand til Kattegats dybere dele medførte, at vandet i de indre farvande generelt var koldere og saltere og lagdelingen mindre kraftig end normalt for juni. Bundvand med salinitet over 34 psu fandtes i hele det østlige Kattegat ned til Hesselø. Over 30 psu fandtes i hele Storebælt ned til Kelds Nor. Salt bundvand trængte ind i alle dybere østjyske kystfarvande fra Randers Fjord i nord til Åbenrå og Als fjorde i syd.

Indstrømningen førte til forøget nitratinhold i bundvandet i Øresund og Bælthavet, men stigningen forstærkedes muligvis af remineralisering af fytoplanktonets forårsmaksimum. Desuden øgede indstrømning og opblanding iltindholdet i bundvandet til 55% mætning i Øresund og 70% i Storebælt, mens iltindholdet i det sydlige Bælthav og Arkona Havet fortsat var lavt med ca. 65% mætning. I Ålborg Bugt observeredes pga. algeopblomstring overmætning i hele vandsøjlen med minimum 110% mætning.

Juli

Luftens middeltemperatur for juli var den højest målte månedsmiddel registreret i Danmark nogensinde. De rolige vejrforhold domineret af østlige vinde medførte udstrømning fra Østersøen og dermed lav saltholdighed i overfladen i de indre farvande. Temperaturen i kystvandene nåede flere steder op på 25 °C. Vindblandingen var ringe, og selv i lavvandede områder opstod kraftig lagdeling i vandsøjlen med iltsvind ved bunden til følge. I de åbne, dybe farvande fandtes en kraftig lagdeling både i temperatur og salinitet med usædvanligt høje temperaturer i overfladen og lave temperaturer i bundvandet. Det højsaline (30 psu) bundvand fandtes stadig i Langelandsbælt. Fytoplanktonet havde opbrugt næringssaltene i de øverste 15-20 m af vandsøjlen, men høje koncentrationer af nitrat fandtes stadig i bundvandet, især i det østlige Kattegat og Øresund. Iltindholdet var faldet betydeligt undtagen i det sydlige Kattegat og Øresund, og der var nu iltsvind i de dybere dele af Fehmern Bælt og Arkona Havet.

August

Det varme og stille vejr fortsatte indtil 12.-14. august, hvor det blev vestlig kuling. I mange lavvandede farvande som f.eks. Limfjorden og Det Sydfynske Øhav, hvor det rolige vejr havde etableret lagdeling med kraftigt iltsvind, medførte vinden fuld blanding og geniltning, eller en væsentlig forbedring af iltforholdene ved bunden. I de dybe lagdelte farvande medførte blandingen faldende tempera-

tur og stigende salinitet i overfladen og omvendt i bundvandet, hvor 30 psu fandtes ned til Samsø Bælt. Næringssalte tilførtes igen overfladelaget. Der var en mindre indstrømning af bundvand fra Øresund og Bælthavet til Østersøen, hvilket medførte kortvarig lagdeling i Køge Bugt, og flyttede iltsvindet ved Gedser Rev til øst for Falster. Iltindholdet faldt i de fleste dybe områder fortsat, og nærmede sig nu iltsvindsgrænsen på 4 mg/l i Storebælt, Øresund og det sydlige Kattegat. Der var kraftigt iltsvind i de dybe dele af Arkona Havet og det sydlige Lillebælt.

September

September var regnfuld, kølig og blæsende, mest fra sydvest, med hyppige strømskift, men overvejende indstrømning gennem Bælthavet sidst på måneden. I bundvandet fandtes 30 psu ned til det centrale Storebælt. Blandingen forøgede saliniteten i og bragte næringssalte til overfladelaget, hvorved fytoplanktonbiomassen steg. Iltsvindet ophørte i Hjelms Bugt og de dybe dele af Arkona Havet. Kun i de kraftigst lagdelte farvande som Øresund, sydlige Kattegat, Århus Bugt og Fehmern Bælt faldt iltindholdet i bundvandet fortsat efter august, og der var stadig iltsvind i Fehmern Bælt og øst for Falster.

Oktober

Oktober begyndte med vind fra vest, derefter kraftig østenvind, for at slutte med vind fra syd-sydvest. Dette medførte skift fra ind- til udstrømning og tilbage til indstrømning gennem Bælthavet. Dette resulterede i ringe lagdeling i Kattegat og næsten total opblanding i Bælthavet. Over 20 psu fandtes i overfladen helt ned til Kiel Bugt, mens 30 psu i bundvandet kun fandtes ned til Asnæs. Iltindholdet var uændret i Århus Bugt og det nordlige Storebælt, og i de kraftigst lagdelte farvande fortsat faldende. Der optrådte nu iltsvind i Øresund og det sydøstlige Kattegat.

November - december

November startede med relativt svag østenvind og udstrømning fra Østersøen, men skiftede til kraftig vestenvind, der medførte en større indstrømning, der fortsatte i størstedelen af december. Den intensiverede blanding og vandudveksling forbedrede allerede i begyndelsen af november iltforholdene, undtagen i det centrale Øresund, hvor lavt iltindhold endnu måltes i slutningen af november.

3.4 Hydrografiske observationer i Vesterhavet

Alle vestkystamter rapporterer enten om generelt lavere saliniteter eller lavere minimum saliniteter i 1994 end i de foregående 4 år. Dette skyldes flere forhold, især den store ferskvandsafstrømning, både lokalt og regionalt. Lave saliniteter i Højer Dyb er f.eks. sammenfaldende med stor vandføring i Vidåen. Desuden blev lav salinitet målt ud for Limfjorden i februar, april og oktober-november sammen med østenvind og udstrømning af brakt vand fra Limfjorden. Sådanne udstrømninger fra Limfjorden til Vesterhavet var i

1994 hyppigere end i de foregående fire år pga. hyppigere og længerevarende perioder med østenvind.

En væsentlig del af de store afstrømninger via især Rhinen og Elben efter oversvømmelserne i begyndelsen af januar i Mellemeuropa transporteredes med Den Jyske Kyststrøm gennem den danske del af Vesterhavet på vej mod Nordatlanten. Disse meget kvælstofholdige vandmasser blev i februar midlertidigt tilbageholdt i den sydøstlige Nordsø ca. op til Limfjorden af østenvinde, der blokerer Den Jyske Kyststrøm. Vandmasserne gav i marts anledning til lave saliniteter og meget høje koncentrationer af især kvælstof fra Thyborøn og ind i Limfjorden og langs Skagerrak-kysten og ind i det nordlige Kattegat (jf. under februar og marts ovenfor).

I de vindstille sommermåneder juli-august observeredes usædvanlig springlagsdannelse i Vesterhavet ud for Ribe og Ringkøbing amter, og i det meste af august optrådte der iltsvind med ned til 2,5 mg/l i området fra syd for Hvide Sande og op mod Torsminde. Siden iltsvindet i slutningen af august 1982 er der ikke registreret iltsvind så tæt på Vestkysten.

3.5 Konklusion

Sammenlignet med de seneste år var vindens blandingsenergi i 1994 lav og uden maksimumværdier på højde med meget høje værdier observeret i tidligere år. I februar, april-maj og juli-medio august forekom længerevarende perioder med svage, overvejende østlige vinde og nettoudstrømning fra Østersøen. Større indstrømninger forekom under kraftige vestenvinde i slutningen af januar, marts, juni og begyndelsen af oktober. Østenvinde giver også udstrømning fra Limfjorden til Vesterhavet, og sådanne udstrømninger var i 1994 større end i de foregående år. Tilsvarende medførte vestenvinde i marts indstrømning af næringsrigt vand fra Den Jyske Kyststrøm til Limfjorden og det nordlige Kattegat.

På grund af meget stor ferskvandsafstrømning i december-januar var nitratkoncentrationerne i februar overalt forhøjet i Nordsøen og de indre farvande sammenlignet med februar-medianer for perioden 1986-93. Det udstrømmende nitratfattige Østersøvand erstattede i løbet af måneden det nitratrige overfladevand i det sydlige Bælthav og de sønderjyske fjorde.

Indstrømningen i juni sendte salt bundvand ind i Bælthavet og alle dybere østjyske kystfarvande fra Randers Fjord i nord til Åbenrå og Als Fjorde i syd, hvorved lagdelingen under den efterfølgende udstrømning fra Østersøen blev forstærket. I juli og begyndelsen af august var vindblandingen ringe, og selv i lavvandede områder opstod kraftig lagdeling med iltsvind ved bunden til følge. Vestlig kuling midt i august afsluttede iltsvindet i de lavvandede områder, og skiftende vind- og strømretninger gennem efteråret forhindrede udvikling af kraftigt iltsvind i de åbne farvande. Dette var dog ikke

nok til at forhindre iltsvind i det sydlige Kattegat og Øresund helt ind i november.

4 Næringssalte

4.1 Indledning

Vandmiljøplanens mål er at mindske belastningen af det danske vandmiljø med næringssalte. Havmiljøet tilføres næringssalte fra land og fra atmosfæren, foruden tilførsel med havstrømme fra tilgrænsende havområder og ved remobilisering fra sedimentet. Direkte mål for mindsket forurening er således opgørelser af ændringer i tilførslen fra disse forskellige kilder. Under Vandmiljøplanens overvågningsprogram opgøres tilførslen fra land og fra atmosfæren; resultaterne rapporteres i henholdsvis Larsen *et al.* (1995) og Skov *et al.* (1995).

Ændringer i koncentrationerne af næringssaltene i havet er et tilnærmet mål for effekten af ændringer i belastningen. Både sommer- og vinterkoncentrationer af næringssalte overvåges desuden til brug for vurderinger af næringstilgængeligheden for algerne.

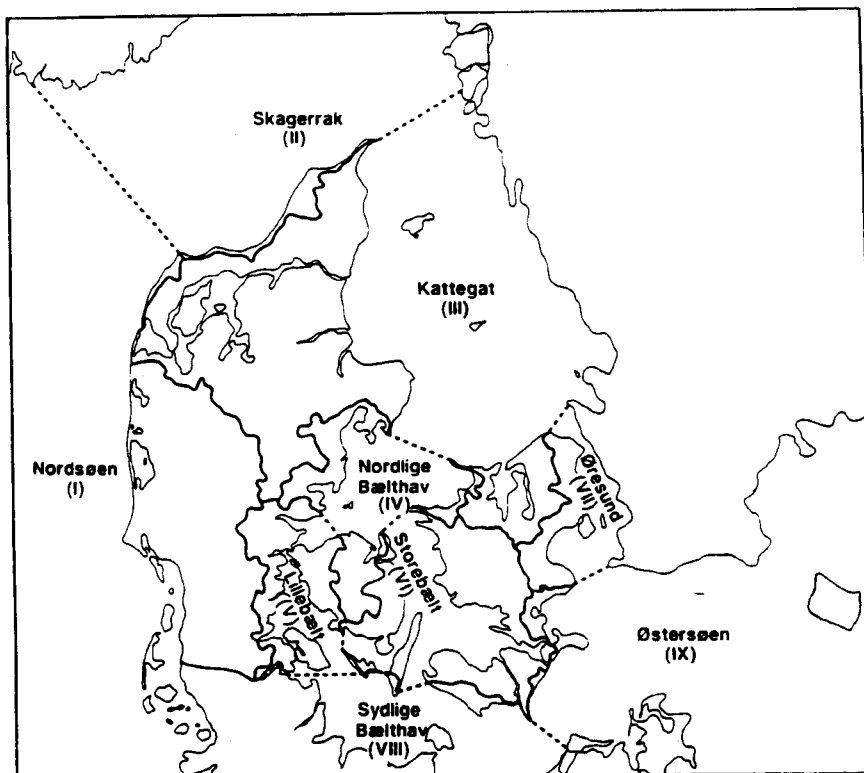
Vinterkoncentrationerne af uorganisk kvælstof og fosfor afhænger af afstrømningen af ferskvand fra land til havet, fordi en stor del af næringssaltene tilføres havet med afstrømningen. Når det skal vurderes, om Vandmiljøplanen har haft en effekt på næringssaltkoncentrationerne i havet, må der derfor, hvor det er muligt, tages højde for år-til-år-variationer i ferskvandsafstrømningen.

Næringssaltkoncentrationerne er desuden afhængige af de vekslende meteorologiske og hydrografiske forhold, hvis indflydelse det kan være svært at kvantificere, men som må tages med i betragtning ved vurderingen af resultaterne.

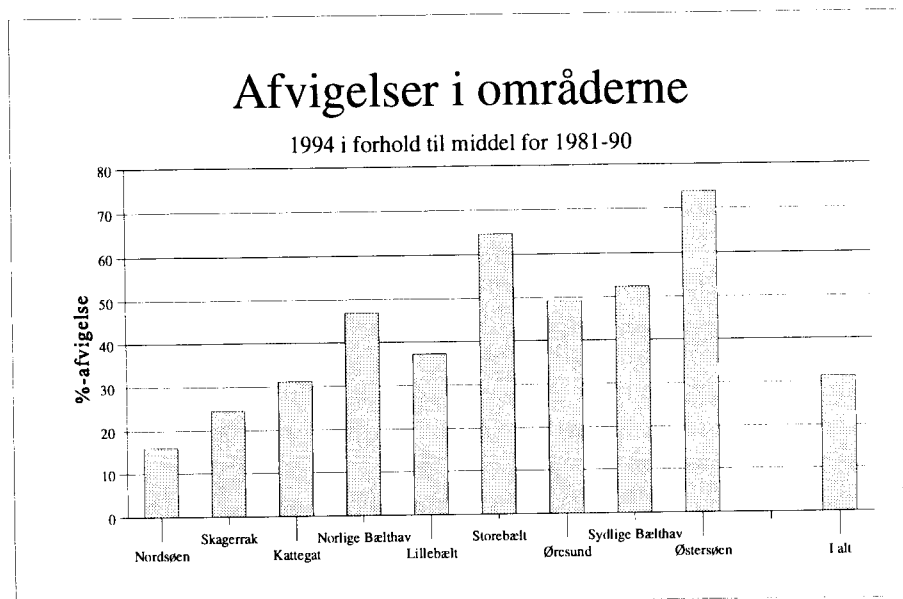
4.2 Tilførsel fra land og atmosfære

Ferskvandsafstrømning

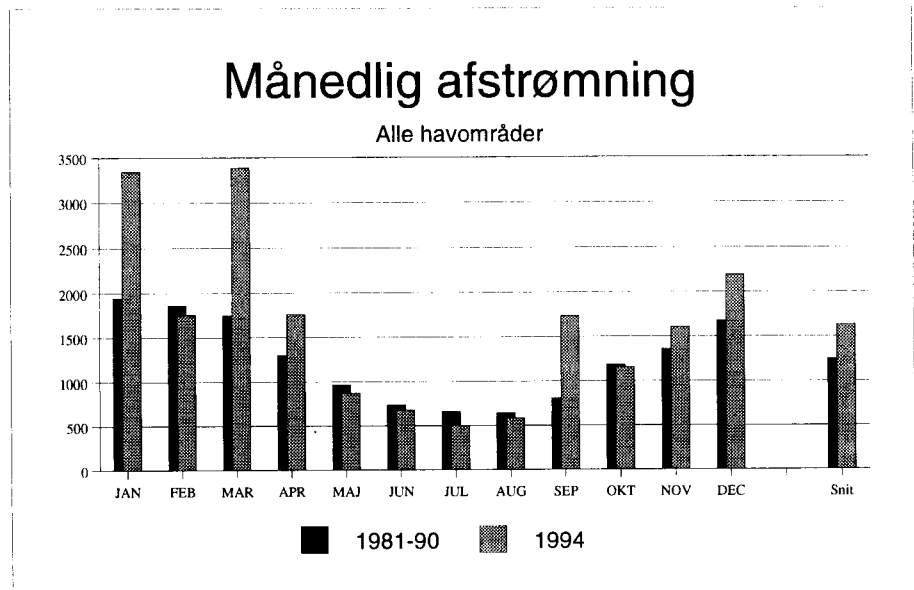
Ferskvandsafstrømningen opgøres månedsvis for alle danske kystområder. På figur 4.1 er vist afstrømningsoplandene til de ni hovedfarvandsafsnit.



Figur 4.1 Afstrømningsoplande til de 9 hovedområder af de danske farvande.



Figur 4.2a Ferskvandsafstrømningen i 1994 i forhold til middel for tiåret 1981-90. Afvigelse i % i årsafstrømning pr. hovedafstrømningsområde (se figur 4.1).



Figur 4.2b Ferskvandsafstrømningen i 1994 i forhold til middel for tiåret 1981-90. Afstrømning pr. måned til samtlige danske farvande i mill. m³/md.

Ferskvandsafstrømningen fra Danmark var i 1994 gennemsnitligt 31% over middel for tiåret 1981-90. Afstrømningen til Nordsøen var 16% over middel, mens afstrømningen til Storebælt, Øresund, det sydlige Bælthav og Østersøen var 50% eller mere over middel (figur 4.2a). Sæsonvariationen var bemærkelsesværdig ensartet for hele landet. Afstrømningen var ekstremt stor i januar, marts og september og over middel i april, november og december (figur 4.2b). Derimod var afstrømningen under middel i hele perioden maj-august.

Der findes lange tidsserier for afstrømningen til de indre danske farvande (Kattegat, Øresund og Bælthavet med tilstødende fjorde). Disse viser, at månedsafstrømningerne til de indre farvande i januar, marts og september, samt den samlede afstrømning i 1994 er de højest registrerede i mere end 50 år. Årsafstrømningen var 51% højere end langtidsmiddel for perioden 1961-90. Allerede i december 1993 var afstrømningen ekstremt høj, og afstrømningen i vinteren 1993/94 og foråret 1994 er den højest målte.

Belastning

Fra land

Næringsstofftilførslerne fra land opdeles i tilførsler via vandløb og direkte udledninger fra punktkilder til farvandene. Belastningen via vandløb inkluderer punktkilder og spredt bebyggelse i oplandet, men skyldes hovedsagelig diffus udvaskning fra landbrugsarealer og er stærkt afhængig af ferskvandsafstrømningen. Udledningen fra punktkilder er kun afhængig af ferskvandsafstrømninger, når forøget vandmængde fører til dårligere rensning af spildevand og udledning af forurenede regnvand.

I bilag 3 er opgjort den samlede månedsvise tilførsel af total-kvælstof og total-fosfor i 1994 til de enkelte hovedområder af de danske farvande, idet den årlige direkte punktkildebelastning er fordelt ligeligt på årets 12 måneder. Bemærk at belastningen til f.eks. Nordsøen og Kattegat indbefatter belastningen til de tilgrænsende

fjerde. Belastningen fra Danmark til de marine områder var i 1994 på 128.400 t kvælstof og 4.490 t fosfor. Dette er henholdsvis 19% og 24% højere end i 1993. Sammenlignet med middel for perioden 1981-88 før Vandmiljøplanens ikrafttræden var kvælstof- og fosforbelastningen i 1994 henholdsvis 30% højere og 13% lavere.

Kvælstofbelastningen følger sæsonvariationen i ferskvandsafstrømningen og var derfor ekstremt høj i vinteren 1993/94 og foråret 1994 samt i september. Som følge af den store afstrømning var kvælstofbelastningen i 1994 på niveau med de største i 1980'erne, nemlig i 1981, 1986 og 1988, hvor de mest udbredte iltsvind optrådte. Når der korrigeres for variationer i ferskvandsafstrømningen, var den diffuse belastning med kvælstof ikke ændret i forhold til de seneste 10-15 år.

Fosforbelastningen, der ellers var faldet stødt med i alt 47% fra 1989 til 1993, var i 1994 større end i 1993 og i nogle områder på niveau med 1989. Dette skyldes især forøget afstrømningsbidrag og i mindre grad forøget bidrag fra regnvandsoverløb. Afstrømningsbidragets andel af den totale fosforbelastning er steget betydeligt i takt med reduktionen af punktkildebidraget, og fosforbelastningen fulgte i 1994 i høj grad samme sæsonvariation som afstrømning og kvælstofbelastning. Især i marts var fosforbidrag stort pga. afstrømning på frossen jord.

Fra atmosfæren

Våddepositionen af kvælstof fra atmosfæren målt på kystnære stationer (tabel 4.1) var i 1994 af samme størrelsesorden som i de foregående år. De største depositioner fandt sted i marts, august og september. Om sommeren, hvor afstrømningen fra land er mindst, er atmosfærens kvælstofbidrag til arealmæssigt større kystfarvande ofte af samme størrelsesorden som bidraget fra land (Ærtebjerg *et al.* 1993). I 1994 fandt mere end en tredjedel af våddepositionen sted i perioden maj-august, hvor afstrømningen fra land var minimal. Adderes målt våddeposition og modelberegnet tørdeposition fås en atmosfærisk kvælstofdeposition af størrelsesordenen 0,95-1,45 t N/km²/år for de indre farvande. Forbedrede metoder anvendt ved beregning af tørdepositionen i 1994 gør, at denne er større og ikke umiddelbart kan sammenlignes med beregninger for tidligere år (jf. Skov *et al.* 1995). Den samlede kvælstofdeposition fra atmosfæren til de 9 hovedområder af de danske farvande i 1994 er angivet i tabel 4.2, hvor både tør- og våddepositionen er estimeret ved hjælp af modelberegninger.

Tabel 4.1 Månedsvist atmosfærisk våddeposition af kvælstofnæringssalte målt i 1994 på fire stationer i kg N/km²/md. Efter Skov *et al.* (1995.).

Måned	Anholt	Frederiks- borg	Ulborg	Kelds Nor
Januar	70	79	70	96
Februar	39	46	52	84
Marts	64	139	120	122
April	48	50	83	80
Maj	??	54	98	76
Juni	79	135	83	61
Juli	40	16	46	31
August	131	78	160	105
September	91	99	134	93
Oktober	50	51	51	22
November	47	58	43	57
December	72	72	98	63
Årssum:	(732)	877	1037	889

Tabel 4.2 Modelberegnet tør-, våd-, og samlet deposition i 1994 af kvælstof fra atmosfæren til de 9 hovedområder af de danske farvande. Efter Skov *et al.* (1995). DK = den danske del af farvandet.

Farvandsområde	Areal	Tørdepo- sition	Våddepo- sition	Total deposi- tion
	km ²	ton N	ton N	ton N
Nordsøen, DK	48.888	15.600	36.500	52.100
Skagerrak, DK	10.150	3.000	9.500	12.500
Kattegat, DK+S	22.286	8.000	20.400	28.300
Nordlige Bælthav	4.185	2.500	4.100	6.500
Lillebælt	2.025	1.300	1.500	2.800
Storebælt	4.634	2.800	4.000	6.800
Øresund, DK+S	1.490	500	1.300	1.800
Sydlig Bælthav, DK	2.880	1.500	2.000	3.500
Østersøen, DK	14.724	6.400	7.300	13.700

Intern belastning

Næringsstoffrigivelse fra sedimentet kan også i nogle tilfælde have stor betydning for miljøforholdene, og med reduceret punktkildebelastning kan fosforbidraget fra den interne belastning være af stor betydning. Desuden kan også den interne belastning med kvælstof under iltsvind være ekstremt stor. Frigivelsen forekommer i øvrigt ofte på tidspunkter, hvor belastningen fra land er lille, da afstrømningsbidraget om sommeren er minimal.

Limfjorden

Limfjordsamterne har i et samarbejdsprojekt med DMU i 1993-94 undersøgt fluxen af ilt og uorganisk kvælstof og fosfor til og fra sedimentet i Skive Fjord. I 1993 var der gode iltforhold og en veludviklet belægning af mikrobentiske alger. På de fleste undersøgelsesdage fandtes en nettotilførsel af både uorganisk kvælstof og fosfor

til sedimentet, samt iltproduktion om dagen og iltforbrug om natten. I 1994 manglede de mikrobentiske alger stort set, og der var iltsvind fra slutningen af juni til midten af august. Sedimentet optog ilt både dag og nat, og under iltsvindet blev store mængder fosfat og ammonium frigivet. Den daglige frigivelse af ammonium var under iltsvindet (op til 5 uger) ca. 1 kg N/ha/døgn. Arealet i Skive Fjord, der blev ramt af iltsvind i 1994, var ca. 2000 ha. Den interne belastning udgjorde således ca. 2 t N/døgn. Til sammenligning udgjorde den landbaserede belastning i juni, juli og august ligeledes ca. 2 t N/døgn.

Undersøgelsen bekræfter, at frigivelsen af næringssalte fra sedimentet er størst i forbindelse med iltsvind. Den store kvælstoffrigivelse kan være medvirkende til, at den beregnede kvælstoffjernelse i Limfjorden i 1994 var betydeligt mindre (9% af tilførsel) end de foregående 4 år (22-37% af tilførsel). Transporten af kvælstof fra Limfjorden til Kattegat var i 1994 25-50% højere end i de foregående 4 år, og der var en betydelig kvælstofeksport til Vesterhavet mod normalt en import. Den samlede nettofrigivelse af fosfor fra sedimentet var på samme niveau som tidligere. Dette kan skyldes, at meget af den store fosforbelastning i marts var på partikulær form, der hurtigt bundfældede i Limfjorden. Fosfortransporten til Kattegat og Vesterhavet var ikke usædvanlig sammenlignet med de foregående år. Flere metodemæssige forhold ved prøvetagning og beregning af disse massebalancer gør dog, at tallene må tages med forbehold.

Mariager Fjord

Eksporten af kvælstof fra Mariager Fjord til Kattegat var i 1994 den hidtil største siden beregningerne startede i 1985, dels pga. den store afstrømning til fjorden og dels pga. et usædvanligt stort vand-skifte. Eksporten af fosfor var ligeledes den største i 1990'erne pga. stor tilførsel fra land og frigivelse fra sedimentet og et stort vand-skifte.

Kattegat NV

Af den samlede næringsstofftilførsel fra land i 1994 til det nord-vestlige Kattegat tilførtes omkring 71% af både kvælstof og fosfor fra Limfjorden, knap 25% direkte fra oplandet og 4-5% fra Mariager Fjord. Inddrages tilførsler fra atmosfæren og tilgrænsende farvande udgør de lokale bidrag halvdelen eller mindre af den samlede flux af næringssalte i området.

Ringkøbing Fjord

For Ringkøbing Fjord er der for perioden 1986-93 beregnet en årlig nettoeksport af kvælstof på 40-50% af belastningen (3.000-3.500 t/år) og af fosfor på op mod 200% (200 t/år) til Vesterhavet. Eksporten har i 1994, bedømt ud fra kvælstof- og fosforkoncentrationerne i vandet, sandsynligvis ligget på samme niveau.

Nissum Fjord

Tilsvarende er der for Nissum Fjord for perioden 1988-93 beregnet en årlig nettoeksport af kvælstof på 50-60% af belastningen (1.700-1.800 t/år). Fosforeksporten er faldet gradvist fra ca. 200 tons i 1988 til ca. 65 tons i 1993. Der er i samme periode sket et markant fald i fosfortilførslen til fjorden og et signifikant fald i fosforindholdet i vandet. I begyndelsen af perioden skete en frigivelse af fosfor fra

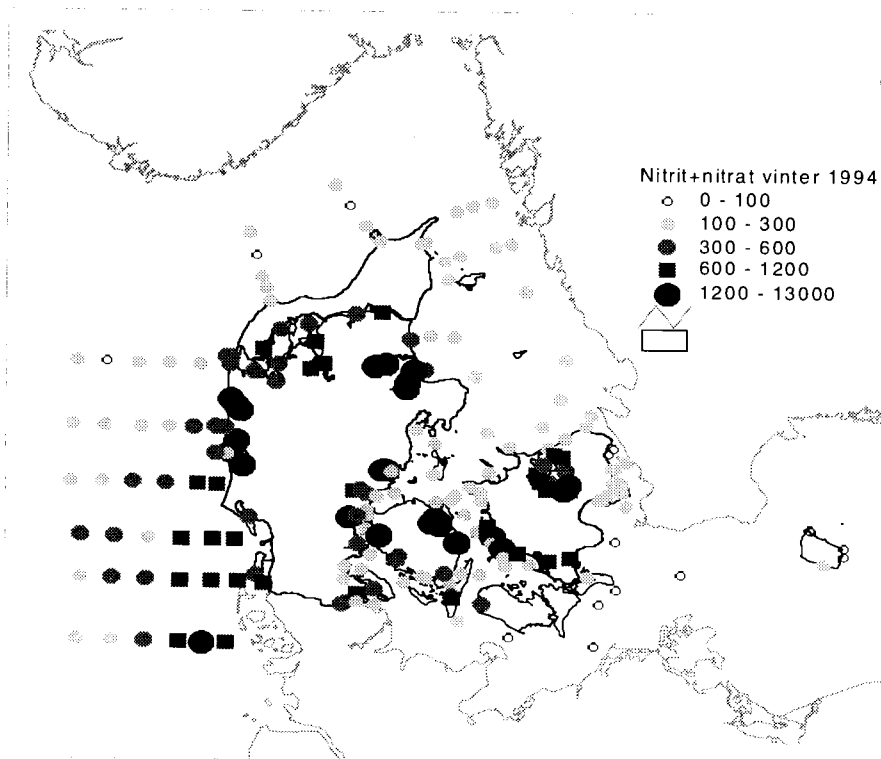
bunden, mens der nu synes at være ligevægt mellem akkumulering i og frigivelse fra sedimentet i Nissum Fjord.

Fyns Amt har bestemt den interne belastning til Kertinge Nor i 1991-94 under anvendelse af MIKE11-modellen (Jürgensen 1995). Resultaterne viste, at der i 1994 var en nettofrigivelse fra sedimentet til vandfasen, som for kvælstofs vedkommende var på ca. 60% og for fosfors vedkommende var på ca. 68% af den eksterne belastning. Der eksporteredes således flere næringssalte fra Noret til Storebælt, end der tilførtes Noret fra land og atmosfæren. I somrene 1991 og 1992 var der også stor frigivelse af både kvælstof og fosfor fra sedimentet, mens kvælstoffrigivelsen i sommeren 1993 var ringe, og der samlet for året 1993 skete en nettodeponering af fosfor.

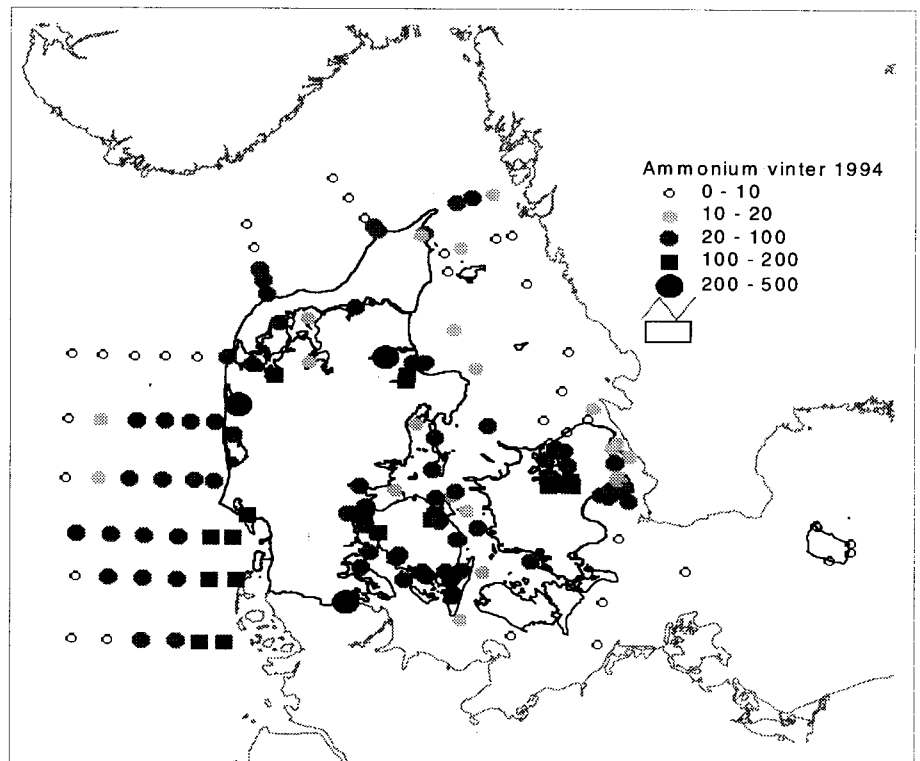
4.3 Kvælstofkoncentrationer

Geografisk fordeling

Den geografiske fordeling af nitrat+nitrit og ammonium i overfladevandet i vinteren 1993/94 er vist på henholdsvis figur 4.3 og figur 4.4. I de åbne farvande er der kun 1-2 prøvetagninger pr. station, men variationen er til gengæld relativt lille. I kystnære områder varierer koncentrationerne meget med ferskvandsafstrømningen op til prøvetagningstidspunktet, så her er middelværdierne behæftet med større usikkerhed. Alligevel er det tydeligt, at der er koncentrationsgradienter fra bunden af fjordene ud til åbent hav, hvor opblanding og fortynding med vand fra åbne farvande er langt større. De højeste koncentrationer findes i lukkede fjorde.



Figur 4.3 Tidsvægtede vintermidler (december-februar) af nitrat+nitrit koncentrationen i overfladevandet (0-10 m). Enhed: $\mu\text{g N/l}$.



Figur 4.4 Tidsvægtede vintermidler (december-februar) af ammonium koncentrationen i overfladevandet (0-10 m). Enhed: $\mu\text{g N/l}$.

Fra næsten alle farvandsområder rapporteres om højere koncentrationer af kvælstofnæringsalte i 1994 end i de foregående år. Det er især nitrat+nitrit som findes i store mængder i vinter- og forårsperioden.

Nitrat+nitrit

Udviklingen i de åbne, indre farvande

For en række stationer i de åbne områder af de indre danske farvande eksisterer data, som kan bruges til at beskrive sammenhængen mellem ferskvandsafstrømning og vinterkvælstofkoncentration. Vintermiddelkoncentrationen af nitrat+nitrit i overfladevandet er de fleste steder lineært afhængig af den totale ferskvandsafstrømning til de indre danske farvande i oktober-januar (tabel 4.3). Analysen bag tabel 4.3 er baseret på data fra 1975-90, hvor kvælstofbelastningen antages at have været konstant, bortset fra vejrafhængig variation.

Det ses af tabel 4.3, at den samlede ferskvandsafstrømning til de indre danske farvande ifølge denne analyse ikke påvirker vinterkoncentrationen af nitrat+nitrit i Øresund ret meget, muligvis fordi over 90% af kvælstofbelastningen fra Danmark til Øresund stammer fra punktkilder.

Ved at udnytte sammenhængene vist i tabel 4.3 til delvist at korrigere for varierende vejrforhold kan udviklingen i vinterkvælstofkoncentration som følge af politiske indgreb mv. vurderes. På figur 4.6 er vist udviklingen i afstrømningskorrigeret vintermiddelkoncentration fra 1975 til 1994. Resultatet af en statistisk analyse (jf. bilag 2) af forskellen mellem niveauet, da Vandmiljøplanen blev vedtaget (her defineret som middel for 1983-87), og niveauet i 1992-94 er vist i tabel 4.4 og antydnet på figur 4.6. Ét års resultater er

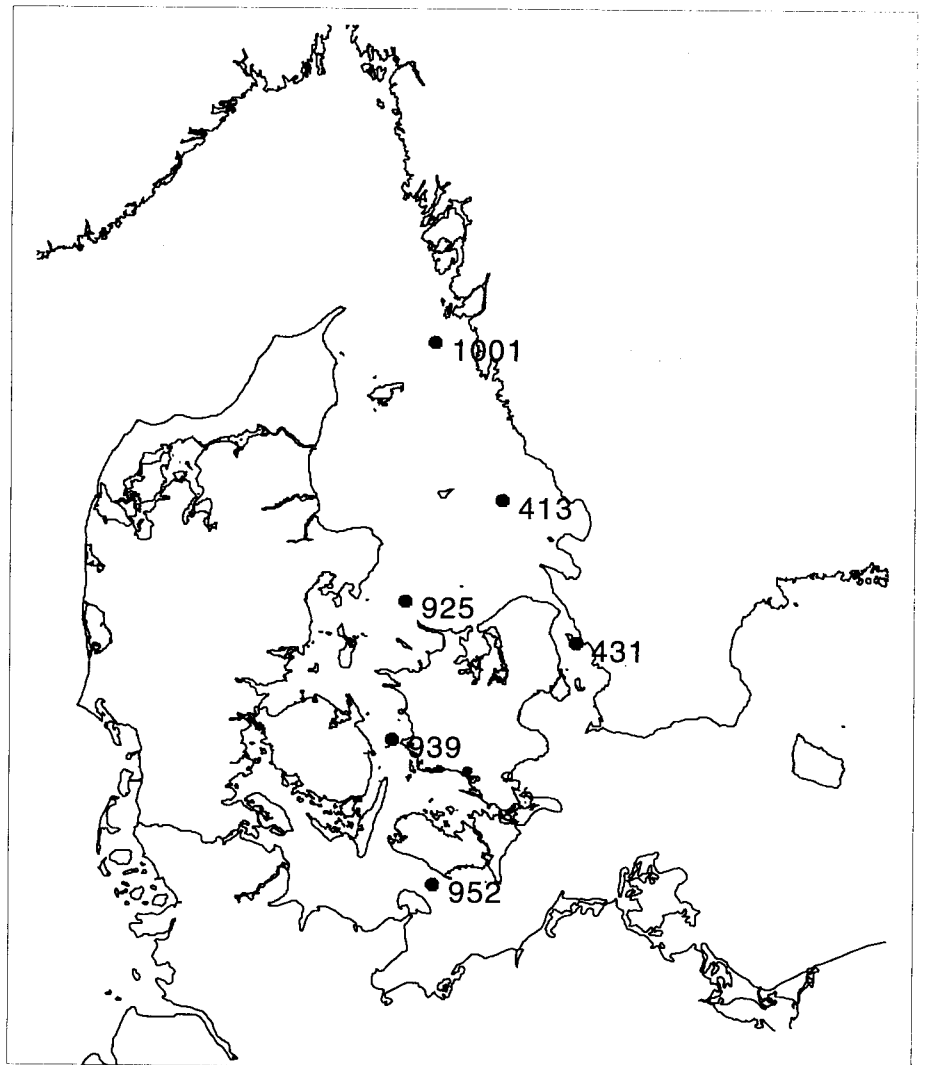
statistisk set for lidt at basere konklusioner på, derfor benyttes middel for de seneste tre år som mål for det nuværende niveau.

Tabel 4.3 Sammenhængen mellem den totale afstrømning i oktober-januar til de indre danske farvande og vintermiddelkoncentrationen af nitrat+nitrit i overfladevandet. Stationernes placering er vist på figur 4.5. P angiver signifikansen af den lineære regressionsanalyse. Den fjerde kolonne viser den estimerede ændring af vintermiddelkoncentrationen ved en forøgelse af afstrømningen med 10% af middel for 1983-87; den sidste kolonne angiver den estimerede koncentrationsændring i % af middelkoncentrationen for 1983-87 på stationen.

Nitrat+nitrit		Ændring ved +10% afstrømning		
Station		P	Δ µg N/l	Δ %
1001	Kattegat N	0,055	5,2	5,1
413	Kattegat Ø	0,063	4,1	4,3
925	Kattegat SV	0,002	10,6	9,6
431	Øresund	0,30	1,6	1,7
939	Storebælt	0,002	6,5	5,9
952	Fehmern Bælt	0,057	5,4	5,1

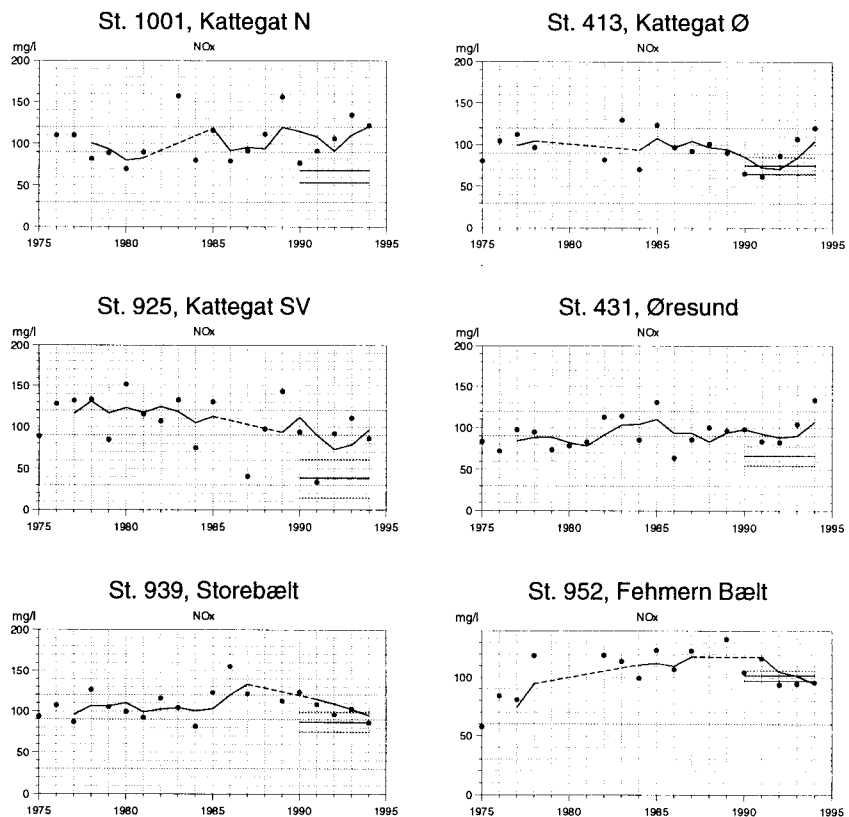
Tabel 4.4 Test for fald i vintermiddelkoncentrationen af nitrat+nitrit i overfladevandet i forhold til middel for referenceperioden 1983-87. Baseret på afstrømningskorrigerede værdier. Metoden er beskrevet i bilag 2. N angiver antal år med målinger i referenceperioden. s.e. står for *standard error*. P_{1994} angiver sandsynligheden for et enkelt år af tilfældige årsager at få en værdi ligeså lav som den, der blev registreret for 1993, hvis niveauet er uændret siden 1983-87. $P_{1992-94}$ angiver sandsynligheden for at få et gennemsnit for tre år, som er ligeså lavt som det, der er registreret for 1992-94, hvis niveauet er uændret siden 1983-87.

Nitrat+nitrit		1983-87		1994		1992-94	
Station	N	middel±s.e.	µg N/l	P_{1994}	middel	$P_{1992-94}$	
1001	Kattegat N	5	105±15	122	0,67	121	0,73
413	Kattegat Ø	5	103±11	120	0,73	105	0,55
925	Kattegat SV	4	95±22	86	0,44	96	0,52
431	Øresund	5	96±12	134	0,87	107	0,70
939	Storebælt	5	117±12	86	0,18	95	0,16
952	Fehmern Bælt	5	113±5	96	0,097	95	0,034



Figur 4.5 Beliggenhed af de seks DMU-stationer, der er udvalgt til grundigere statistisk analyse.

En af forudsætningerne for denne statistiske analyse er, at variationen i årene 1983-87 er et godt mål for den sædvanlige år-til-år-variation, når man tager højde for ferskvandsafstrømningen. Usædvanlige hændelser i 1983-87 vil øge variationen og dermed mindske muligheden for at finde signifikante ændringer siden hen, mens meget ensartede forhold i 1983-87 vil gøre det nemmere at påvise et signifikant fald i vintermiddelkoncentrationerne.



Figur 4.6 Udviklingen i afstrømningskorrigeret vintermiddelkoncentration ($\mu\text{g N/l}$) af nitrat+nitrit i overfladevandet. Punkterne viser tidsvægtede middelkoncentrationer i december-februar i de enkelte år. Kurven viser det løbende gennemsnit af tre års vintermidler, sådan at kurven f.eks. for 1994 viser gennemsnittet af værdierne for 1992 1993 og 1994. Kurven er stipleet, der hvor det løbende gennemsnit ikke er beregnet på grund af manglende observationer et år. De tre grå streger ved 1990-94 viser grænserne svarende til P-værdierne 0,20 (øverst), 0,10 og 0,05 (nederst) for den statistiske test for faldende værdier siden 1983-87 (jf. tabel 4.4).

Den statistiske analyse viser, at der på de fem nordligste stationer kun er ringe grund til at tro, at der er sket en forbedring af forholdene i form af mindsket vinterkoncentration af kvælstof. Der var nemlig 16% chance eller mere for at få de observerede værdier, selvom niveauet skulle være uændret siden 1983-87.

På stationen i Fehmern Bælt er der statistisk set større grund til at tro på forbedrede forhold siden midten af 1980'erne: her er middelværdien for 1992-94 signifikant lavere end middelværdien for 1983-87 (tabel 4.4). Til gengæld er Fehmern Bælt mere påvirket af varierende udstrømning af Østersøvand med lavt indhold af nitrat+nitrit end andre danske farvandsområder, og faldet i koncentrationen af nitrat+nitrit kan ikke umiddelbart tilskrives mindsket lokal belastning.

Ammonium

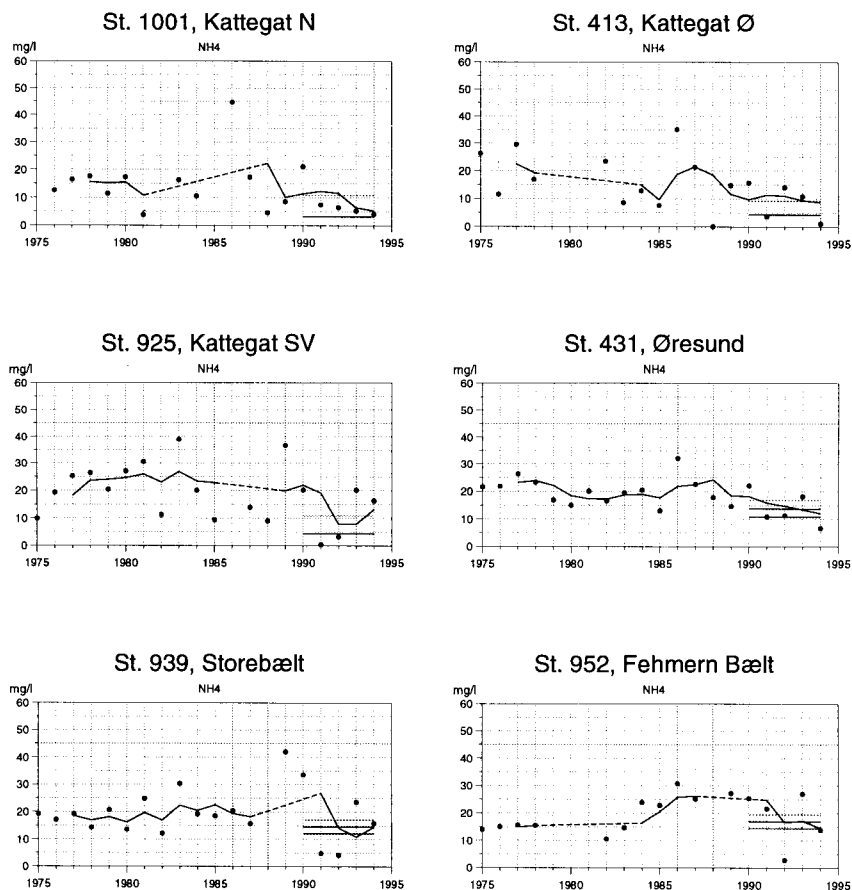
En tilsvarende statistisk analyse for ammonium (tabel 4.5-4.6 og figur 4.7) viste en generel tendens til faldende vintermidler, idet gennemsnittet for 1992-94 er mindst en tredjedel lavere end for 1983-87 på alle seks stationer. Det er muligt, at der er tale om et reelt fald, men variationen i de seneste år er meget stor (figur 4.7).

Tabel 4.5 Sammenhængen mellem den totale afstrømning i oktober-januar til de indre danske farvande og vintermiddelkoncentrationen af ammonium i overfladevandet. Se teksten til tabel 4.3 for forklaring.

Ammonium				
Station		P	Ændring ved +10% afstrømning	
			$\Delta \mu\text{g N/l}$	$\Delta \%$
1001	Kattegat N	0,57	0,53	3,4
413	Kattegat Ø	0,19	1,46	8,5
925	Kattegat SV	0,18	1,21	5,7
431	Øresund	0,10	0,70	3,5
939	Storebælt	0,37	0,66	3,1
952	Fehmern Bælt	0,65	0,35	1,7

Tabel 4.6 Test for fald i vintermiddelkoncentrationen af ammonium i overfladevandet i forhold til middel for referenceperioden 1983-87. Se teksten til tabel 4.4 for forklaring.

Ammonium							
Station		N	1983-87	1994		1992-94	
			middel \pm s.e.	$\mu\text{g N/l}$	P_{1994}	middel	$P_{1992-94}$
1001	Kattegat N	4	22,3 \pm 7,7	4,0	0,18	5,3	0,12
413	Kattegat Ø	5	17,1 \pm 5,1	1,1	0,13	8,7	0,19
925	Kattegat SV	4	20,6 \pm 6,5	16,3	0,39	13,2	0,26
431	Øresund	5	21,5 \pm 3,1	6,8	0,061	12,1	0,068
939	Storebælt	5	20,8 \pm 2,5	15,8	0,23	14,5	0,099
952	Fehmern Bælt	5	23,5 \pm 2,6	13,8	0,10	14,6	0,051



Figur 4.7 Udviklingen i afstrømningskorrigeret vintermiddelkoncentration ($\mu\text{g N/l}$) af ammonium i overfladevandet. Signaturer som for figur 4.6, se dér. Jævnfør også tabel 4.6.

Udviklingen i kystnære områder

Resultaterne fra amternes analyser af udviklingen i vinter- og sommerkoncentrationerne af kvælstofnæringssalte afspejler primært den varierende belastning fra land, da de anvendte koncentrationer ikke er korrigerede for variationer i afstrømning. Kun på få vandkemistationer i kystvandene er der påvist signifikant stigende eller faldende tendenser (tabel 4.7 og 4.8).

Tabel 4.7 Signifikante udviklingstendenser i vintermiddelkoncentrationer (december-februar) af kvælstofnæringssalte på stationer i de danske farvande. TN = total kvælstof, NO = nitrat+nitrit, NH = ammonium. Ændring pr. år er i $\mu\text{g N/l}$.

Område	Station	Variabel	Periode	Ændring pr. år
Lister Dyb	1	NH	1989-94	+
Højer Dyb	2	TN	1989-94	-
Juvre Dyb	1630016	NO	1992-94	-
Vesterhavet (Ringkøbing)	43	NO	1990-94	-
Ringkøbing Fjord	1	NH	1989-94	+ 9,7
Skive Fjord	3727	NH	1988-94	- 13,0
Vejle Fjord	4273	TN	1989-94	+ 25,3
		NH	1985-93	+ 2,0
Flensborg Fjord	KFF2	TN	1986-94	-
		NO		-
		NH		-
Storebælt, Romsø	STB53	NO	1990-94	+ 16
		NH		- 6,3
Isefjord Yderbredning	3	TN	1989-94	+ 77
		NO		+ 72
Køge Bugt	1722	NO	1986-94	+ 6,4
	1726	TN	1987-94	- 21

I nogle kystfarvande er tendenserne på forskellige stationer eller for forskellige fraktioner af kvælstofnæringssalte modsat rettede. Der kan være tale om meget lokale forhold, men det kan også tages som et tegn på, at alene den store variation på især vintermidlerne kan give statistisk signifikante tendenser (op eller ned), som ingen reel betydning har. Således er den signifikante udvikling ofte baseret på en enkelt eller få ekstreme værdier i de korte tidsserier på 5-6 år. Desuden skal udviklingstendenser i ammonium tages med et vist forbehold pga. kontamineringsproblemer ved prøvetagning og analyser.

Tabel 4.8 Signifikante udviklingstendenser i sommermiddelkoncentrationer (maj-september) af kvælstofnæringssalte på stationer i de danske farvande. TN = total kvælstof, NO = nitrat+nitrit, NH = ammonium. Ændring pr. år er i $\mu\text{g N/l}$.

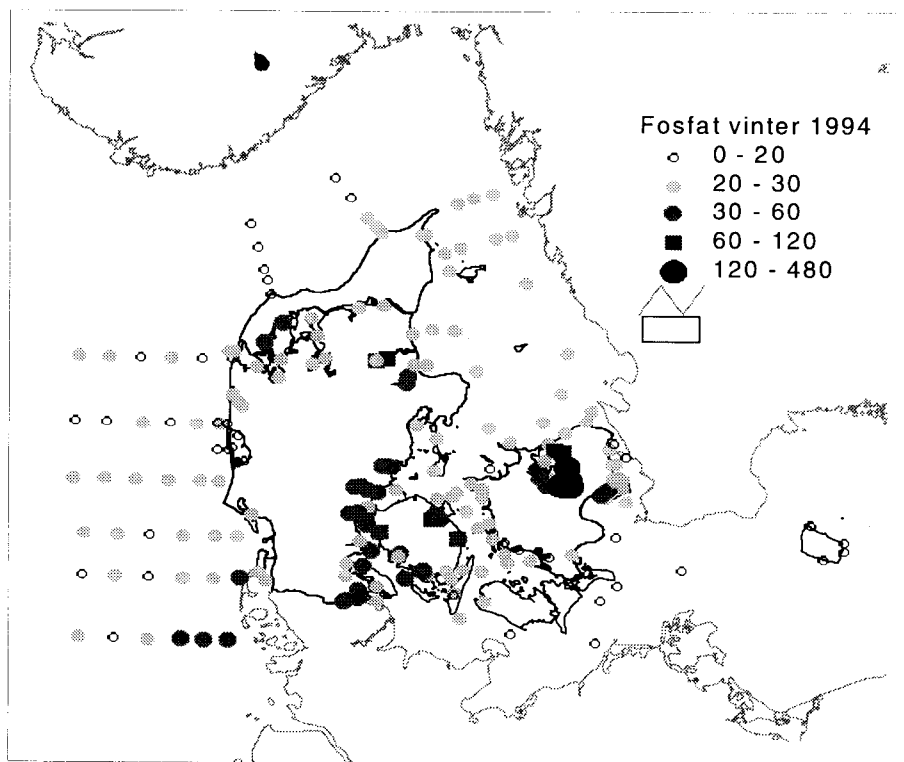
Område	Station	Variabel	Periode	Ændring pr. år
Ho Bugt	1610003	TN	1990-94	+
Vesterhavet (Ribe)	1510006	NO	1989-94	+
Ringkøbing Fjord	2	NH	1986-94	-
	3	NH		-
Nissum Fjord	22	NH	1986-94	-
	23	TN		-
Nissum Bredning	3702	NO	1988-94	+ 14,4
Ålbæk Bugt, Jerup	3310	NO	1989-94	+ 4,1
Kattegat, Dokkedal	4410	NO	1989-94	+ 2,3
Århus Bugt	170006	TN	1986-94	+ 8

Område	Station	Variabel	Periode	Ændring pr. år
Vejle Fjord	4273	NO	1982-94	+ 2,0
Odense Fjord	ODF17	TN	1989-94	+ 64,2
Storebælt, Romsø	STB53	TN NH	1989-94	+ 8,5 - 2,3
Isefjord Yderbredning	3	TN NH	1989-94	+ 28 + 9,5
Roskilde Fjord Syd	60	TN NO	1978-94	- 79 - 4,0
Øresund	3005	TN	1990-94	- 9,5

4.4 Fosforkoncentrationer

Geografisk fordeling

Den geografiske fordeling af fosfat i overfladevandet i vinteren 1993/ 94 er vist på figur 4.8. De højeste koncentrationer fandtes i Roskilde Fjord, og høje koncentrationer fandtes desuden i Odense Fjord og Mariager Fjord. I øvrigt var vinterkoncentrationerne af fosfat meget ensartet med ret små forskelle mellem åbne og lukkede områder.



Figur 4.8 Tidsvægtede vintermidler (december-februar) af fosfat koncentrationen i overfladevandet (0-10 m). Enhed: $\mu\text{g P/l}$.

Udviklingen i de åbne områder

Vintermiddelkoncentrationerne af fosfat i overfladevandet i de åbne indre farvande er underkastet den samme statistiske analyse som beskrevet for kvælstof ovenfor (afsnit 4.3). Fosfatkoncentrationerne er i Kattegat ligeså afhængige af ferskvandsafstrømningen som kvælstofkoncentrationerne er, mens korrelationen er mindre udtalt på de sydligere stationer (sammenlign tabellerne 4.3 og 4.9).

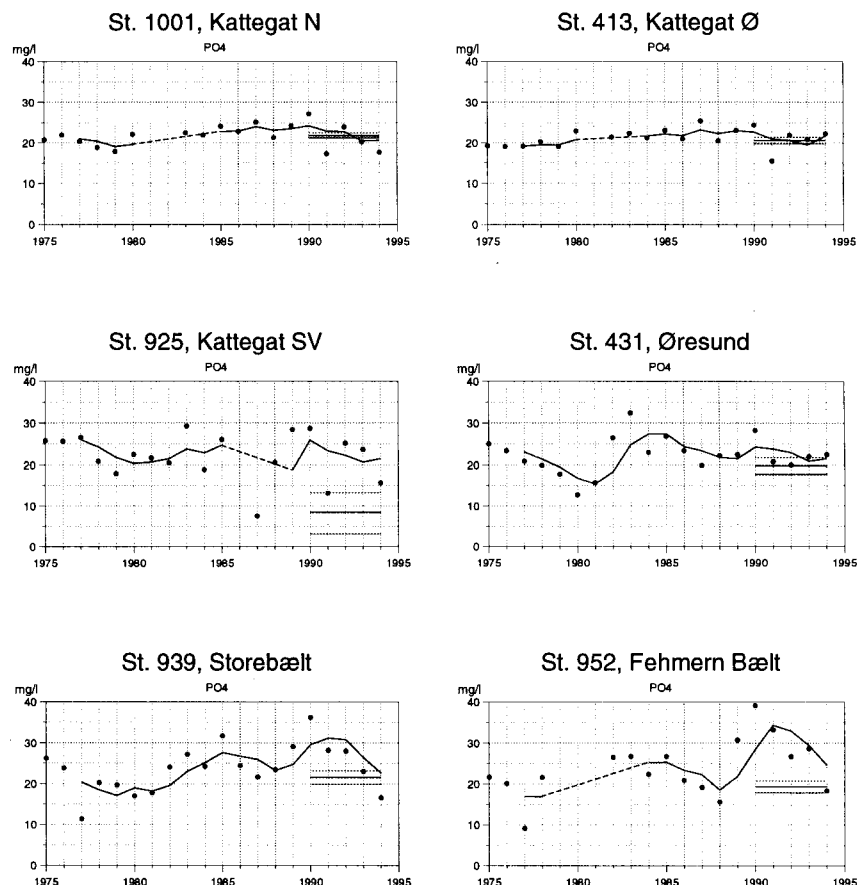
Tabel 4.9 Sammenhængen mellem den totale afstrømning i oktober-januar til de indre danske farvande og vintermiddelkoncentrationen af fosfat i overfladevandet. Se teksten til tabel 4.3 for forklaring.

Fosfat		Ændring ved +10% afstrømning		
Station		P	$\Delta \mu\text{g P/l}$	$\Delta \%$
1001	Kattegat N	0,007	0,83	3,8
413	Kattegat Ø	<0,001	1,03	4,8
925	Kattegat SV	0,026	1,23	5,4
431	Øresund	0,27	-0,46	-2,1
939	Storebælt	0,12	0,82	3,5
952	Fehmern Bælt	0,52	0,48	2,1

For stationen i det nordlige Kattegat viser den statistiske analyse et signifikant fald i fosfatkoncentrationen siden 1983-87 (tabel 4.10 og figur 4.9). Den faldende tendens siden 1991 i Storebælt og Fehmern Bælt fortsatte, men niveauet er (endnu) ikke signifikant mindre end ved Vandmiljøplanens vedtagelse. Den faldende fosforbelastning har altså kun i nogle åbne havområder givet et fald i vinterkoncentrationerne.

Tabel 4.10 Test for fald i vintermiddelkoncentrationen af fosfat i overfladevandet i forhold til middel for referenceperioden 1983-87. Se teksten til tabel 4.4 for forklaring.

Fosfat		1983-87					
		1983-87		1994		1992-94	
Station	N	middel±s.e.	$\mu\text{g P/l}$	P_{1994}	middel	$P_{1992-94}$	
1001	Kattegat N	5	23,3±0,6	17,7	0,009	20,6	0,024
413	Kattegat Ø	5	22,6±0,8	22,3	0,44	21,8	0,27
925	Kattegat SV	4	20,4±4,8	15,7	0,34	21,5	0,56
431	Øresund	5	25,1±2,1	22,5	0,32	21,5	0,18
939	Storebælt	5	25,8±1,7	16,6	0,046	22,6	0,15
952	Fehmern Bælt	5	23,2±1,5	18,4	0,14	24,6	0,70



Figur 4.9 Udviklingen i afstrømningskorrigeret vintermiddelmkoncentration ($\mu\text{g P/l}$) af fosfat i overfladevandet. Signaturer som for figur 4.6, se dér. Jævnfør også tabel 4.10.

Udviklingen i kystnære områder

I de kystnære områder er fosforkoncentrationerne stærkt påvirket af belastningen fra land, og skønt fosforbelastningen i 1994 var større end i 1993, ses på en lang række stationer i kystfarvandene signifikante fald i både vinter- og sommerkoncentrationer siden slutningen af 1980'erne (tabel 4.11 og 4.12). Der er ingen steder registreret stigninger. Dette er et resultat af den stærkt faldende punktkildebelastning som følge af bedre rensning af spildevand og brug af fosfatfrie vaskemidler (Miljøstyrelsen, 1994). I Vesterhavet er tilførslerne med de europæiske floder og Den Jyske Kyststrøm også faldet.

Tabel 4.11 Signifikante udviklingstendenser i vintermiddelkoncentrationer (december-februar) af fosfornæringssalte på stationer i de danske farvande. TP = total fosfor, PO = fosfat. Ændring pr. år er i $\mu\text{g P/l}$.

Område	Station	Variabel	Periode	Ændring pr. år
Lister Dyb	1	PO TP	1989-94	- -
Højer Dyb	2	PO	1989-94	-
Vesterhavet (Ribe) (Ringkøbing)	1510001	PO	1991-93	-
	1510008	PO	1990-94	-
	1510009	PO	1990-94	-
	1510003	TP	1991-93	-
	1510005	TP	1990-94	-
	43	TP	1990-94	-
	41	PO	1987-94	-
	42	PO	1987-94	-
	43	PO	1990-94	-
	44	PO	1990-94	-
Ringkøbing Fjord	1	PO	1987-94	-1,2
		PO	1989-94	-1,4
	2	PO	1987-94	-
		PO	1989-94	-
Nissum Fjord	22	PO	1987-94	-
Nissum Bredning	3702	PO	1988-94	-4,0
Løgstør Bredning	3708	PO	1988-94	-7,8
		TP		-7,5
Skive Fjord	3727	PO	1988-94	-6,0
		TP		-5,6
Mariager Fjord	M3	PO	1989-94	-16,1
		TP		-15,7
Vejle Fjord	4273	TP	1985-93	-13,0
Snævringen	NLB18- +51	PO	1986-95	-
Lillebælt Syd	SLB43	TP	1990-94	-2,2
Flensborg Fjord	KFF2	PO	1986-94	-
		TP		-
Isefjord Yderbredning	3	TP	1989-94	-7,4
Øresund	3005	TP	1990-94	-1,8
Køge Bugt	1726	PO	1986-94	-3,7
		TP		-3,6

Tabel 4.12 Signifikante udviklingstendenser i sommermiddelkoncentrationen (maj-september) af fosfor-næringsstoffer på stationer i de danske farvande. TP = total fosfor, PO = fosfat. Ændring pr. år er i $\mu\text{g P/l}$.

Område	Station	Variabel	Periode	Ændring pr. år
Lister Dyb	1	TP	1989-94	-
Knude Dyb	1620012	PO	1989-94	-
	1620014	PO		-
Grådyb	1610008	PO	1989-94	-
Vesterhavet (Ribe) (Ringkøbing)	1510003	TP	1989-94	-
	41	TP	1983-94	-
	63	TP	1991-94	-
Nissum Fjord	21	PO	1986-94	-
		TP	1985-94	-
	22	PO	1986-94	-
		TP	1983-94	-
	23	PO	1986-94	-
		TP	1983-94	-
Nissum Bredning	3702	PO	1988-94	- 2,5
		TP		- 7,4
Løgstør Bredning	3708	PO	1988-94	- 4,4
Kattegat, Dokkedal	4410	TP	1989-94	- 2,5
Randers Fjord	230904	PO	1989-94	- 21
		TP		- 28
Århus Bugt	170006	TP	1986-94	- 1,2
Odense Fjord	ODF17	PO	1989-94	- 24,1
		TP		- 29,1
Roskilde Fjord Syd	60	PO	1989-94	- 64
		TP		- 68
		PO	1978-94	- 18
		TP		- 21
Køge Bugt	1726	TP	1985-94	- 1,8

4.5 Silikatkoncentrationer

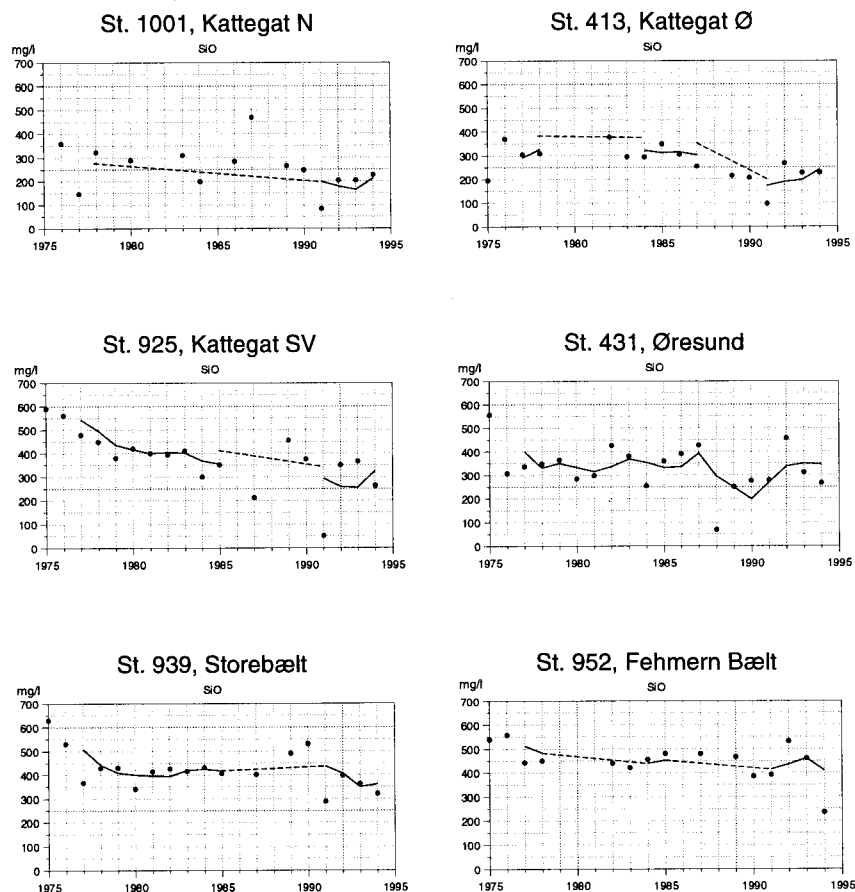
Udviklingen

Vandmiljøplanen har ikke til formål at ændre forekomsten af silikat i vandmiljøet. Silikat er imidlertid et vigtigt næringsstof for kiselalgerne, og silikat overvåges således for at give baggrundsviden for vurdering af algeproduktionen og algesammensætningen.

Åbne havområder

Silikat tilføres havmiljøet fra land, og silikatkoncentrationerne i overfladevandet i december-februar er ligesom kvælstof- og fosfor-koncentrationerne korreleret med ferskvandsafstrømningen i oktober-januar. Figur 4.10 viser udviklingen i afstrømningskorrigerede vintermiddelkoncentrationer af silikat i overfladevandet. Der er i Kattegat sket et fald i silikatkoncentrationen siden slutningen af 1970'erne. Dette kan skyldes, at remineraliseringen af kiselalger, der bundfældes i Kattegat, er lavere end sedimentationen, og biologisk

bundet kisel således ophobes i sedimentet, eller at tilførslen fra land er faldet, måske fordi der tilbageholdes mere silikat i søer og fjorde end tidligere.



Figur 4.10 Udviklingen i afstrømningskorrigeret vintermiddelkoncentration ($\mu\text{g Si/l}$) af silikat i overfladevandet. Signaturer som for figur 4.6, se dér.

Kystnære områder

Kun få amter har rapporteret om ændringer i silikatkoncentrationerne siden slutningen af 1980'erne. Det drejer sig om faldende vinterkoncentrationer i Ringkøbing Fjord og Løgstør Bredning, og stigende vinterkoncentrationer i Øresund og Flensborg Fjord. Faldende sommerkoncentrationer er observeret i det nordlige Lillebælt og den sydlige Roskilde Fjord, mens sommerkoncentrationerne synes stigende i Køge Bugt.

Faldende silikatkoncentrationer i vintermånederne kan medføre silikatmangel under algernes forårsopblomstring og således føre til begrænsning af kiselalgeproduktionen og dermed muligvis til ændret artssammensætning af algesamfundene sidst på foråret i forhold til tidligere år.

4.6 Næringssaltbegrænsning

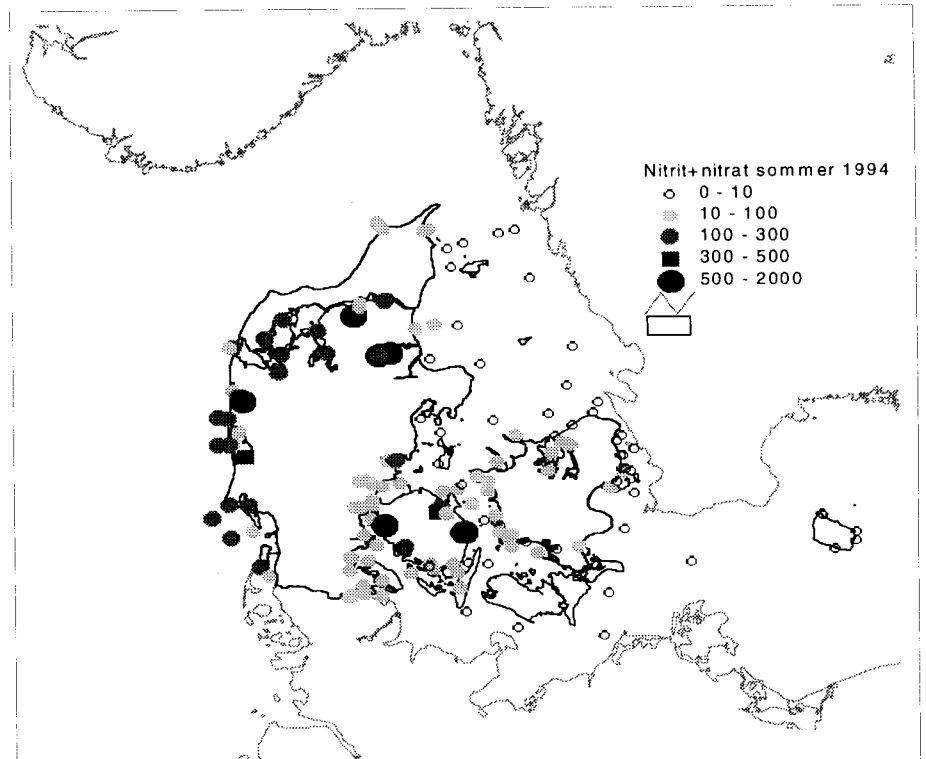
Fytoplanktonets produktion og biomasse er overordnet begrænset af tilgængeligheden af uorganiske næringssalte, samt tilgængeligheden af lys. Lave koncentrationer af fosfor- og kvælstofnæringsal-

te kan i visse tilfælde opfattes som tegn på, at produktionen er næringsstofbegrænset. I mange tilfælde vil naturlige planktonsamfund dog kunne opretholde en høj produktion ved lave næringsstofkoncentrationer, blot tilførslen f.eks. ved mineralisering er tilstrækkelig stor. Det er derfor vanskeligt alene på baggrund af koncentrationsmålinger at afgøre, om det er det ene eller det andet næringssalt, der er den primære begrænsende faktor for produktionen. Ideelt bør analysen baseres på bestemmelser af tilgængeligheden (tilførselshastighederne) af næringssaltene, herunder om forholdet mellem tilførslerne af kvælstof og fosfor afviger fra N/P-forholdet i algerne. Analysen vil i de fleste tilfælde være umulig at gennemføre, bl.a. på grund af manglende kendskab til mineraliseringshastigheder i vandet og størrelsen af den interne belastning fra sedimenterne. I de fleste tilfælde må man derfor basere vurderingerne på en kombination af forskellige informationer, herunder koncentrationer af næringssalte i vandet og deres indbyrdes forhold. Jo færre informationer, der er til rådighed, jo mere usikre bliver vurderingerne.

I det følgende antages, at der er potentiel mulighed for kvælstofbegrænsning, hvis nitrat+nitrit-koncentrationen er under $14 \mu\text{g N/l}$. Tilsvarende antages potentiel mulighed for fosforbegrænsning, hvis fosfat-koncentrationen er under $2 \mu\text{g P/l}$. Ved silikat-koncentrationer under $30 \mu\text{g Si/l}$ antages potentiel mulighed for silikatbegrænsning af kiselalgevækst, men ikke af primærproduktionen generelt, da andre algegrupper kan tage over. Grænseværdierne er valgt ud fra, at de ligger tæt på detektionsgrænsen for mange af de involverede analyselaboratorier, samt indikationer for at der undertiden kan optræde reel næringsstofbegrænsning ved de nævnte værdier (Paasche & Erga, 1988; Ærtebjerg *et al.* 1993; Agger *et al.* 1994).

Geografisk oversigt

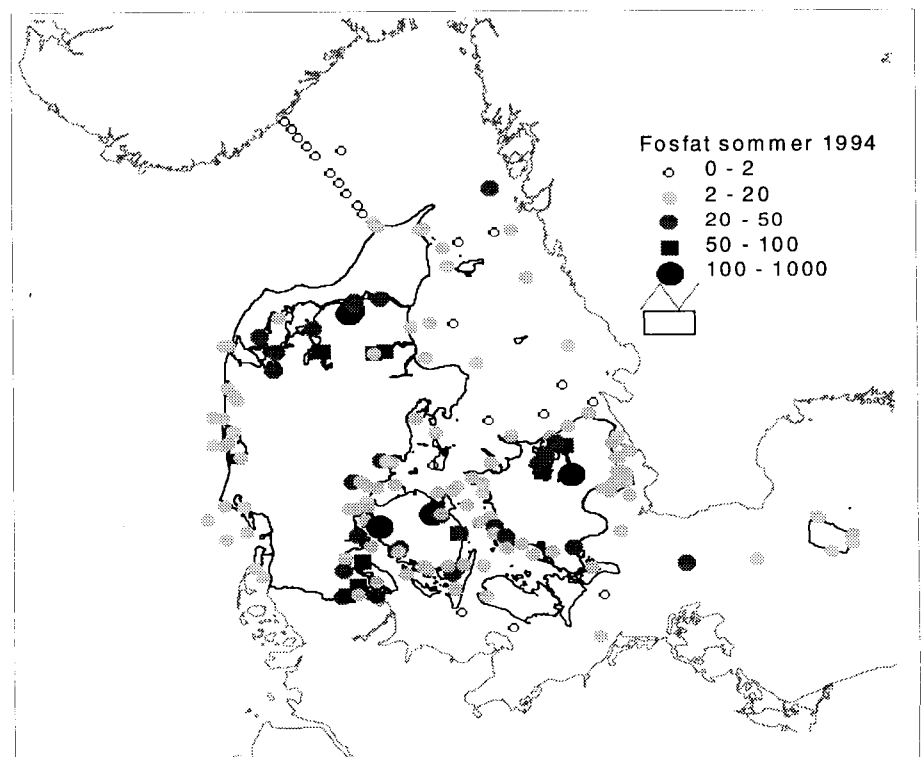
Figur 4.11 til 4.13 viser middelkoncentrationer af næringssalte i overfladevandet (0-10 m) i maj-september 1994. Figurerne giver et overblik over, hvor der har været lave næringssaltkoncentrationer og dermed potentiel næringssaltbegrænsning af primærproduktionen i længere perioder hen over sommeren.



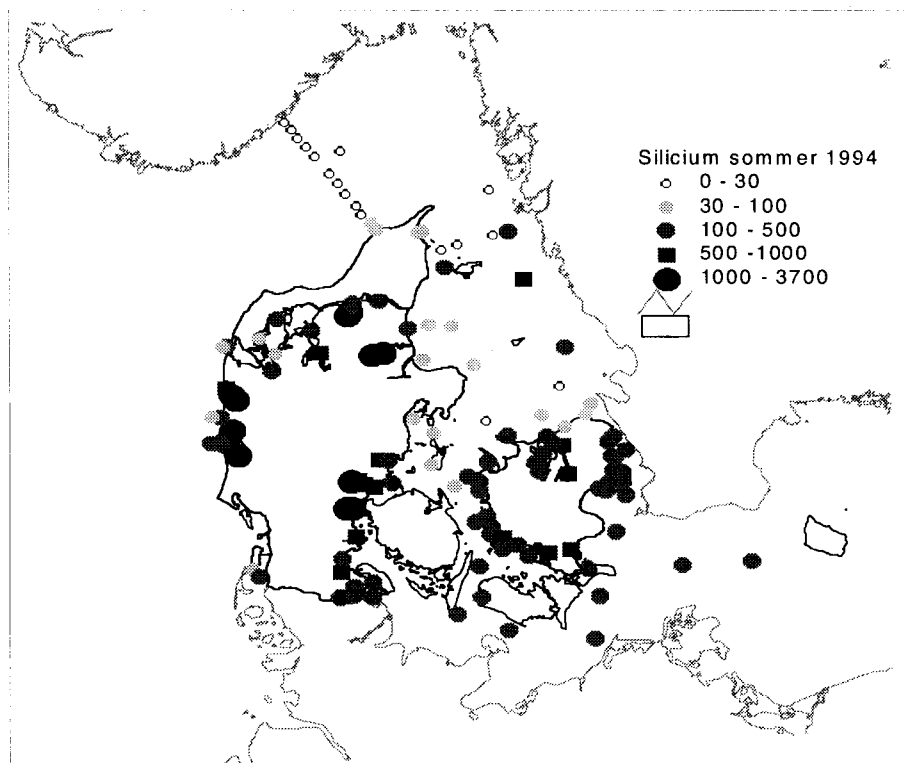
Figur 4.11 Tidsvægtede sommermidler (maj-september) af nitrat+nitrit koncentrationen i overfladevandet (0-10 m). Enhed: $\mu\text{g N/l}$.

Åbne farvande

Tilgængeligheden af kvælstofnæringsalte har været potentielt begrænsende for primærproduktionen i det meste af sommerperioden i de lagdelte områder af de åbne indre farvande, hvor sommermiddelkoncentrationen var omkring eller under $10 \mu\text{g N/l}$ (figur 4.11). Det samme gælder for fosfat (figur 4.12), mens silikatmiddelkoncentrationerne tyder på, at der kun i Kattegat kan have været silikatbegrænsning i det meste af sommerperioden (figur 4.13).



Figur 4.12 Tidsvægtede sommermidler (maj-september) af fosfat koncentrationen i overfladevandet (0-10 m). Enhed: $\mu\text{g P/l}$.



Figur 4.13 Tidsvægtede sommermidler (maj-september) af silikat koncentrationen i overfladevandet (0-10 m). Enhed: $\mu\text{g Si/l}$.

Amtsstationer

Tabel 4.13 viser de perioder, hvor der har været lave nærings salt-koncentrationer og dermed kan have været nærings saltbegrænsning i 1994 på stationer med intensiv prøvetagning i kystvandet. Mange steder var potentiel kvælstofbegrænsning af kortere varighed i 1994 end i de foregående år. Således blev nitrat-nitrit koncentrationer under $14 \mu\text{g/l}$ på intensiv-stationerne i Limfjorden kun observeret én gang, nemlig i Skive Fjord i slutningen af juli, mens dette i årene 1988-92 ofte forekom, især i Nissum Bredning. Bioassay med makroalgen søsalat indikerede dog kvælstofbegrænsning i Nissum Bredning i august-september, samt i Skive Fjord i begyndelsen af juli. Desuden rapporteres om senere indtrådte og kortere perioder med lave nitrat-nitrit koncentrationer i 1994 i Hevring Bugt, Århus Bugt, Vejle Fjord og sydlige Roskilde Fjord. Dette harmonerer med den store kvælstofbelastning i 1994. Derimod meldes der om længere perioder med potentiel kvælstofbegrænsning i Øresund og Smålandsfarvandet end tidligere, hvilket kan skyldes hyppige østenvinde i 1994 og udstrømning af næringsfattigt Østersø vand.

Tabel 4.13 Oversigt over perioder i 1994 med potentiel næringsaltbe-
grænsning af primærproduktionen i forskellige områder be-
dømt ud fra stationer med intensiv prøvetagning. N:
nitrat+nitrit < 14 µg/l. P: fosfat < 2 µg/l. S: silikat < 30 µg/l.
*fosfat < 5 µg/l og silikat < 100 µg/l. **nitrat+nitrit+ammonium
< 15 µg/l. Fed = påvist ved bioassay med interne næringsstof-
puljer i søsalat.

Område	M	A	M	J	J	A	S	O	N
Vadehavet, Hjerting									N
Ringkøbing Fjord				NNNNNN		NNNNNN			P
Skagerrak, Hirtshals					NN	NN	NN		P
			PP		PP				
			SS		SS	S	SS		
Nissum Bredning								NNNNN	
	P	PPPPPPPPPP							
	S	SSSSSSSSSS	S						
Løgstør Bred- ning	PPPPPPPPPPPPPP								
	SS	S	SS	SS				S	
Skive Fjord						NN			
	P	PPPPPPPP							
		S	SSSS						
Ålbæk Bugt, Jerup						NNNNN			
	PPPPPPPPPP					PP			
	SSSSSS					SSSS			
Ålborg Bugt, Dokkedal	N	NNN	NNNNNNNNNNNN						
	PPPPPP	P	PPPP						
	SSSSSS	SSS	SSSSS						
Mariager Fjord**						N			
		PPPPPP				P			
Hevring Bugt				N	NNNNNNNNNNNN				
		PPPPPPPP							
	S	S	SSSS			S	SSS		
Århus Bugt			NN	NNNNN	NNN				
	PP			PP	PP				
	S			SS	S	S	S		
Vejle Fjord						NNNNNNN			
	P	P	PP			PPPP			
Lillebælt Nord*				NNN	NNNNNN	N			
	PPPPPP			PPP					
	SSSS	SSS	SS				S		
Lillebælt Syd*		N	N		NNN				
	PPPPPP			PPP	P				
	SSSS	S	SS						
Det Sydfynske Øhav*			NNNN	NNN	NN				
	PPPPPP	P	PPPP						
	S	SSSS	S	SSS				S	
Karrebæksminde Bugt				NNNNNNNNNNNN	NNN				
	P	PPPPPP	PPP						
								S	
Storebælt, Rom- sø*			NNNN	NNN	NN				
	PPPPPP	P	PP	P					
	S	SSSS	S	SSS				S	

Område	M	A	M	J	J	A	S	O	N
Isefjord Yderbredning									
Roskilde Inderbredning									
Kattegat Syd									
Øresund									

I takt med den aftagende punktkildebelastning med fosfor har der i de seneste år været en tendens til længerevarende og/eller hyppigere perioder med lave fosforkoncentrationer og potentiel fosforbegrænsning i en række kystvande. Denne tendens er fortsat i 1994, trods en større fosforbelastning end i 1993. Dette kan i mange områder skyldes et større fosforforbrug i forbindelse med den større kvælstofbelastning. I områder med periodevist lave fosforkoncentrationer, men uden længerevarende potentiel kvælstofbegrænsning, som Limfjorden og Mariager Fjord, må det formodes, at fosforbegrænsning i perioder har reel betydning for primærproduktionens størrelse.

Der er ikke observeret nogen generel udvikling i længde og hyppighed af perioder med lave silikatkoncentrationer. Silikatbegrænsning af kiselalgeproduktionen forekommer ikke i Ringkøbing Fjord, Mariager Fjord, Vejle Fjord, Isefjord, Roskilde Fjord og Karrebæksminde Bugt. Disse er alle områder med stor ferskvandstilførsel og/eller ringe vanddybde. Der er i Ringkøbing Fjord en tendens til lavere silikatkoncentrationer parallelt med en stigende mængde kiselalger gennem de seneste år.

Reel begrænsning

Perioden med potentiel kvælstofbegrænsning dækker mange steder delvist perioderne med lave fosfor- og/eller silikatkoncentrationer. Hvorvidt der i disse perioder reelt er tale om andet end kvælstofbegrænsning er tvivlsomt.

4.7 Konklusion

Belastningen fra punktkilder var i 1994 fortsat lav, men pga. en meget stor ferskvandsafstrømning i vinteren, foråret og september 1994 blev den diffuse belastning med fosfor større end i 1993. Kvælstofbelastningen blev på niveau med de største i 1980'erne. Korrigeres den diffuse belastning for variationer i ferskvandsafstrømningen, er denne del af belastningen stort set uændret. Den diffuse belastning skyldes hovedsagelig udvaskning fra landbrugsarealer.

Den atmosfæriske kvælstofdeposition var i 1994 af samme størrelsesorden, som i de foregående år. Tørdepositionen har imidlertid tidligere været underestimeret, og atmosfæredepositionens andel i kvælstofbelastningen i farvande med stort overfladeareal er dermed lidt større end tidligere antaget.

Den lave punktkildebelastning med fosfor afspejles i signifikant faldende fosforkoncentrationer i de fleste kystfarvande og Vesterhavet siden slutningen af 1980'erne, og der er også tendens til fald i de åbne indre farvande. I overensstemmelse med den varierende kvælstofbelastning, der alene er afstrømningsafhængig, er der ingen generel udvikling i koncentrationerne af kvælstofnærings-salte i farvandene. Der er dog målt højere vinter- og sommerkoncentrationer i 1994 end i de foregående år.

Perioder med potentiel kvælstofbegrænsning af primærproduktionen indtrådte i 1994 i mange kystvande senere og var af kortere varighed end i de seneste år. Derimod fortsatte tendensen med længere perioder med potentielt begrænsende fosforkoncentrationer i mange kystvande. I enkelte områder med periodevise lave fosforkoncentrationer og uden længerevarende potentiel kvælstofbegrænsning, må det antages, at fosforbegrænsning i perioder har reel betydning for primærproduktionens størrelse.

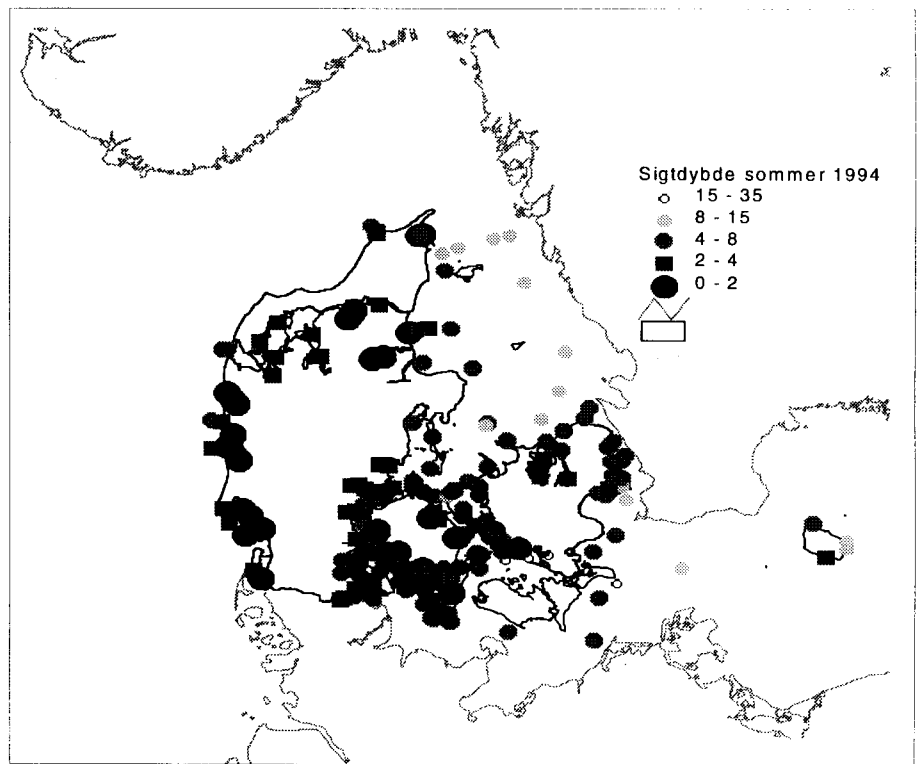
5 Fytoplankton

I sidste års rapport (Agger *et al.* 1994) blev der foretaget en grundig analyse af fytoplanktondata. Derfor vil der i det følgende kun indgå en kort behandling af tilstand og udvikling i sigtdybde, klorofylbiomasse og primærproduktion, samt en beskrivelse af særlige observationer, herunder masseforekomster og toksiske alger.

5.1 Sigtdybde, klorofylbiomasse og primærproduktion

Autotrofe planktonalger behøver lys til fotosyntesen for at kunne vokse. Sigtdybden (eller Secchi-dybden, som er dybden, hvor en hvid skive ca. 30 cm i diameter, der sænkes ned i vandet, forsvinder af syne) er et mål for vandets turbiditet (lysdæmpende indhold af partikulære og opløste stoffer), der sammen med vandets egen lysdæmpning bestemmer gennemskinneligheden. Sigtdybden svarer til den dybde, hvortil 10-13% af sollyset trænger ned. To gange sigtdybden svarer ca. til kompensationsdybden eller dybden af den eufotiske zone, dvs. den vandsøjle, hvor der er tilstrækkeligt sollys til at planter kan opretholde en nettoproduktion.

Figur 5.1 viser tidsvægtede sommermiddelværdier (maj-september) af sigtdybden i de danske farvande. Sigtdybden er højest i de åbne farvande og lavest i Vadehavet og lavvandede fjorde og Nor. De laveste sigtdybder skyldes dels resuspension af sediment, og dels stor algebiomasse.



Figur 5.1 Sigtgybder i meter i sommeren 1994 angivet som tidsvægtede middelværdier af målinger foretaget i perioden fra 1. maj til 30. september.

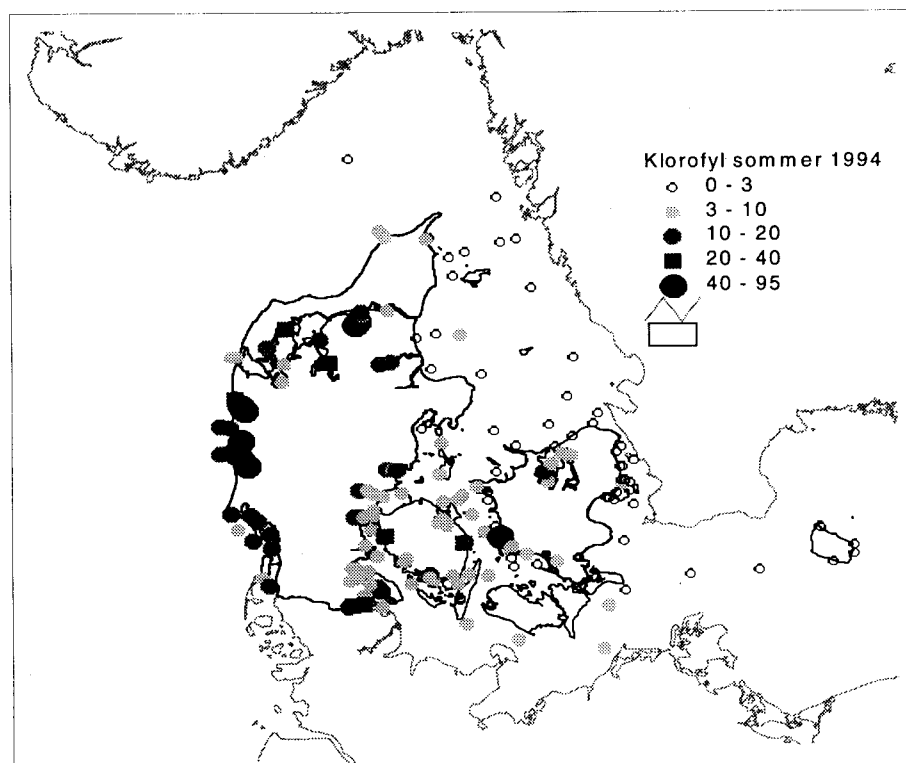
Kun få steder er der rapporteret om en signifikant udvikling i sigtgybden siden midten/slutningen af 1980'erne. I Vesterhavet ud for Limfjorden og i Isefjordens Yderbredning synes sommer-sigtgybden at være aftaget, mens den er tiltaget i Nissum Fjord, Kolding Fjord og Hjelm Bugt. Også årsmiddel-sigtgybden i Køge Bugt synes at være tiltaget siden 1985.

Klorofyl-a er planktonalgernes vigtigste pigment til fiksering af sollysets energi, og da det er forholdsvis nemt at kvantificere, bruges det som mål for algenes biomasse. Kulstof:klorofyl forholdet varierer dog meget arterne imellem og især i løbet af året. Kulstof:klorofyl forholdet i åbne danske farvande er typisk omkring 40 forår og efterår og omkring 80 om sommeren, men kan især i kystområder afvige markant fra dette. Klorofyl er således kun et relativt mål for algebiomassen, men målinger fra samme årstid og lokalitet er relativt sammenlignelige. Den tilstedeværende algebiomasse afhænger af forholdet mellem produktion og græsning/udsynkning.

Klorofylkoncentrationerne i 1994 varierede fra meget høje til normale eller lave koncentrationer afhængig af område og tidspunkt. Forårsopblomstringen var meget stor i nogle områder. Den er dog ikke registreret i prøvetagningen i mange af de sydlige farvande, men ud fra faldet i næringssaltkoncentrationerne vurderes opblomstringen også her at have været stor. Det urolige vejr i juni transporterede i mange områder nye næringsalte til den eufotiske zone. Det rolige vejr i juli-medio august nedsatte transporten af næringsalte fra bund til overflade, selv i lavvandede områder. Til gengæld forøgede de høje temperaturer næringssaltenes omsætningshastighed. Opblandingen i midten af august og senere førte igen nærings-

salte til overfladen og gav store algeopblomstringer i mange områder.

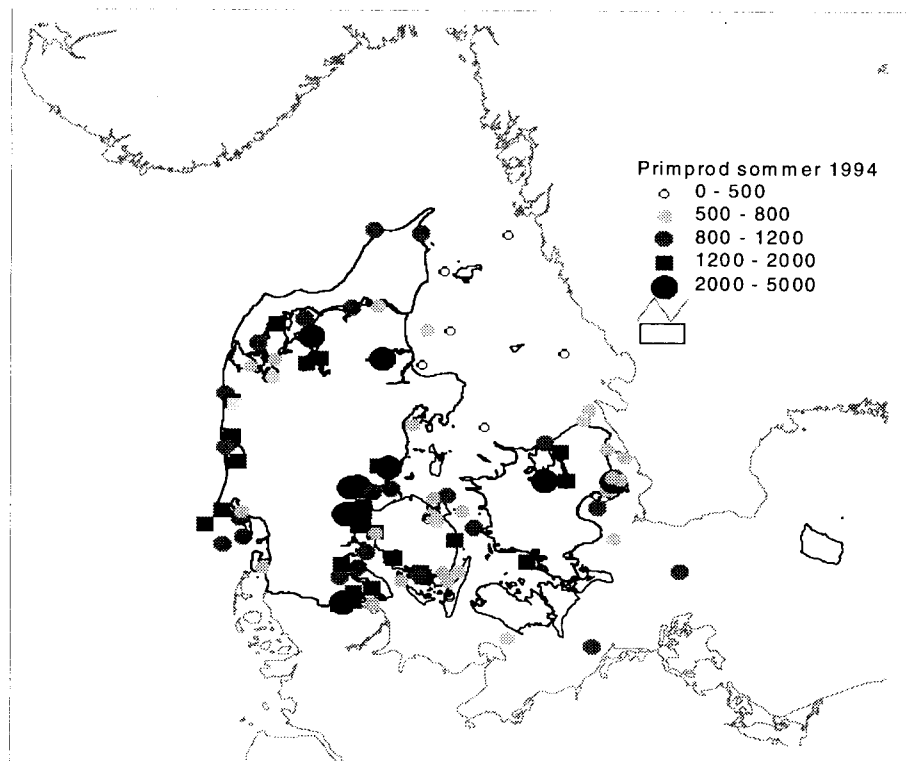
Tidsvægtede sommermiddelværdier (maj-september) af klorofyl i overfladelaget i 1994 er vist i figur 5.2. De største koncentrationer findes som normalt i de mest lukkede og lavvandede nor og fjorde. Signifikant udvikling i koncentrationen af klorofyl siden slutningen af 1980'erne er kun rapporteret fra fire steder: en stigning i sommerkoncentrationen af klorofyl i Isefjords Yderbredning og Kattegat ud for Isefjord, et fald i årsmiddel af klorofyl i Køge Bugt, samt et lavere klorofylniveau om foråret i Århus Bugt i perioden 1990-94 i forhold til 1986-89. Der kan således ikke konstateres nogen landsdækkende udvikling.



Figur 5.2 Klorofylkoncentrationer i overfladelaget i sommeren 1994 angivet som tidsvægtede middelværdier af målinger foretaget i perioden fra 1. maj til 30. september. Enheden er $\mu\text{g l}^{-1}$.

Primærproduktionen er et mål for fytoplanktonets nettoproduktion af organisk stof, og afhænger af algebiomassen og tilgængeligheden af lys og næringsstoffer. Primærproduktionen er således et proceshastighedsmål, der integrerer flere variable, men som samtidigt er meget afhængigt af forholdene på prøvetagningstidspunktet.

Tidsvægtede sommermiddelværdier (maj-september) af fytoplanktonets daglige produktion i 1994 er vist i figur 5.3. De laveste produktioner ses i de åbne farvande og de højeste inderst i fjordene. Der rapporteres ikke om signifikante udviklinger i primærproduktionen siden slutningen af 1980'erne, bortset fra en stigning på en enkelt station i Vesterhavet ud for Ringkøbing Fjord.



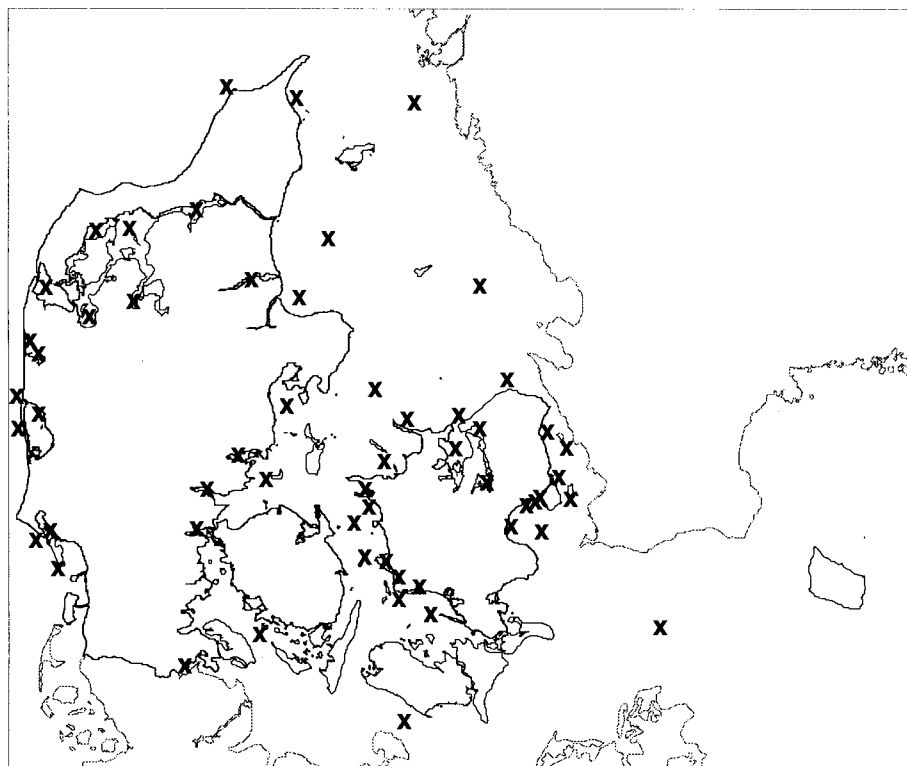
Figur 5.3 Fytoplanktonets daglige nettoproduktion i sommeren 1994 angivet som tidsvægtede middelværdier af målinger foretaget i perioden fra 1. maj til 30. september. Enheden er $\text{mg C m}^{-2} \text{dag}^{-1}$.

5.2 Artssammensætning og masseforekomster

Generelt

Opblomstring af alger er en tilbagevendende og naturlig del af planktonsuccessionen i de danske farvande. Selvom det er en normal foreteelse, er masseforekomster i de senere år registreret med øget hyppighed og varighed, formodentlig som følge af en øget næringsstofbelastning. I danske farvande følges fytoplanktons artsammensætning og biomasse løbende på 56 stationer (se figur 5.4).

Algernes vækst er reguleret af mængden af lys og næringsstoffer. Næringsstofferne tilføres overvejende farvandene via afstrømning af ferskvand fra land, men også ved nedbrydningen af organisk stof i sedimentet.



Figur 5.4 Stationer hvor der indsamles prøver med henblik på registrering af masseforekomster og toksiske alger.

Vejrets påvirkning

Vejret har en afgørende betydning for algernes vækst og udbredelse. Vindstille perioder med høj solindstråling vil skabe en lagdeling af vandet. Dette hindrer algerne i at udnytte næringsstofferne i bundvandet. I sådanne perioder observeres små mængder alger i de øvre vandmasser. Visse alger kan dog udnytte næringsstofferne under springlaget, ved at befinde sig i springlagszonen (f.eks. *Chrysochromulina* spp.). Denne evne kan give disse alger mulighed for at danne masseforekomster. Springlagsopblomstringer ses typisk i de danske farvande sommeren igennem. Et kraftigt blæsevejr kan bryde springlaget og tilføre næringsstofferne til den fotiske zone. Dette resulterer ofte i kortvarige masseopblomstringer. Især i efterårsmånederne.

Hvis der i en periode er østenvind, giver det i de østjyske fjorde en opstuvning af ferskt, næringsrigt vand, og dermed gode muligheder for en opblomstring. For hele Kattegat-området vil østenvinden derimod betyde en udstrømning af næringsfattigt, lavsalint vand fra Østersøen. I Østersø vandet findes i sensommeren blågrønalger, der så transporteres med ud i Kattegat.

Vestenvind giver derimod indstrømning af salt vand fra Nordsøen, der ved at presse næringsrigt bundvand til overfladen kan bidrage til masseforekomster.

Illsvind

Høje fytoplanktonbiomasser opstår som regel, når algernes vækst overstiger zooplanktonets græsning, enten fordi algerne vokser hurtigt, eller fordi de hæmmer dyrenes vækst og græsning som følge af toksinproduktion. Dette medfører øget sedimentation og dermed øget iltforbrug i bundvandet under nedbrydning i sedi-

mentet. Specielt i kombination med vindstille vejr kan dette give iltsvindsproblemer ved bunden.

Masseforekomst

I forbindelse med temarapporten i 1993 (Agger et al. 1994), der satte fokus på fytoplankton, blev det defineret, at en masseforekomst er en opblomstring af een eller flere nærtbeslægtede arter, hvor biomassen overstiger $200 \mu\text{g C l}^{-1}$ og/eller $8 \mu\text{g chl-a l}^{-1}$.

1994

Karakteristisk for 1994 er store nedbørsmængder i årets første måneder, der resulterede i store tilførsler af næringsstoffer. I sommersæsonen er der lange perioder med stille vejr, sol og varme. Forhold der tilsammen giver anledning til masseopblomstringer. Der er derfor registreret masseforekomster i stort set alle områder. Masseforekomsterne har i 1994 været hyppigere end tidligere, og mange steder er der tale om de største biomasse-målinger indenfor de sidste fem år.

Sæsonvariation

Almindeligvis ses en artssuccession i opblomstringerne året igennem. Men i 1994 var det dog overvejende kiselalger, der dominerede (se figur 5.5).

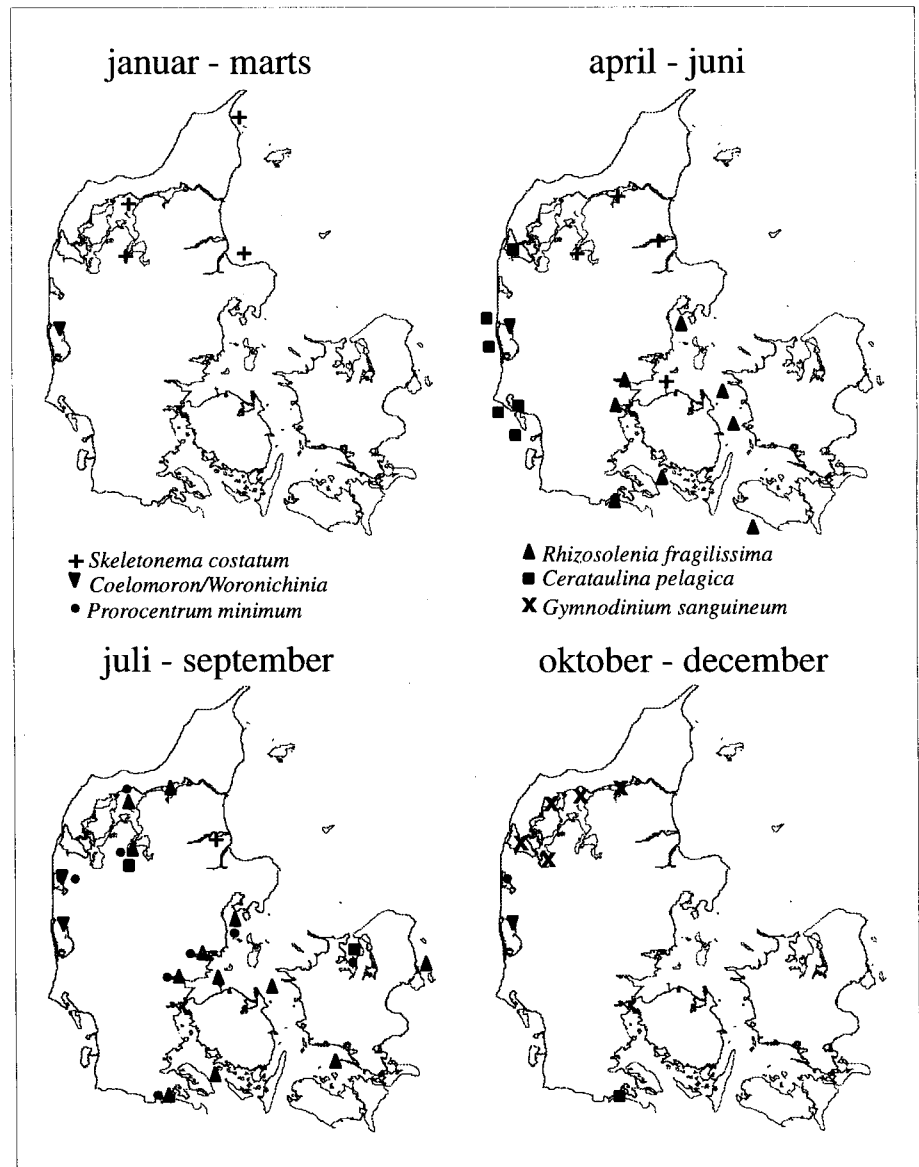
Forår

En opblomstring af kiselalger ses som regel i det tidlige forår. Næringsstoffer frigivet eller udvasket i vintermånederne giver algerne mulighed for opblomstring i de tidlige forårs måneder, når der kommer tilstrækkeligt med lys. Når næringssaltene bliver begrænsende for væksten, afløses kiselalgerne af andre arter, oftest små flagellater. I 1994 var det især kiselalgerne *Skeletonema costatum* og *Thalassiosira* spp., der dominerede i forårs månederne.

Sommer

Efter forårets opblomstringer ses ofte en opblomstring af mindre flagellater. Men sommeren 1994 var karakteriseret ved masseforekomster af kiselalger, især *Rhizosolenia fragilissima*, der registreredes langs den jyske vestkyst, i Kattegat, i Bælthavet, i Smålandsfarvandet og i de østjyske fjorde (figur 5.5). *R. fragilissima* har tidligere dannet masseforekomster, men i mange områder er der ikke tidligere målt så store biomasser som i 1994 (se tabel 5.1). I Storebælt er det første gang nogen sinde, at *R. fragilissima* er observeret som masseforekomst.

I sommerens løb sås lokale opblomstringer af forskellige arter. Hele den jyske vestkyst var præget af kiselalgen *Cerataulina pelagica*, der fandtes i store mængder i juni måned.



Figur 5.5 Stationer med masseopblomstring ($>200 \mu\text{g C l}^{-1}$) af udvalgte arter.

I Skive Fjord gav et iltsvind i juli og august anledning til en voldsom opblomstring af *Cerataulina pelagica* ($4545 \mu\text{g C l}^{-1}$) i august måned, idet store mængder næringsstoffer blev frigivet fra bunden.

Efterår

I efterårsmånederne ses ofte opblomstring af store furealger som følge af afkøling og vindbetinget nedbrydning af springlaget og tilførsel af næringsalte til den fotiske zone. Det er især arter af *Ceratium* og *Gyrodinium*, der danner opblomstringer.

I 1994 udeblev den typiske efterårsopblomstring i mange områder. Faktisk var det kun i Limfjorden (*Gyrodinium sanguineum*) (figur 5.5) og sydlige Kattegat (*Ceratium furca* og *C. Tripos*), opblomstringer kunne ses. Opblomstringen af *G. sanguineum* i Limfjorden var usædvanlig stor (Thisted Bredning havde $3895 \mu\text{g C l}^{-1}$ i november).

Tabel 5.1 Masseforekomster (>200 µg C l⁻¹) observeret i danske farvande. Undersøgte stationer fremgår af figur 5.4. Udvalgte arter er afbildet på figur 5.5.

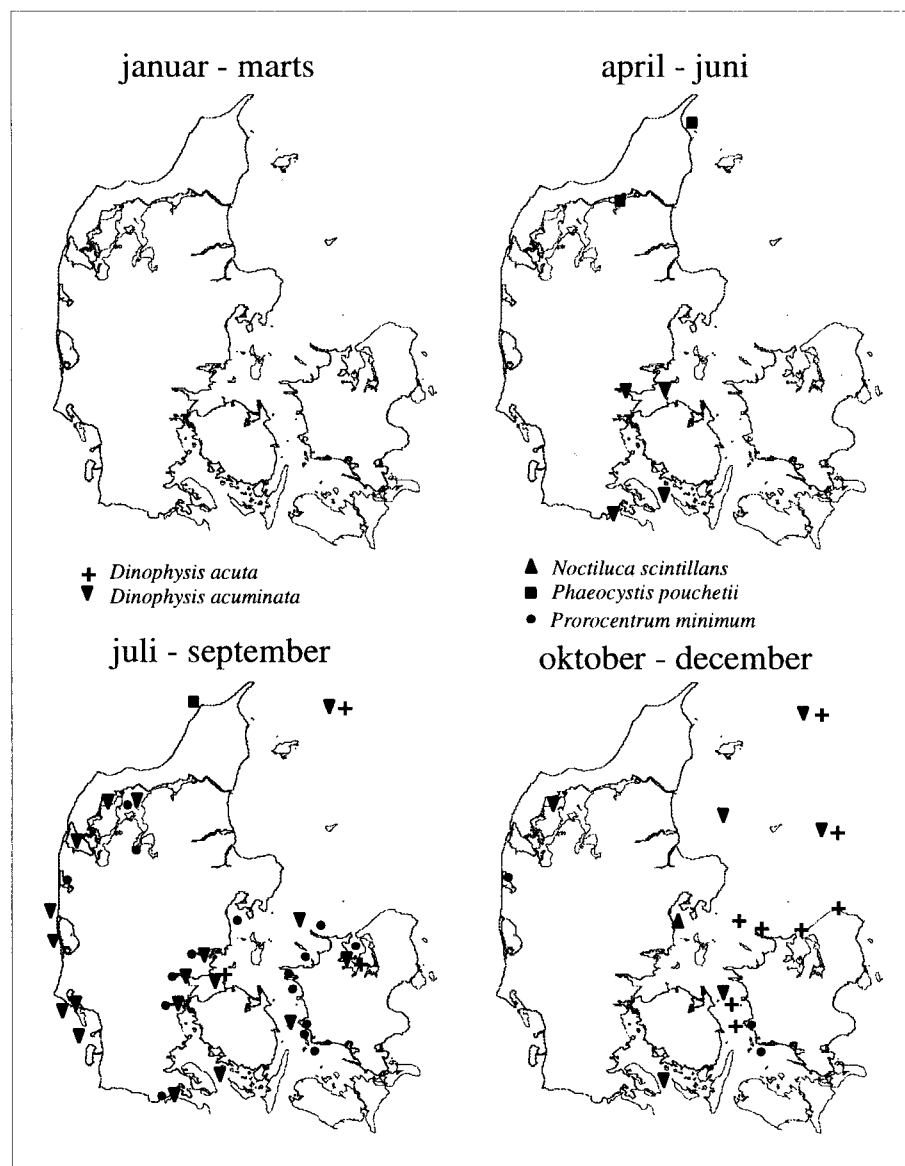
Masseforekomster	Område	Tidspunkt måneder	Masse µg C l ⁻¹
Cyanophyceae - blågrønalger			
<i>Coelomoron/Woronichinia/Gomphosphaeria</i>	Ringkøbing, Nissum Fjord	jan, maj-dec	
Chroococcale blågrønalger	Ringkøbing, Nissum Fjord	maj-sep	220-445
<i>Pseudoanabaena/Limnothrix sp.</i>	Nissum Fjord	aug, sep	300-510
Dinophyceae - furealger			
<i>Ceratium furca</i>	Kattegat S, Nissum Bredning	maj-sep	348-450
<i>Ceratium tripos</i>	Kattegat S	sep	215
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	Limfjorden	okt-dec	227-3895
<i>Gyrodinium aureolum</i>	Skagerrak/ Hirtshals	sep	468
<i>Heterocapsa triquetra</i>	Kolding Fjord	juni	285
<i>Katodinium rotundum</i>	Roskilde Bredning	maj	296
<i>Prorocentrum micans</i>	Thisted og Løgstør Bredning, Vejle Fjord	juli, aug	314-575
<i>Prorocentrum minimum</i>	Nissum, Horsens, Vejle, Flensborg og Limfjorden, Århus Bugt, Isefjord	juli-okt	204-820
Prymnesiophyceae - stilkalger			
<i>Phaeocystis pouchetii</i>	Sønder Ho Ø, Nibe Bredning	maj, juli	240-360
Dictyochophyceae - silicoflagellater			
<i>Dictyocha speculum</i>	Venø Bugt	juli	347
Diatomophyceae - kiselalger			
<i>Cerataulina pelagica</i>	Vestkysten, Nissum Bredning, Skive og Flensborg Fjord, Isefjord	maj, jun, aug, okt	203-4545
<i>Chaetoceros affinis</i>	Flensborg Fjord	sep	483
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Århus Bugt, Vejle Fjord	sep, okt	201-271
<i>Chaetoceros socialis/radians</i>	Skive, Mariager og Kolding Fjord	jun, jul, okt	280-383
<i>Chaetoceros spp.</i>	Vejle Fjord	okt	587
<i>Diatoma tenuis</i>	Nissum Fjord	maj, juni	349-482
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Skagerrak/Hirtshals	aug	223
<i>Pseudonitzschia seriata - gruppen</i>	Thisted Bredning	sep	281
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	Høje Knolde	maj	495
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	Århus Bugt, Lillebælt, Storebælt, Karrebæksminde Bugt, Øresund, Limfjorden, Horsens, Vejle, Kolding og Flensborg Fjord	maj-aug	213-2255
<i>Rhizosolenia spp.</i>	Høje Knolde	maj, juni	295-495
<i>Skeletonema costatum</i>	Kattegat N, Hevring Bugt, Lillebælt, Limfjorden og Mariager Fjord	mar-jun, sep	200-630
<i>Thalassiosira spp.</i>	Ringkøbing Fjord, Skagerrak/Hirtshals	mar, apr	210-804
centriske kiselalger	Mariager og Kolding Fjord	aug	637
Autotrofe ciliater			
<i>Mesodinium rubrum</i>	Venø Bugt	okt, nov	201-1227
Diverse			
Chlorococcale grønalger <5µm	Ringkøbing og Nissum Fjord	apr--nov	200-1200

5.3 Toksiske alger

Toksiske og potentielt toksiske alger er normalt forekommende i alle danske farvande. Mange af arterne er tilstede i store dele af året, men i så små mængder, at de ikke har nogen toksisk effekt.

Generelt

En del af de registrerede potentielt toksiske arter har aldrig været rapporteret toksiske i de danske farvande. De er dog væsentlige at holde øje med, da de andre steder i verden har forårsaget problemer.



Figur 5.6 Større forekomster af udvalgte potentielt toksiske arter på overvågningsstationerne i løbet af vækstsæsonen, afbildet når de optræder i masseforekomst ($>200 \mu\text{g C l}^{-1}$) eller over den for arten fastsatte grænseværdi (antal celler m^{-3}).

Virkning

De arter, hvor man har kendskab til toksiske virkninger, kan deles i to hovedgrupper: De, der udskiller toksiske stoffer (f.eks. indenfor slægterne *Alexandrium*, *Chrysochromulina* og *Dinophysis*), og de, der i kraft af store mængder kan medføre fiskedød, mv. (f.eks. *Noctiluca scintillans*, *Dictyocha speculum* og *Chaetoceros*-arter). For de sidstnævnte arters vedkommende kan de bagvedliggende mekanismer

være meget forskellige. For flere af arterne gælder, at man endnu ikke kender den præcise årsag.

I fytoplankton-temarapporten fra 1993 (Agger et al. 1994) findes en mere detaljeret beskrivelse af de enkelte arters giftvirkninger.

Muslingefiskeri

I forbindelse med muslingefiskeriet registreres forekomsten af arter, der producerer DSP (diarréfremkaldende toksiner) og PSP (paralysefremkaldende toksiner), da disse kan ophobes i muslingerne og overføres til mennesker. I den forbindelse findes en vejledende grænseværdi for antallet af celler ml⁻¹ for en lang række arter.

1994

I 1994 blev de fastsatte grænseværdier mange steder overskredet, især af *Dinophysis acuminata*. Muslingefiskeriet blev i perioder lukket i Limfjorden, Vejle og Horsens Fjorde og det nordlige Lillebælt (se figur 5.6). I Vejle Fjord og området vest for Endelave blev der i august registreret DSP-toksiner.

I november blev der observeret en usædvanlig opblomstring af *Noctiluca scintillans* i Juelsminde Havn. Dette gav misfarvning af vandet, men ingen registrerede toksiske effekter. *N. scintillans* findes normalt ikke i dette farvand, men er sandsynligvis transporteret med bundvand fra Nordsøen ind i Kattegat.

Herudover var de observerede forekomster i 1994 stort set på niveau med tidligere år (se tabel 5.2).

Tabel 5.2 Potentielt toksiske alger observeret i danske farvande 1994. Undersøgte lokaliteter fremgår af figur 5.4.

Potentielt toksiske alger	Sted
Cyanophyceae - blågrønalger	
<i>Anabaena flos-aquae</i>	Kolding Fjord
<i>Anabaena spp.</i>	Dokkedal, Jammerland Bugt, Kattegat S, Bælthavet, Køge Bugt og Karrebæksminde Bugt, Nissum, Horsens og Vejle Fjord, Kalundborg og Skælskør Fjord, Isefjord, Smålandsfarvandet, Fehmern Bælt, Arkona
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Lillebælt, Storebælt, Øresund, Køge Bugt og Karrebæksminde Bugt, Skive, Horsens og Vejle Fjord, Kalundborg Fjord, Smålandsfarvandet, Sejerø Bugt, Jammerland Bugt, Isefjord
<i>Gomphosphaeria sp.</i>	Køge Bugt
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Nissum Fjord
<i>Microcystis viridis</i>	Vejle Fjord
<i>Microcystis wesenbergii</i>	Ringkøbing Fjord
<i>Nodularia spumigena</i>	Jammerland Bugt, Kattegat, Bælthavet, Køge Bugt og Karrebæksminde Bugt, Ringkøbing, Nissum, Horsens, Vejle og Flensborg Fjord, Isefjord, Kalundborg Fjord, Smålandsfarvandet, Fehmern Bælt og Arkona
<i>Nodularia spp.</i>	Dokkedal (Kattegat N)
<i>Oscillatoria spp.</i>	Horsens Fjord
<i>Planktotrix agardii</i>	Lillebælt S, Øresund N og Nissum Fjord
<i>Woronichinia compacta</i>	Ringkøbing og Nissum Fjord
Prymnesiophyceae - stilkalger	
<i>Chrysochromulina spp.</i>	Sønder Ho Ø, Kattegat, Bælthavet, Karrebæksminde Bugt, Ringkøbing, Nissum og Flensborg Fjord, Thisted Bredning, Isefjord
<i>Phaeocystis pouchetii</i>	Vesterhavet S, Skagerrak/Hirtshals, Dokkedal og Hevring Bugt, Nibe Bredning, Anholt Ø, Halskov Rev
<i>Phaeocystis spp.</i>	Årgab, Hovvig

Potentielt toksiske alger	Sted
Dictyochophyceae - silicoflagellater	
<i>Dictyocha speculum</i>	Skagerrak/Hirtshals, Jammerland Bugt, Kattegat, Bælthavet, Køge Bugt og Karrebæksminde Bugt, Limfjorden, Kalundborg Fjord, Isefjord, Fehmern Bælt og Arkona
Dinophyceae - furealger	
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Årgab, Lillebælt S, Limfjorden og Mariager Fjord
<i>Alexandrium tamarense</i>	Hovvig, Hevring Bugt og Lillebælt N, Limfjorden, Vejle og Kolding Fjord
<i>Dinophysis acuminata</i>	Alle farvande dog ikke Mariager Fjord, Smålandsfarvandet, Skælskør, Korsør Nor
<i>Dinophysis acuta</i>	Skagerrak/Hirtshals, Jammerland Bugt, Kattegat, Bælthavet og Karrebæksminde Bugt, Limfjorden, Horsens, Vejle og Kolding Fjord, Isefjord, Fehmern Bælt
<i>Dinophysis norvegica</i>	Skagerrak/Hirtshals, Jammerland Bugt, Kattegat, Bælthavet og Karrebæksminde Bugt, Limfjorden, Nissum, Mariager, Horsens, Vejle, Kolding og Flensborg Fjord, Kalundborg Fjord, Isefjord, Fehmern Bælt
<i>Dinophysis rotundata</i>	Jammerland Bugt, Årgab, Hovvig, Kattegat (dog ikke N), Bælthavet og Horsens Fjord, Kalundborg Fjord, Isefjord, Karrebæksminde Bugt, Fehmern Bælt
<i>Dinophysis spp.</i>	Køge Bugt
<i>Gyrodinium aureolum</i>	Vesterhavet, Kattegat, Øresund, Nissum Bredning
<i>Gyrodinium galatheanum</i>	Vesterhavet S
<i>Noctiluca scintillans</i>	Vesterhavet, Kattegat, Bælthavet og Karrebæksminde Bugt, Limfjorden, Nissum, Mariager og Vejle Fjord, Fehmern Bælt
<i>Prorocentrum balticum</i>	Årgab, Hovvig, Halsskov Rev
<i>Prorocentrum micans</i>	alle farvande dog ikke Dokkedal, Køge Bugt og Mariager Fjord
<i>Prorocentrum minimum</i>	Alle farvande dog ikke Vesterhavet S
<i>Prorocentrum lima</i>	Korsør Nor
Diatomophyceae - kiselalger	
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i> - gruppen	Alle farvande dog ikke Vesterhavet S og Mariager Fjord, Skælskør Fjord
<i>Pseudonitzschia seriata</i> - gruppen	Alle farvande dog ikke Vesterhavet S
<i>Pseudonitzschia pseudodelicatissima</i>	Århus Bugt

5.4 Konklusion

Den store ferskvandsafstrømning og næringsstofftilførsel i 1994 medførte en større udbredelse og længere varighed af masseforekomster end tidligere år. Specielt blev opblomstringen af *Rhizosolenia fragilissima* registreret langt hen på sommeren. I modsætning til tidligere år blev efterårsopblomstringer af furealger i 1994 kun observeret på få stationer (i Limfjorden og det sydlige Kattegat). Forekomsten og udbredelsen af toksiske arter var ikke væsentlig forskellig fra de foregående år. Der er ikke påvist nogen generel udvikling i sigtddybde, klorofylkoncentration og primærproduktion siden slutningen af 1980'erne.

6 Iltforhold

6.1 Indledning

Havvandets iltindhold ved bunden har stor indflydelse på livsbetingelserne for bundfaunaen. Iltsvind begrænser dyrenes vækst, og kraftigt iltsvind dræber de dyr, der ikke kan flygte op i vand søjlen. Vandmiljøplanens reduktion af næringssalte bør, via en reduktion af algeproduktionen, føre til forbedrede iltforhold for bunddyrene.

Under Vandmiljøplanens overvågningsprogram måles iltkoncentrationen i forskellige dybder på næsten 200 stationer mindst én gang om måneden. Svenske, norske og tyske overvågningsdata er inddraget, hvor det er relevant. På baggrund af resultaterne undersøges det, om der er en udvikling i iltkoncentrationerne over årene (specielt om der er stigende koncentrationer som følge af Vandmiljøplanen), og hvordan udbredelsen af iltsvind er. Resultaterne er desuden baggrundsviden for vurderinger af udviklingen af bundvegetation og bundfauna.

Definition

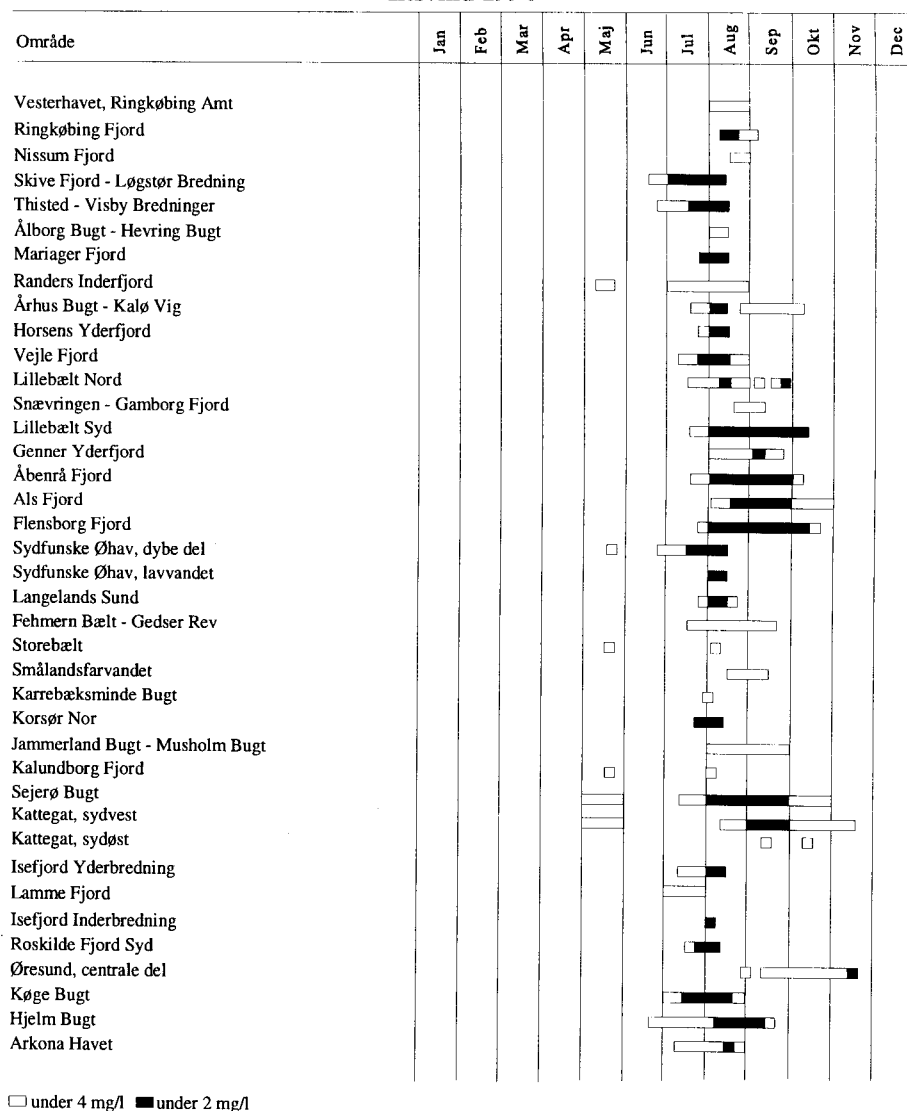
Iltsvind defineres som forekomst af iltkoncentrationer under 4 mg/l, og kraftigt iltsvind forekommer, når koncentrationen når under 2 mg/l. Grænserne er arbitrære, da iltens tilgængelighed for faunaen ikke kun afhænger af koncentrationen, men af mætningsprocenten, der også er afhængig af saltholdighed og især af temperatur. Desuden er der stor forskel på forskellige fisks og bunddyrs tolerance over for lavt iltindhold. Ved normalt forekommende temperaturer og saliniteter ved bunden i danske farvande anvendes som tommefingerregel, at ved iltindhold under 4 mg/l begynder nogle fisk at søge væk, og ved iltindhold under 2 mg/l vil de fleste fisk søge væk. Forbliver iltindholdet under 2 mg/l i længere tid vil bunddyrene begynde at dø. Generelt antages krebsdyr at være mest følsomme og muslinger mindst følsomme overfor lavt iltindhold. Ved total iltmangel kan der frigives svovlbrinte til vandet. Svovlbrinte virker som en nervegift og vil hurtigt dræbe de fleste bunddyr, kun muslinger, der som f.eks. molboøsters kan lukke deres skaller helt tæt, kan overleve i længere tid.

6.2 Iltsvind i 1994

Udbredelse

Figurerne 6.1 og 6.2 viser, hvor der blev konstateret iltsvind i 1994. I kystvandene var iltsvindet i 1994 det alvorligste siden overvågningsprogrammets start i 1989, mens det i de åbne farvande ikke nåede at udvikle sig i samme grad. Der mangler dog målinger fra den åbne del af Nordsøen.

Iltsvind 1994



Figur 6.1 Oversigt over perioder med iltsvind i forskellige områder af de danske farvande i 1994. De dybe huller med +/- permanent iltsvind i Mariager Fjord og sydlige Roskilde Fjord er ikke medtaget.

Vesterhavet

I Vesterhavet var der i august iltsvind i et 10 km bredt bælte langs kysten fra syd for Hvide Sande til Torsminde, og der blev indberettet om døde fisk i garn og på stranden. Siden iltsvindet i slutningen af august 1982 er der ikke registreret iltsvind så tæt på Vestkysten.

Nissum Fjord

I Nissum Fjord optrådte iltsvind for første gang ved en enkelt måling i Mellemfjorden i august.

Limfjorden

I Limfjorden ramtes ca. 30% af arealet af iltsvind med under 4 mg/l, og ca. 25% af alvorligt iltsvind med under 2 mg/l. I store områder var der iltfrit ved bunden med frigivelse af svovlbrinte fra sedimentet i op til fire uger. Iltsvindet er det alvorligste siden 1988 og dækkede de samme områder, men i området mellem Thy og Mors var iltsvindet i 1994 af længere varighed, og effekter på bundfauna og fisk var mere alvorlige. Iltsvindet førte desuden til frigivelse af store mængder næringssalte (se kapitel 4).

- Mariager Fjord* I Mariager Fjord var iltsvindet i 1994 markant større end i de foregående år. Fra slutningen af juli til midten af august var der under 4 mg/l på dybder over 5 m, og under 2 mg/l på dybder over 8 m mod normalt 13 m, og der rapporteredes om døde fisk i garn.
- Randers Fjord* I Randers Inderfjord optrådte usædvanlige iltsvind i maj og juli-august.
- Horsens, Vejle og Kolding Fjorde* Iltforholdene i Horsens Fjord var i 1994 de værste i mange år, men begrænset til de dybe dele af fjorden, der i alt udgør ca. 6% af arealet. I Vejle Fjord er iltsvind siden 1990 blevet hyppigere, mere langvarige og med større udbredelse. Den 8. august var ca. 80% af fjordens vandvolumen påvirket af alvorligt iltsvind med under 2 mg/l fra 1,3 meters dybde inderst i fjorden og 6,5 meters dybde i yderfjorden. Mens muslinger og søstjerner syntes at overleve, dræbte iltsvindet mange krabber, og upwelling af iltfattigt bundvand den 13.-14. august medførte, at op mod 3 t fisk døde i et havbrug. Inderst i Horsens, Vejle og Kolding fjorde sås i begyndelsen af 1970'erne ofte bundvendinger på lavt vand som konsekvens af høje lokale belastninger med urensset spildevand. Sådanne bundvendinger er ikke observeret de sidste mange år. I Kolding Fjord observeredes ikke iltsvind i 1994.
- Lillebælt* I 1994 blev der for første gang registreret udbredt iltsvind med under 4 mg/l fra det nordlige Lillebælt og helt ned gennem Snævreringen til Gamborg Fjord. Også store områder nord for Fyn havde lave iltkoncentrationer. I det sydlige Lillebælt var der i slutningen af august overalt kraftigt iltsvind på dybder over ca. 19 m. Iltsvindet strakte sig fra Assens ned i Kiel Bugt og ind i Lyø Krog, Åbenrå Fjord, Als Fjord og Flensborg Fjord.
- Flensborg Fjord* I Flensborg Fjord var iltsvindet i 1994 det kraftigste registreret siden overvågningen blev påbegyndt. I Inderfjorden var sedimentet sort på dybder over 7 m, og svovlbakterier svævede i vandet op til ½ m over bunden. Der blev registreret effekter på bundfaunaen fra 3 meters dybde og nedefter.
- Nørrefjord* I Nørrefjord var der i begyndelsen af august iltsvind med frigivelse af svovlbrinte til vandet og død af bunddyr på dybder over 6 m.
- Sydfynske Øhav* Ligeledes blev der i Det Sydfynske Øhav registreret et usædvanligt kraftigt iltsvind, der udover de dybe bassiner også ramte de lavvandede områder helt op til 3 meters dybde, hvilket ikke tidligere er registreret i hele overvågningsperioden 1976-1994. Der var iltsvind med svovlbrintefrigivelse i Lunkebugten, i området syd for Tåsinge og i området mellem Tåsinge og Langeland. I de store lavvandede områder sydøst for Strynø og i Lindelse Nor blev der ligeledes registreret iltsvind med hvide belægninger af svovlbakterier på ca. 5 meters dybde. Foruden bunddyrene gik det også ud over ålegræsset i mange områder.

Isefjord

I store områder af Isefjordsystemet blev der målt iltkoncentrationer omkring nul, og der blev observeret hvide svovlbakterier i stor mængde. Fisk og store bestande af blåmuslinger døde.

Roskilde Fjord

I den sydlige del af Roskilde Fjord blev der i 1994 for første gang registreret omfattende iltsvind på lavt vand med iltindhold på 0-0,4 mg/l i hele fjorden syd for Eskildsø. Der blev registreret fiskedød og effekter på bundfaunaen.

Hevring Bugt

I Hevring Bugt blev der registreret et mindre iltsvind i august, hvorimod Århus Bugt og Kalø Vig var mere påvirket over en længere periode

Åbne farvande

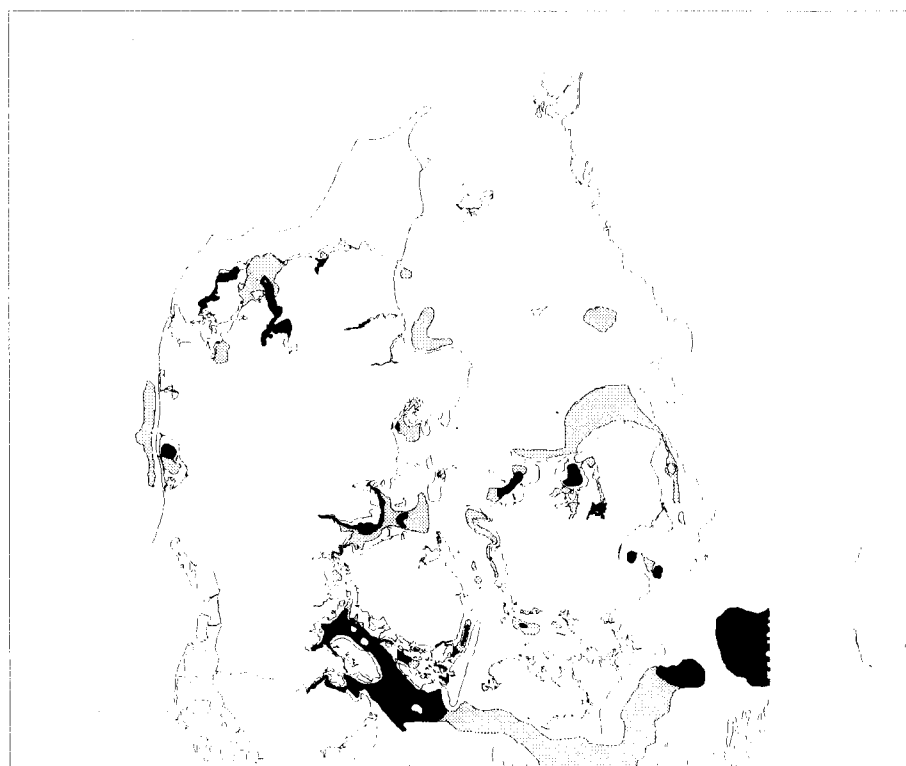
I de åbne farvande opstod iltsvind i de dybe dele af Fehmern Bælt og Arkona Havet i juli og det udviklede sig til et kraftigt iltsvind i Arkona Havet i august.

Kattegat og Sundet

I det sydlige Kattegat og Øresund var der iltsvind i september-oktober, og i Øresund helt til slutningen af november, men ilttilførslen holdt trit med forbruget, så det ikke udviklede sig til kraftigt iltsvind.

Afslutning på iltsvindet

Kraftig vind i midten af august afbrød iltsvindet i de lavvandede farvande. I de dybere lagdelte kystvande som Århus Bugt og især det sydlige Lillebælt med tilstødende fjorde fortsatte iltsvindet gennem september og ind i oktober, trods relativt urolige vejrforhold. Iltsvindet i Fehmern Bælt og Arkona Havet ophørte i løbet af september.



Figur 6.2 Omtrentlig udbredelse af iltsvind i 1994.
Grå = <4 mg ilt/l. Sort = <2mg ilt/l.

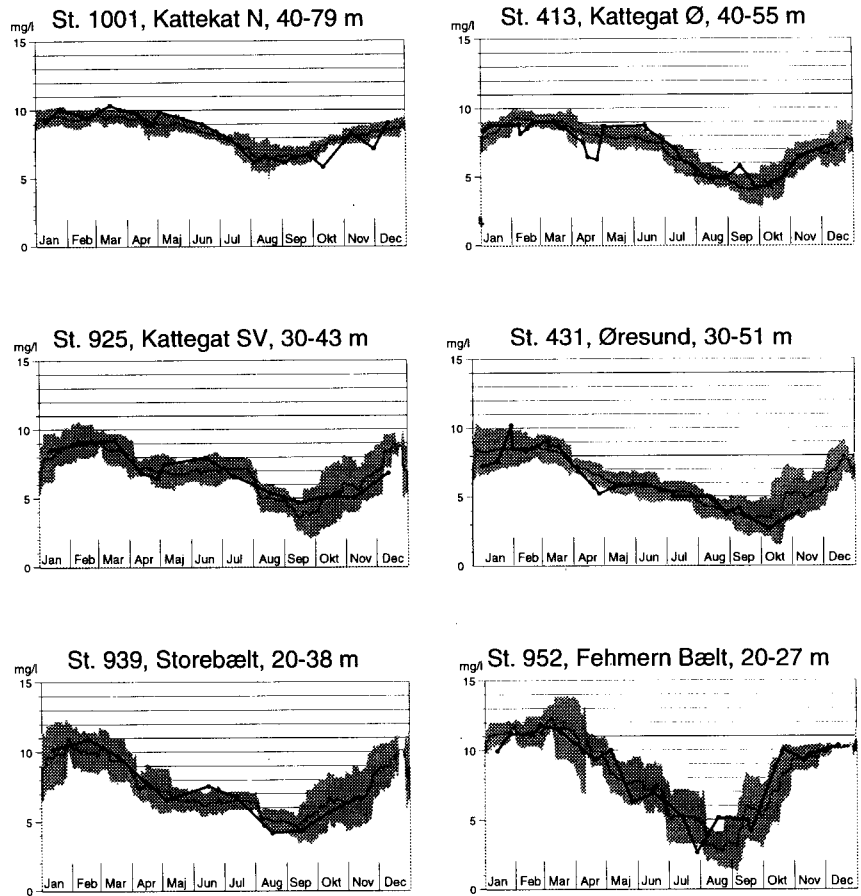
6.3 Udviklingen

Åbne indre farvande

For nogle stationer i de åbne havområder findes iltmålinger for næsten hvert år i perioden 1975-1994, men der er nogen variation med hensyn til dels datoerne for prøvetagningerne og dels, hvor langt over bunden den dybeste måling er foretaget, så det er fordelagtigt at foretage nogle korrektioner forud for en statistisk analyse af udviklingen over perioden.

Da der ofte er en stærkt faldende iltkoncentration inden for de nederste par meter af vandsøjlen, kan den målte koncentration i den nederste dybde variere en hel del fra gang til gang, bare fordi der har været varierende afstand til bunden. Betydningen af denne variation kan reduceres ved, at man regner med et (vægtet) gennemsnit for flere prøver, nemlig for 2-flere prøver fra en bestemt (fastlagt) dybde og ned. Den beregnede værdi repræsenterer iltkoncentrationen i vandet under skillefladen, som vi her kalder "bundvandet".

Desuden er sandsynligheden for at måle en lav værdi større, når man har mange observationer, end når man har få, og den er større omkring september end i resten af året. Figur 6.3 viser den typiske årscyklus i bundvandets iltkoncentration. Da antallet af togter har været stærkt svingende i 1970'erne og starten af 1980'erne, kan man derfor ikke basere en statistisk analyse på den mindste værdi fra hvert år. I stedet bruges en tidsvægtet middelværdi af afvigelse fra normalforløbet, som det fremgår af figur 6.3.

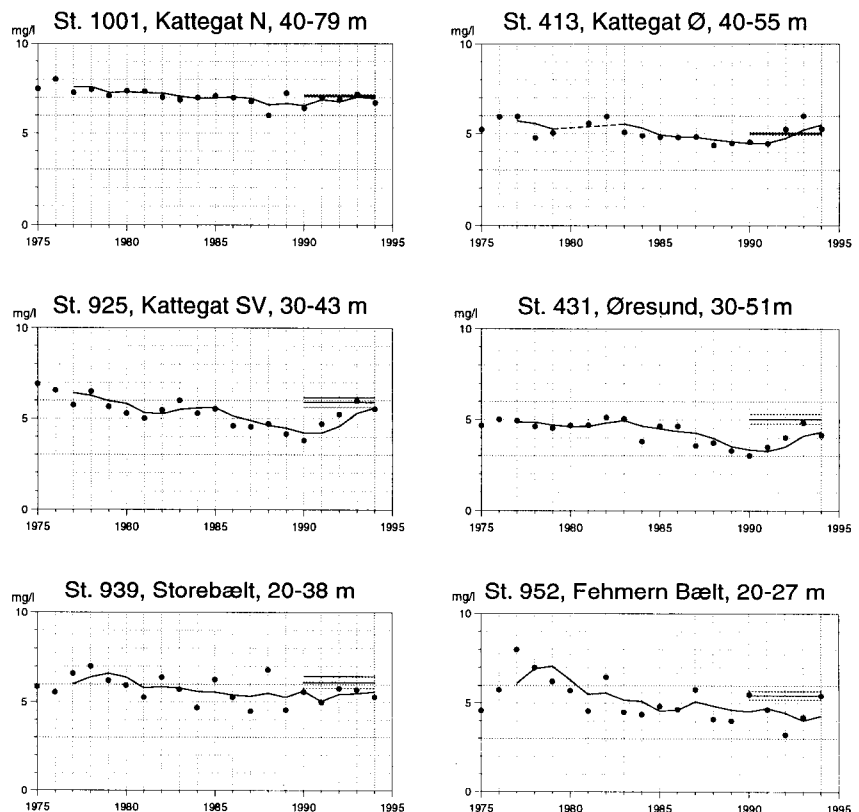


Figur 6.3 Årscyklus: Bundvandets iltkoncentration i 1994 (tyk sort kurve med cirkler ved måleværdierne) og gennemsnit (tyndere kurve) \pm 1 standardafvigelse for 1975-90 (grå zone). Stationernes beliggenhed fremgår af figur 4.5.

Bundvandets middelkoncentration i juli-oktober har ændret sig over årene, som vist i figur 6.4. På station 413 øst for Anholt har gennemsnittet for 1992-1994 været signifikant højere end gennemsnittet for 1983-1987, der bruges som mål for niveauet, da Vandmiljøplanen blev vedtaget (tabel 6.1), men på de øvrige fem stationer i denne analyse er der ikke sket nogen forbedring. Det høje gennemsnit for de seneste tre år på station 413 skyldes blandt andet en meget høj værdi for 1993, der var usædvanligt derved, at der målt høje iltkoncentrationer i begyndelsen af oktober (Agger et al., 1994) som følge af indstrømning af iltigt bundvand fra Skagerrak; men alle tre sommermiddelværdier for 1992-1994 er højere end den højeste sommermiddelværdi i perioden 1983-1991 (jf. figur 6.4).

Tabel 6.1 Test for stigning i juli-oktober-middelkoncentrationen af ilt i bundvandet i forhold til middel for referenceperioden 1983-87. N angiver antal år med målinger i referenceperioden. s.e. står for standard error. P_{1994} angiver sandsynligheden for et enkelt år af tilfældige årsager at få en værdi ligeså høj som den, der blev registreret for 1993, hvis niveauet er uændret siden 1983-87. $P_{1992-94}$ angiver sandsynligheden for at få et gennemsnit for tre år, som er ligeså højt som det, der er registreret for 1992-94, hvis niveauet er uændret siden 1983-87.

Station		N	1983-87	1994		1992-94	
			middel±s.e.	$\mu\text{g O}_2/\text{l}$	P_{1994}	middel	$P_{1992-94}$
1001	Kattegat N	5	6,94±0,06	6,71	0,92	6,93	0,54
413	Kattegat Ø	5	4,88±0,06	5,27	0,022	5,51	0,001
925	Kattegat SV	5	5,20±0,28	5,54	0,32	5,59	0,22
431	Øresund	5	4,34±0,28	4,16	0,60	4,34	0,50
939	Storebælt	5	5,28±0,33	5,28	0,50	5,58	0,30
952	Fehmern Bælt	5	4,81±0,25	5,42	0,19	4,29	0,87



Figur 6.4 Udviklingen i bundvandets iltkoncentration i juli-oktober. Punkterne viser tidsvægtede middelværdier af afvigelse fra gennemsnitsårsacyklus på figur 6.3. Kurven viser det løbende gennemsnit af tre års midler, sådan at kurven f.eks. for 1994 viser gennemsnittet af værdierne for 1992, 1993 og 1994. Kurven er stiplede, der hvor det løbende gennemsnit ikke er beregnet på grund af manglende observationer et år. De tre vandrette streger ved 1990-94 viser grænserne svarende til P-værdierne 0,20 (nederst), 0,10 og 0,05 (øverst) for den statistiske test for stigende værdier siden 1983-87 (jf. tabel 6.1).

Kystnære områder

Det er generelt meget svært statistisk at påvise en udviklingen i iltforholdene i de mere kystnære vandområder, hvor lagdelingen er mindre stabil eller ofte mangler på grund af lavere vanddybde. Iltindholdet ved bunden vil som følge af hydrografiske og meteorologiske betingelser variere mere dér end i dybere farvande med mere permanent lagdeling. Med de traditionelle statistiske metoder giver dette stor ukontrolleret variation, som altså ikke er betinget af eutrofieringsårsager alene. I de kommende år vil metodikken blive udviklet til at justere for en del af den meteorologiske/hydrografiske variation (datagrundlaget er ved at være til stede), men indtil da vil vurderinger være mere subjektive, erfaringsbaserede.

Iltforholdene i kystvandene var i 1994 de dårligste siden starten af overvågningsprogrammet i 1989. Tendensen til forbedrede forhold i nogle kystvande gennem begyndelsen af 1990'erne er altså ikke fortsat. Den væsentligste forskel mellem 1994 og perioden 1989-93 er en væsentligt større belastningen med kvælstofnæringsalte i 1994 og deraf følgende forøget fytoplanktonproduktion, der ved udsynkning har bidraget til et stort iltforbrug på havbunden. Desuden var sommeren i juli og begyndelsen af august ekstremt varm og vindstille med ringe omrøring og transport af ilt til bunden.

I lagdelte kystområder som det nordlige og sydlige Lillebælt, det Sydfynske Øhav og Storebælt er der påvist et generelt fald i iltindholdet i bundvandet i juli-oktober i perioden 1976-94, og i det sydlige Lillebælt og Det Sydfynske Øhav desuden i april-juni (Fyn, 1995).

6.4 Konklusion

I kystfarvandene var iltforholdene i 1994 de ringeste set siden starten af overvågningsprogrammet i 1989. De ringe iltforhold i kystvandene i 1994 skyldes en kombination af en meget stor næringsafstrømning om vinteren og foråret, en forøget planteplanktonproduktion og en meget varm og vindstille sommer.

I de åbne farvande var iltforholdene i 1994 relativt gode, bl.a. fordi urolige vejrforhold allerede fra midten af august forhindrede udvikling af kraftigt iltsvind.

Øst for Anholt har sommermiddelværdierne (juli-oktober) for bundvandets iltindhold i de seneste tre år været de højeste i perioden 1983-94. Dette skyldes bl.a. tidligere indstrømning af iltrigt bundvand fra Skagerrak end sædvanligt. I øvrigt er der ingen tendenser til forbedrede iltforhold i de danske farvande.

7 Bundfauna

7.1 Indledning

Bundfaunaens sammensætning og mængde er en ofte anvendt monitoringsparameter til belysning af miljøtilstanden i marine områder. Bundfaunaens generationstid og ofte stationære levevis betyder, at den som monitoringsparameter kan tænkes at belyse tilstanden i et givet område gennem længere tid forud for prøvetagningen. Bundfaunaen er således i lighed med bundvegetationen en integrerende parameter.

Den retrospektive karakter af bundfauna som monitoringsparameter er væsentlig at have for øje, når ændringer i bundfaunaens sammensætning og mængde forsøges relateret til de pelagiske forhold såsom fytoplanktonets forårsopblomstring og iltforhold. Det er således antydnet, at der er en tidsforsinkelse på 1-2 år mellem en øget fytoplanktonmængde og bundfaunaens respons i form af øget indvidtæthed og biomasse (Buchanan 1993; Josefson et al. 1993). Prøvetagningstidspunktet er afgørende for størrelsen af denne tidsforsinkelse. Oftest indsamles bundfaunaoprøverne om foråret, hvilket betyder, at effekten af samme års forårsopblomstring af fytoplankton normalt ikke kan registreres samme år, ligesom samme års iltsvind normalt ikke kan forventes at få nogen indflydelse, eftersom disse oftest indtræder senere på året.

En summarisk status for eventuelle langsigtede udviklingstendenser i bundfaunaen i de enkelte farvandsområder vil blive præsenteret fulgt af en vurdering af de seneste års specielle hændelser og eventuelle afvigelser i forhold til den hidtidige udvikling i områdets fauna. De foreliggende data fra de enkelte farvandsområder er af meget varierende omfang i tid og rum, hvilket medfører, at det i nogle områder er meget vanskeligt at vurdere en eventuel udviklingstendens. En omfattende analyse af bundfaunadata fra de danske fjorde vil blive foretaget i forbindelse med temarapporteringen i 1996.

7.2 Status for de kystnære områder

Vadehavet

Et godt datamateriale findes fra dette område i form af tidsserier fra transektter i Ho Bugt og omkring Rømø. I begge områder er der en tendens til en stigning i biomassen i løbet af 1980'erne. En lignende stigning i biomassen er registreret i det Hollandske Vadehav (Beukema 1991) og er blevet relateret til en øget eutrofiering af området. Siden slutningen af 1980'erne er denne udvikling tilsyneladende vendt til en tilbagegang i biomassen, som især er markant i Ho Bugt. Denne tilbagegang kan ikke relateres til en mindsket belastning, idet en sådan ikke har fundet sted. Faldet i indvidtæthed og biomasse kan formentlig hænge sammen med fraværet af isvintre siden vinteren 1986/87, idet reproduktionens størrelse hos flere

muslingearter er afhængig af temperaturen igennem vinterperioden. En relativ høj vintertemperatur fører formentlig til et øget stofskifte og medfører dermed, at der ikke er så meget energi til overs til produktion af kønsprodukter (Beukema 1991). Forholdsvis lave temperaturer i slutningen af vinteren 1993/94 kan således være forklaringen på rekrutteringen af muslinger i efteråret 1994.

Omfanget af fænomenet "black spots" (løstliggende måtter af makroalger) synes at være af mindre betydning i 1994 i forhold til 1993, hvilket kan skyldes afsvidning af algerne i den solrige sommer 1994. Disse alger, som kan skabe iltfrie forhold i bunden nedeunder måtterne, synes at være mere stationære end hidtil antaget og dækkede ifølge et konservativt estimat et areal på 260.000 m² af det danske Vadehav.

Det bør bemærkes, at der i 1994 for første gang i perioden 1989-94 er blevet registreret iltkoncentrationer, som nærmer sig 4 mg ilt/l (4,5).

De kystnære dele af Skagerrak

Tidsserier af bundfauna-data findes fra 1986 på 2 transektter fra henholdsvis Blokhus og Skiveren. Iltsvind forekommer ikke i disse områder, og de observerede udsving i artsantal, individtæthed og biomasse må henføres til variationer i de fysiske forhold. Ekstremt høje biomasse-tal på stationer på 6 og 10 m vand ved Skiveren er primært forårsaget af en masseforekomst af den filtrerende musling *Spisula subtruncata*.

Limfjorden

Lange tidsserier med prøvetagning forår og vinter findes fra 19 stationer siden 1978, og et godt historisk materiale eksisterer i form af undersøgelser foretaget af Den Danske Biologiske Station i første halvdel af dette århundrede.

Det historiske materiale har dokumenteret store udsving i artsantal og individtæthed (Varming 1987; Hylleberg 1992), hvilket understreger, at faktorer, som ikke kan relateres til eutrofiering, skal tages i betragtning. Det er bemærkelsesværdigt, at disse udsving i individtæthed er af længere varighed. Der var således i Nissum Bredning flere år i træk med en høj tæthed af muslingen *Corbula gibba* (flere tusinde pr. m²) hvorefter der i en flerårig periode var lave tætheder (få hundrede) af samme art (Hylleberg 1992).

Disse perioder med alternerede høj og lav tæthed kan tilsyneladende genfindes igennem de seneste årtier. I Nissum Bredning er der således en lav tæthed af *Corbula gibba* i en periode fra efteråret 1978 til sommeren 1986, fulgt af en periode med høj tæthed indtil sommeren 1992. Disse udsving synes ikke at kunne relateres til forskelle i belastningen, ligesom iltniveauet på intet tidspunkt har været begrænsende for denne musling, som er kendt for at kunne klare hypoxiske forhold i flere måneder.

Sammenlignes udviklingen i antallet af arter og individer samt biomassen på de enkelte stationer i Limfjorden, findes ingen fælles udviklingstendenser bortset fra, at man på et flertal af stationerne kan observere et højere niveau i individantal og biomasse i perio-

Nissum og Ringkøbing Fjorde

Serier af bundfauna-data findes fra Nissum Fjord siden 1989 og data fra Ringkøbing Fjord tilbage fra 1987. Som forventet er der relativt store udsving i individtæthed og biomasse på disse lavvandede lokaliteter, hvor de fysiske forhold har større betydning end på dybere vand. Faunaen er præget af eutrofieringstolerante brakvandsarter. Endvidere har indvandring af en ny børsteormeart *Marenzelleria viridis* fundet sted. Saltvandsarternes andel af faunaen synes at være øget siden indførelsen af en ny slusepraksis i 1987.

Iltsvind er observeret i Ringkøbing Fjord, men på grund af den lave vanddybde og vindekspønering er disse normalt af kortere varighed. Et længerevarende iltsvind er dog observeret i Ringkøbing Fjord i sommeren 1995. Det er i den forbindelse interessant, at kontinuerte målinger i Ringkøbing Fjord har vist, at iltsvind kan optræde få timer efter, at saltvand er trængt ind i fjorden.

Der er ikke observeret markante ændringer i bundfaunaens sammensætning i 1994, men det bør bemærkes, at der i 1994 for første gang i undersøgelsesperioden er observeret et mindre iltsvind i Nissum Fjord.

Kystnære dele af Kattegat

Tidsserier fra 1981 findes fra området ud for Fornæs, fra 1984 fra transsektorer ved Jerup og Dokkedal og fra 1989 fra Hevring Bugt og farvandet langs Nordsjællands kyst.

Iltsvind er tilsyneladende ikke forekommet på transsektorerne i det nordlige Kattegat, og længerevarende iltsvind optræder sjældent på de øvrige lokaliteter i de kystnære dele af Kattegat.

Masseforekomster af børsteormen *Polydora caeca* er observeret i det nordlige Kattegat og ved Hevring Bugt i årene 1987 og 1993. Variationer i prøvetagningstidspunktet kan være en del af forklaringen på disse masseforekomster i enkelte år, idet man i Nordjylland har fundet høje tætheder af arten i de år, hvor prøverne er taget i maj måned i stedet for som normalt i april måned.

Variationen i artsantal, individtæthed og biomasse i de kystnære dele af Kattegat igennem undersøgelsesperioden synes ikke at kunne relateres hverken positivt eller negativt til eutrofieringsforhold, men må tilskrives naturlige variationer i de fysiske og biologiske forhold.

Ingen markante hændelser synes at være indtruffet i 1994. Dog skal det bemærkes, at en dykkerundersøgelse i Hevring Bugt i juni 1994 afslørede iltfrie forhold på bunden i 2-6 meters dybde.

Randers Fjord

Faunaens tilstand i Randers Fjord er reduceret i forhold til tilstanden i starten af dette århundrede, idet arter, som er karakteristiske i ubelastede områder, er gået tilbage, mens arter, som er knyttet til belastede områder, er gået frem. Antallet af arter er dog øget i dele af fjorden siden 1974, sandsynligvis som følge af en reduceret udlodning af spildevand fra Randers by.

Der er ikke foretaget undersøgelser af bundfaunaen i Randers Fjord i 1994. En bemærkelsesværdig lang periode med iltsvind indtrådte i juli-august 1994.

Århus Bugt og Kalø Vig

Årlige bundfaunadata findes fra 1981 i dette område. Serierne udviser ingen klar tidslig udvikling i individtæthed og biomasse. Høje individtætheder er observeret i enkelte år og kan i flere tilfælde forklares som rekolonisering efter kraftige iltsvind. Under det hidtil kraftigste iltsvind i 1981 forsvandt faunaen stort set totalt på dybder større end 12 m. Reetableringen af faunaen fandt sted efter 4 års forløb (Fallesen 1992), men faunaen var da præget af en anden artsammensætning, hvilket tilskrives de tilbagevendende episoder med dårlige iltforhold i 1980erne.

En kraftig reduktion i tilførslen af organisk stof fra den lokale punktkilde i 1990 resulterede i væsentlige forbedringer i iltforholdene, hvilket igen medførte, at en arts- og individrig fauna kunne etablere sig i nærområdet. Generelt synes iltforholdene i Århus Bugt og Kalø Vig at være forbedret i 1990-1993 i forhold til forholdene i 1980erne. De forbedrede iltforhold har resulteret i, at arter, som er følsomme over for lave iltkoncentrationer, er tiltaget i hyppighed og udbredelse. Omkring den lokale punktkilde har en stabil og talrig population af muslingen *Abra alba* etableret sig. En permanent fauna er dog ikke etableret i et område 1-2 km syd for denne punktkilde.

En længerevarende periode med iltsvind indtrådte i sensommeren 1994 og medførte, at vise arter af bunddyr døde i den vestlige del af bugten. Bundfaunaen i den vestlige del af bugten tæt ved kysten og syd for bugtrøret synes stadig at være påvirket af iltsvind. Arter, som er følsomme over for lave iltkoncentrationer, findes fortrinsvis i den østlige del af bugten og på de sydligste stationer.

Østjyske Fjorde

Bundfaunaen i Horsens, Vejle og Kolding Fjorde har været overvåget på en række stationer fra 1985. Effekterne af et kraftigt iltsvind i 1989 synes at kunne registreres på faunaen i Horsens og Vejle fjorde, hvorimod iltforholdene i Kolding Fjord ikke har været så dårlige, at de har kunnet påvirke faunaen. Horsens og Vejle fjorde var præget af lave arts-, individ- og biomassetal i 1989. Herefter synes en reetablering at have fundet sted, omend lave individ- og biomassetal blev fundet i den indre del af Vejle Fjord samt i dele af Kolding Fjord i 1992, sandsynligvis som et resultat af anoxiske forhold under tætte lag af søsalat, *Ulva lactuca*. Generelt synes der ikke at være tegn på en forbedring af miljøforholdene i disse fjorde siden vedtagelsen af vandmiljøplanen.

På trods af en længere iltsvindperiode i 1994 i de ydre dele af Vejle Fjord og Horsens Fjord nåede iltkoncentrationen kun kortvarigt ned under 2 mg/l, og iltsvindet synes generelt ikke at have haft omfattende effekter på bundfaunaens individtal og biomasse. Dog synes fund af døde krabber, *Carcinus maenas*, inderst i Vejle Fjord at kunne sættes i forbindelse med et lokalt iltsvind, der optrådte i forbindelse med opstuvning af åvand inderst i fjorden. I de inderste dele

af Kolding og Vejle fjorde tilskrives mindre reduktioner i artsantal, individantal og biomasse de lokalt opståede iltsvind.

Intensiv bundfauna-prøvetagning på en station i Vejle Fjord viser store sæsonmæssige udsving i individtætheden, primært forårsaget af varierende forekomster af muslingen *Abra alba*, hvilket pointerer vigtigheden af, at overvågningsprøverne bliver indsamlet i samme tidsrum hvert år.

Sønderjyske Fjorde

Faunaen i de sønderjyske fjorde har været overvåget regelmæssigt fra 1989. Faunaen er generelt arts- og individfattig og kan karakteriseres som typisk for brakvandsområder med en høj organisk belastning. Store udsving i individtæthed og biomasse, som er observeret i flere fjorde, kan henføres til iltsvind, som forekommer hyppigt i mange af disse fjorde.

Iltsvind i 1994 førte til en reduktion i faunaen i de ydre dele af Genner Fjord og Åbenrå Fjord samt i Flensborg Fjord, hvor faunaen var stort set elimineret på én af stationerne.

Lillebælt

Et godt datamateriale findes fra Lillebælt i form af tidsserier siden 1985 (enkelte stationer fra 1977) samt i form af et historisk materiale fra starten af dette århundrede. Et genbesøg på disse historiske stationer udført i 1990 viste, at faunaen i mange områder er forarmet i forhold til situationen i starten af dette århundrede.

Tidsserier fra det nordlige Lillebælt antyder en forbedret situation for faunaen i dette område, idet individtæthed og biomasse er øget siden 1991, måske som følge af en klimatisk betinget reduktion i næringssalttilførslerne. I den sydlige del udviser faunaen større variation fra år til år, som kan relateres til forekomsten af iltsvind i dette område. I farvandet omkring Als har tilfælde af total uddøen af faunaen forekommet i nogle år.

Det mest omfangsrige og intense iltsvind siden 1988 blev observeret i sommeren 1994 (juli - ult. september). Specielt den sydlige del af Lillebælt blev hårdt ramt af dette iltsvind, og i store områder var iltkoncentrationen under 2 mg/l i næsten 2 måneder. Som følge af dette iltsvind er faunaen på stationer i dette område meget sparsom og præget af iltsvindstolerante arter såsom *Tubificoides benedeni* og *Arctica islandica*. I den nordlige del af Lillebælt synes faunaen dog ikke at være påvirket af iltsvind, idet individtæthed og biomasse synes at være fortsat stigende i november 1994.

Farvandet omkring Fyn

Fra farvandet omkring Fyn foreligger et godt datamateriale i form af kontinuerte tidsserier fra en lang årrække, i nogle tilfælde fra 1977. Generelt udviser disse tidsserier ingen tendens, men i visse områder er der relativt store udsving i individtæthed og biomasse som formentlig er relateret til lokale iltsvind. I nogle områder, såsom Båring Vig, synes situationen at være i bedring i de seneste år, hvor arter, som er følsomme overfor iltsvind såsom *Ophiura albida*, er gået frem.

I 1994 blev der observeret et udbredt iltsvind, hvor specielt lave iltkoncentrationer (0-0,1 mg/l) blev observeret i dele af Lillebælt, Det Sydfynske Øhav og Langelandssund. Iltsvindet i Det Sydfynske Øhav er det hidtil mest omfattende i perioden 1977-1994. Der blev i dette område konstateret omfattende bunddyrsdød og en udbredt forekomst af svovlbakterier. En forbedring af bundfaunaens tilstand, som synes at have fundet sted på flere stationer i dette område siden 1990, synes at være brudt ved dette iltsvind.

En forbedring af bundfaunaens tilstand synes at have fundet sted i den inderste del af Odense Fjord siden 1990. Denne udvikling tilskrives en reduktion i belastningen fra punktkilder på grund af forbedret rensning.

Øresund

En enkelt tidsserie af bundfaunadata findes fra 1979 fra dette område. Denne dataserie viser tilsyneladende et fald i individtæthed og biomasse indtil 1986 fulgt af en stigning, som bevirker, at faunaen i 1994 ikke er væsentligt forskellig fra situationen i starten af 1980'erne. Faunaen er blevet monitoreret på en lang række andre stationer siden 1989/90. Faunaen viser stor variation med hensyn til individtæthed og biomasse fra år til år, hvilket kan forklares ved, at forekomsten af iltsvind er meget variabel, samt at mange arter i dette område lever på grænsen af deres tolerance over for lave og svingende salinitetsforhold. Faunaen er i flere områder præget af eutrofieringstolerante arter og sparsomme forekomster af krebsdyr, som generelt er følsomme over for dårlige iltforhold.

Køge Bugt

Faunaen i Køge Bugt, som er blevet fulgt på 4 stationer fra 1988, er præget af arter, som tilhører det såkaldte *Macoma*-samfund. Ingen større, generelle ændringer synes at have fundet sted i perioden 1988-1994, bortset fra et markant fald i krebsdyrenes individantal, ligesom det er observeret i Øresund. Dårlige iltforhold er observeret i juli 1991, hvor der på én station blev observeret "liglagen" (svovlbakterier) og rådne fedtemøg. Forholdene i dette område synes at være i bedring siden da.

Ingen markante ændringer i bundfaunaen er registreret i 1994, men det skal bemærkes, at et iltsvind i det område, som var påvirket i 1991, indtraf i juli-august 1994. Effekter af dette iltsvind kan ikke registreres i bundfaunaprøverne, eftersom disse er indsamlet i maj måned.

Isefjord og Roskilde Fjord

Faunaen i Isefjord og Roskilde Fjord har været fulgt henholdsvis fra 1988 og 1986. Nogen generel tendens i faunaens udvikling synes ikke umiddelbart at være tydelig. Faunaen i Roskilde Fjord er væsentlig mindre artsrig end i Isefjord, hvilket givetvis er en del af forklaringen på den store variation i det samlede individantal i denne fjord. Årsagen til, at faunaen i Roskilde Fjord er væsentlig mindre artsrig, er formentlig de generelt lavere saltholdigheder samt forekomsten af iltsvind, der i denne fjord også er observeret i forbindelse med isdække.

I 1994 blev der observeret et markant iltsvind i Isefjord og Roskilde Fjord. For første gang i måleperioden blev der registreret et omfat-

tende iltsvind på lavt vand i Roskilde Fjord. I forbindelse med dette iltsvind blev der i Isefjord observeret stor dødelighed blandt bestandene af blåmusling, *Mytilus edulis* og Ålekvabbe, *Zoarces viviparus*. I Roskilde Fjord drev store mængder døde fisk rundt i overfladen, mens småfisk og bunddyr svømmede rundt oppe ved overfladen, og inderst i fjorden døde alle muslingerne. Effekterne af iltsvindet kan ikke ses i bundprøverne fra dette år, idet disse er indsamlet før iltsvindet indtraf.

Farvandene omkring Lolland, Falster og Møn

Faunaen i farvandene omkring Lolland, Falster og Møn er monitoreret på en række stationer fra 1987. Faunaen er præget af store svingninger i individantal og biomasse, som ikke umiddelbart kan relateres til enkelte parametre. Mange arter lever i dette område på grænsen af deres salinitetstolerance, hvilket medvirker til store variationer.

Ingen markante iltsvindshændelser er observeret i 1994, og der er da heller ikke registreret markante ændringer i bundfaunaens sammensætning og mængde i 1994. Det skal bemærkes, at der tilsyneladende er en generel fremgang i individtætheden af krebsdyr, der generelt anses for at være følsomme over for dårlige iltforhold.

7.3 Status for de åbne farvande

Nordsøen

Undersøgelser af faunaen i Nordsøen har dokumenteret stigende biomasse på Dogger Banke (Kröncke 1992) og i Tyske Bugt (Rachor 1990; Kröncke & Rachor 1992). Et skift i artssammensætningen synes at have fundet sted, idet længerelevende arter er gået tilbage, mens arter, som betegnes som opportunist, er gået frem. Ingen signifikante ændringer i de klimatiske forhold synes at have fundet sted i denne periode. Den mest sandsynlige forklaring på de beskrevne ændringer i bundfaunaens biomasse og sammensætning er en kombination af føderigelighed og iltsvindshændelser som følge af en øget eutrofiering. I Tyske Bugt er der således dokumenteret en stigning i nitratkoncentrationen med en faktor 4-5 siden starten af 1960erne (Radach & Bohle-Carbonell 1990). Fosfatkoncentrationen er ligeledes steget indtil starten af 1980erne, hvorefter koncentrationen er faldet. En stigende fytoplanktonbiomasse er endvidere konstateret i dette område (Berg & Radach 1985).

Bundfaunaen i dele af Tyske Bugt og ud for den danske Vesterhavs-kyst blev påvirket af iltsvind i perioden 1981-83 (Nierman et al. 1990). Specielt i 1983 var iltniveauet meget lavt og nåede ned under 1 mg/l, hvilket førte til en 30-50% reduktion i artsantallet. I 1986 synes faunaen igen at være reetableret. Data fra de 3 danske monitoringsstationer i 1994 viste ingen markante ændringer i forhold til de forudgående år.

Døde fisk i nedgarn blev rapporteret i august 1994 fra et område ud for Hvide Sande. Denne fiskedød er sandsynligvis forårsaget af lave iltkoncentrationer i denne periode.

Skagerrak

Den generelle udvikling i Skagerrak har været en øget biomasse og i mindre grad en øget individtæthed på en række stationer monitoreret fra svensk side (Josefson 1990). En stor del af denne øgning har bestået i en øget individtæthed af slangestjernen *Amphiura filiformis*. Undersøgelser synes at vise, at den øgede biomasse er ledsaget af en øget vækst og produktion af denne art (Josefson & Jensen 1992). Det antydes endvidere, at der måske er en sammenhæng mellem vandafstrømningen i det enkelte år og væksten af *A. filiformis* samme år. Ligesom i Nordsøen tolkes den øgede biomasse som et resultat af en øget eutrofiering i området. Det vides ikke, om den øgende tendens i biomassen er fortsat gennem de seneste år.

En analyse af data fra stationer i Skagerrak og Kattegat i 1970'erne og i 1980'erne viser en meget god korrelation mellem afstrømningen fra land og biomassen af bundfaunaen med en forsinkelse på 1 eller 2 år (Josefson et al. 1993; Buchanan 1993). En lignende sammenhæng mellem afstrømning og individtæthed findes på et flertal af stationerne.

Kattegat

I lighed med udviklingen i Skagerrak har man i det nordlige Kattegat observeret en gradvis forøgelse af biomassen i perioden 1972-1988 (Josefson 1990; Andersin et al. 1990). Længere tidsserier i det sydlige Kattegat findes kun fra en enkelt station. På denne station synes biomassen at have været i tilbagegang fra 1983 til 1988, hvorefter den har været i fremgang siden da. Et genbesøg på Petersens gamle stationer i 1989 i det sydlige Kattegat (Petersen 1913) viste en generel tilbagegang i biomassen på disse stationer i forhold til 1984 (Pearson et al. 1985; Josefson and Jensen 1992), og den største reduktion (70-80%) fandt sted på stationer, som ligger i det område, hvor der i efteråret 1988 blev målt iltkoncentrationer under 1,4 mg/l.

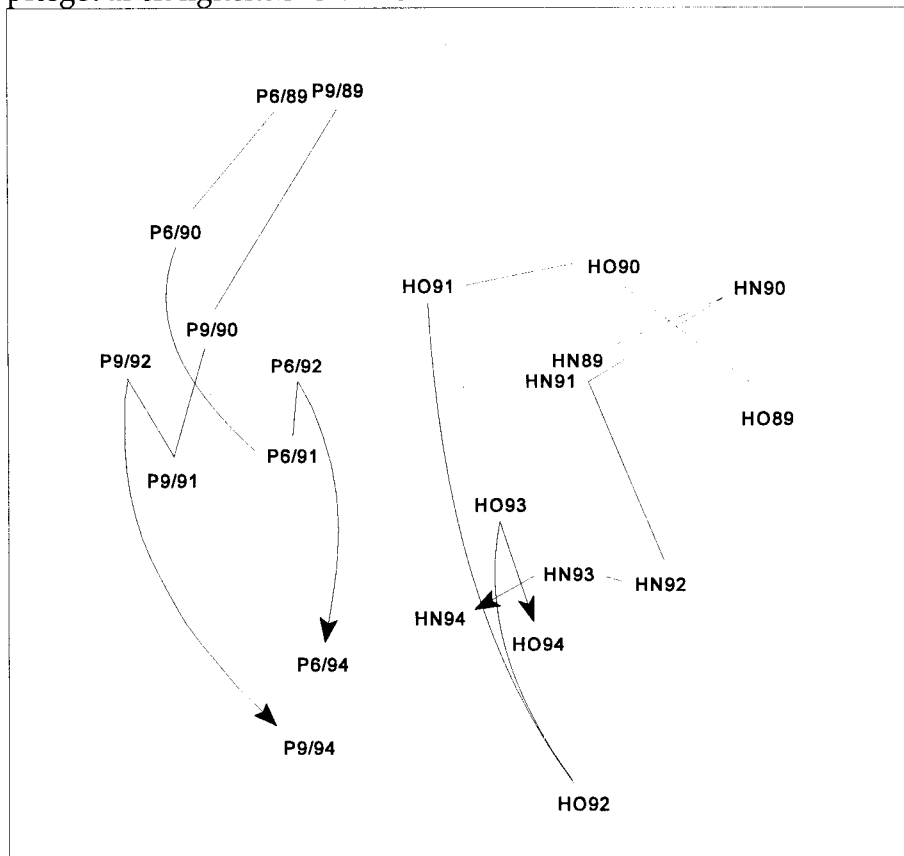
Tre af disse stationer, som monitoreres af Skov- og Naturstyrelsen, udviste i 1991 en forøget biomasse, hvilket indikerer en reetablering efter det store iltsvind i 1988. Generelt synes faunaen i dette område at være i udvikling væk fra situationen lige efter iltsvindet i 1988, hvilket fremgår af figur 7.2., hvor en ordination baseret på MDS (multidimensional scaling) viste fælles udviklingstendens for 4 stationer monitoreret af Skov- og Naturstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser.

I 1994 viste faunaen ingen markante udsving sammenlignet med tidligere år.

Østersøen

Gennem de seneste 10-15 år har faunaen i Arkonahavet været meget forarmet og er nu på et meget lavt niveau hvad angår biomasse og individtæthed. I 1989 fandtes overhovedet ingen makrofauna på stationen, hvilket formentlig er et resultat af det kraftige iltsvind i efteråret 1988. I 1993 fandtes en meget sparsom fauna, efter at man i efteråret 1992 målte den hidtil laveste iltkoncentration i området (0,3 mg/l).

Den tilbagegang i individtæthed og biomasse, som er observeret på denne station, er sammenfaldende med situationen på en række stationer, som er monitoreret fra tysk side (Andersin et al. 1990). De mere kystnære dele af farvandsområdet såsom Hjelm Bugt er præget af en lignende forarmet fauna.



Figur 7.2 MDS-ordination på tidsserier (1989-1994) af bundfaunastationer i det sydlige Kattegat. Ordinationen er baseret på slægtsniveau og data er 4.rods transformeret. Stationerne P6 og P9, som er overvåget af Skov- og Naturstyrelsen er beliggende syd for Anholt, mens stationerne HO og HN er beliggende omkring Hesselø. Faunaens sammensætning synes at "bevæge" sig væk fra situationen umiddelbart efter iltsvindet i 1988.

7.4 Konklusion

Sammenfattende er der generelt ikke er nogen tegn på en forbedring i bundfaunaens tilstand siden vedtagelsen af vandmiljøplanen. En sådan forbedring var da heller ikke at forvente, idet en reduktion i belastningen med kvælstof fra land ikke har kunnet registreres. De lokale forbedringer, som synes at have fundet sted i flere områder i starten af 1990'erne, anses primært for at være forårsaget af mindsket afstrømning i disse år. Denne formodning støttes af den store afstrømning i 1993/94, hvilket førte til omfattende iltsvind og bunddyrs- og fiskedød i mange fjordområder. I enkelte områder har en reduktion i næringssaltudledningen fra lokale punktkilder medvirket til forbedringer i bundfaunaens sammensætning og en forøgelse af mængden.

8 Bundvegetation

8.1 Indledning

Bundvegetationen indgår som en værdifuld variabel i overvågningen af de danske farvandes miljøtilstand. Planternes forankring i bunden, mange arters forholdsvis lange levetid og deres påvirkelighed over for bl.a. lys og næringsssaltniveauer gør, at vegetationens forekomst og udbredelse er et velegnet redskab til at vurdere et områdes vandkvalitet.

Med overvågningsrapporten for 1992 (Ærtebjerg et al., 1993) blev der fremlagt en statusbeskrivelse af vegetationsforholdene for de marine områder. Registrerbare forandringer i vegetationen fra århundredeskiftet blev ligeledes gennemgået.

I det følgende beskrives de væsentligste udviklingstendenser for bundvegetationen fra 1993 til 1994.

8.2 Udviklingstendenser for blomsterplanter i 1994

Reduktioner i ålegræssets udbredelse

I 1994 skete der i mange områder en reduktion i ålegræssets udbredelse og dækning (figur 8.1).

Mulige årsager

Reduktionerne blev generelt observeret i områder, som var ramt af iltsvind (se figur 6.2 - kort over udbredelsen af iltsvind). Ved lave iltkoncentrationer og ved iltsvind kan der forekomme en frigivelse af svovlbrinte fra sedimentet. Det er sandsynligt, at en kombination af lave iltkoncentrationer og høje svovlbrintekoncentrationer i forbindelse med iltsvind - har været afgørende for reduktionerne i ålegræssets udbredelse. Effekter af lave iltkoncentrationer og eksponering til svovlbrinte er endnu dårligt kendte, men nye undersøgelser tyder på, at eksponering til svovlbrinte kan reducere effektiviteten af ålegræssets lysudnyttelse, og at denne effekt forstærkes ved lave lysintensiteter (Goodman et al., 1995). Høje temperaturer og dårlige lysforhold, som prægede sommeren 1994, kan ligeledes have svækket ålegræsset.

Limfjorden

Ålegræssets dækningsgrad blev væsentligt reduceret i Limfjorden, og den gennemsnitlige dybdegrænse var 2,5 meter i 1994 mod 2,8 meter i 1993. 30% af hele Limfjorden var i sommeren 1994 ramt af iltsvind, men da iltsvindet generelt forekom på større dybder end ålegræsset, har det formentlig ikke været den direkte årsag til reduktionerne. Årsagen var sandsynligvis snarere skygning fra fytoplankton i kombination med høje temperaturer.

Hevring Bugt

I Hevring Bugt var dækningsgraden ligeledes reduceret i 1994 sammenlignet med den forrige undersøgelse, som blev gennemført i 1990. Den absolutte dybdegrænse for ålegræsset var dog uændret,

hvilket antyder, at andre faktorer end lyset var skyld i den reducerede dækningsgrad. Langs flere af transsekterne blev der observeret pletter med reduceret sedimentoverflade og hvide svovlbakterier.

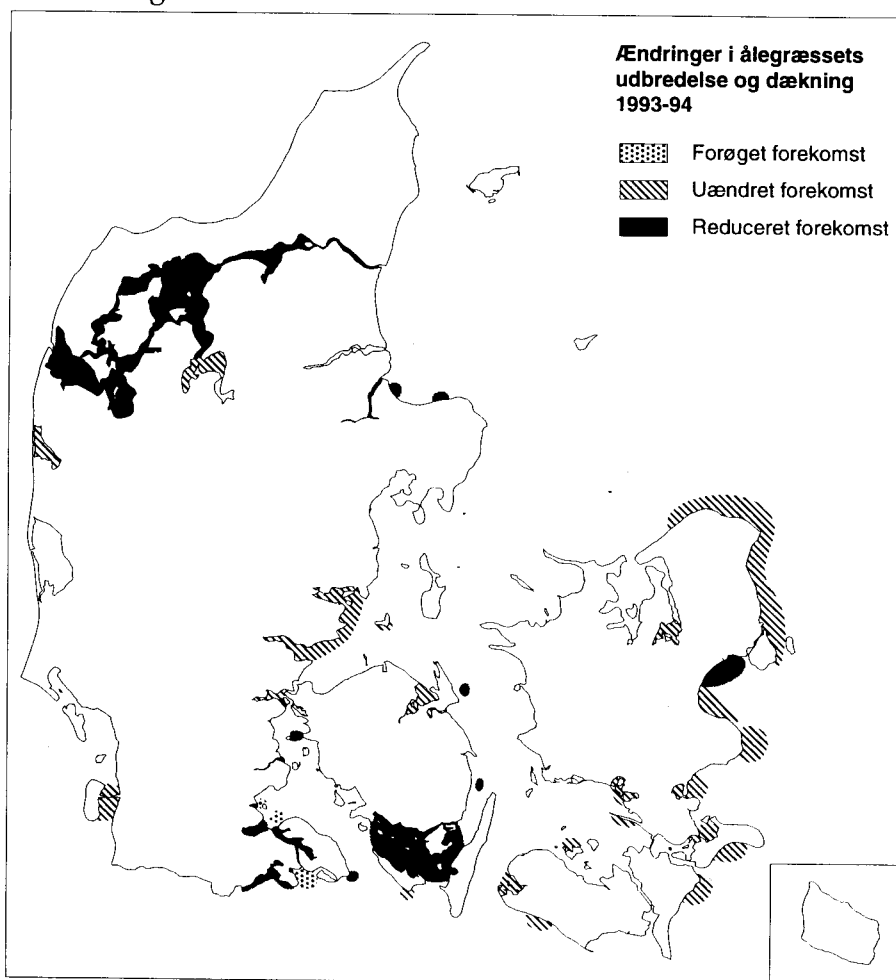
Randers fjord uden ålegræs

I Randers Fjord skete der en omfattende reduktion i ålegræssets udbredelse mellem 1990 og 1993, og denne tendens fortsatte i 1994, så der nu stort set ikke findes ålegræs.

Stor reduktion i ålegræssets udbredelse i de fynske kystvande

De åbne kystvande omkring Fyn var, bortset fra Storebælt, ramt af udbredt iltsvind gennem sommeren 1994, og der blev i samme periode konstateret reduktioner i ålegræssets udbredelse. Desuden var ålegræsbestandene i stort omfang dækket med blåmuslinger.

I det Sydfynske Øhav, Lindelse Nor og Lunkebugten forekom i august 1994 ligeledes udbredt iltsvind i 2-4 meters dybde med elementært svovl liggende som en mælkehvid dyne over vegetationen. I den iltsvindsramte zone var ålegræsset afbleget, og der blev observeret store mængder drivende ålegræsplanter. I april 1995 blev det konstateret, at ålegræsvegetationen i dybdeintervallet 2-5 meter var reduceret med 80-90% sammenlignet med 1993. Over store områder var vegetationen helt forsvundet, og rhizomerne forrådnede. På helt lavt vand (0,8-2 meter) var ålegræssets udbredelse kun svagt reduceret.



Figur 8.1 Ændringer i ålegræssets udbredelse gennem perioden 1993-1994.

I Gamburg Fjord, derimod, havde ålegræsset bredt sig, og stod med spredte skud på 1-2 meters dybde i områder, hvor ålegræsset var forsvundet i 1992 og 1993. Disse nye skud var spredt fra frø.

Sønderjyske fjorde

På flere af de mest næringsstofbelastede transsektorer i de sønderjyske fjorde blev ålegræsbestandene væsentligt reducerede gennem 1991-1993, og denne tendens fortsatte i 1994 i Haderslev-, Åbenrå-, Augustenborg- og Flensborg Fjorde. I Flensborg Fjord blev der registreret massive settlinger af blåmuslinger på ålegræsset, og i forbindelse med et omfattende iltsvind i hele fjorden fra juli til november sås store opskyl af ålegræs og udbredte belægninger af hvide svovlbakterier på 4-10 meters dybde. Desuden var udbredelsen af ålegræs reduceret i den indre del af Genner Bugt, Diernæs Bugt og Als Fjord, mens udbredelsen var forøget i de ydre dele af Flensborg Fjord, Genner Bugt og Als Fjord.

I Vadehavet var udbredelsen af havgræs i 1994 reduceret sammenlignet med 1993, mens udbredelsen af ålegræs var uændret.

Roskilde Fjord

I hele den sydlige del af Roskilde Fjord var der gennem sommeren 1994 ligeledes et langvarigt iltsvind, som imidlertid ikke resulterede i større ændringer i forekomsten af ålegræs. Ålegræssets dybdegrænse var 1,7 m i 1994 mod 1,9 m i 1993, men dybdegrænsen blev yderligere reduceret med ca. 20 cm i løbet af vinteren 1994-95. Dybdegrænsen i den indre del af Roskilde Fjord har generelt været lav (1,5 - 1,9 m) i perioden 1992-94, sammenlignet med perioden 1989-91, hvor den lå på 2,6 - 2,8 m. Dårlig sigt, muligvis som resultat af nedgang i bestandene af blåmuslinger, har sandsynligvis været medvirkende årsag til dette forløb.

8.3 Udviklingstendenser for makroalger i kystnære områder i 1994

Eutrofieringsbetingede makroalger

Betegnelsen eutrofieringsbetingede makroalger benyttes her som en fællesbetegnelse for en række arter, hvis udbredelse typisk tiltager med stigende belastning. Betegnelsen omfatter arter som søsalat (*Ulva lactuca*), krølhåstang (*Chaetomorpha linum*), vandhår (*Cladophora spp.*), rørhinde (*Enteromorpha spp.*), fedtemøg (*Ectocarpus spp.* og *Pilayella spp.*). Det er karakteristisk for disse arter, at de er forholdsvis simpelt byggede, vokser hurtigt og er kortlivede.

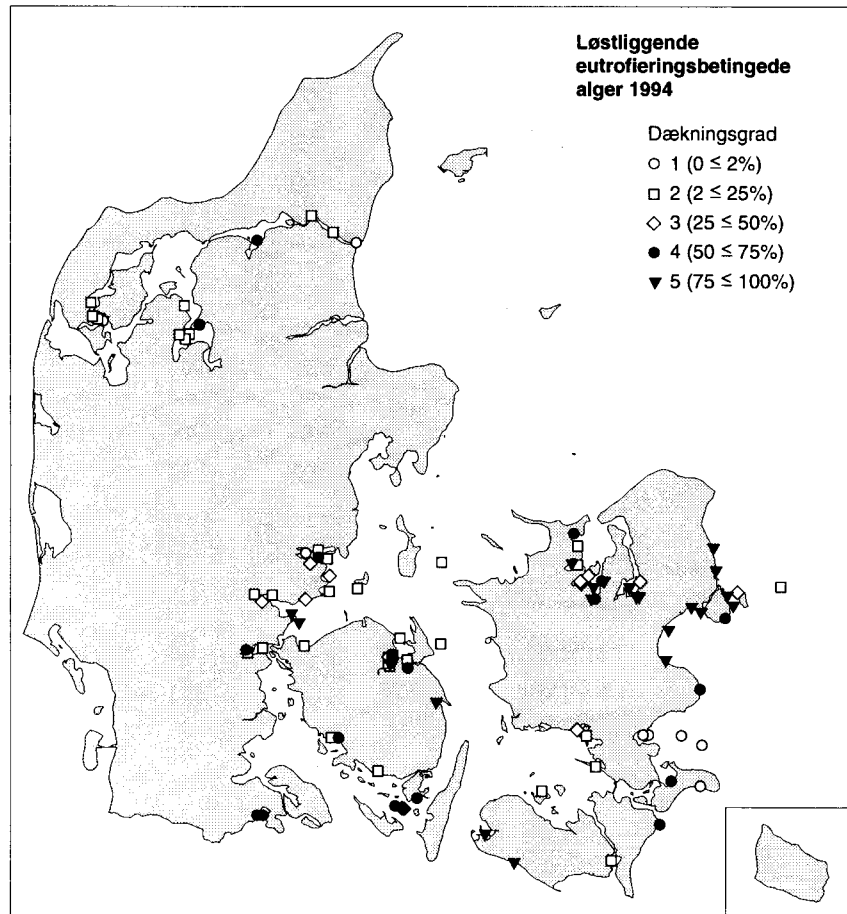
Eutrofieringsbetingede makroalger versus fytoplankton

Næringssalttilførslerne var relativt høje i 1994, hvilket umiddelbart stimulerer eutrofieringsbetingede makroalger - løstliggende såvel som epifytiske. Dette var også tilfældet i flere områder (figur 8.2 og 8.3). Men der var tydeligvis en konkurrence mellem de eutrofieringsbetingede makroalger og fytoplankton. I områder, hvor fytoplankton dominerede, blev lysnedtrængningen til bunden reduceret, og i disse områder forekom der kun begrænsede mængder af eutrofieringsbetingede makroalger. Dette gjaldt f.eks. i Limfjorden. På andre lokaliteter, hvor lysforholdene var gode på lavt vand, var der udbredte forekomster af eutrofieringsbetingede makroalger. Dette

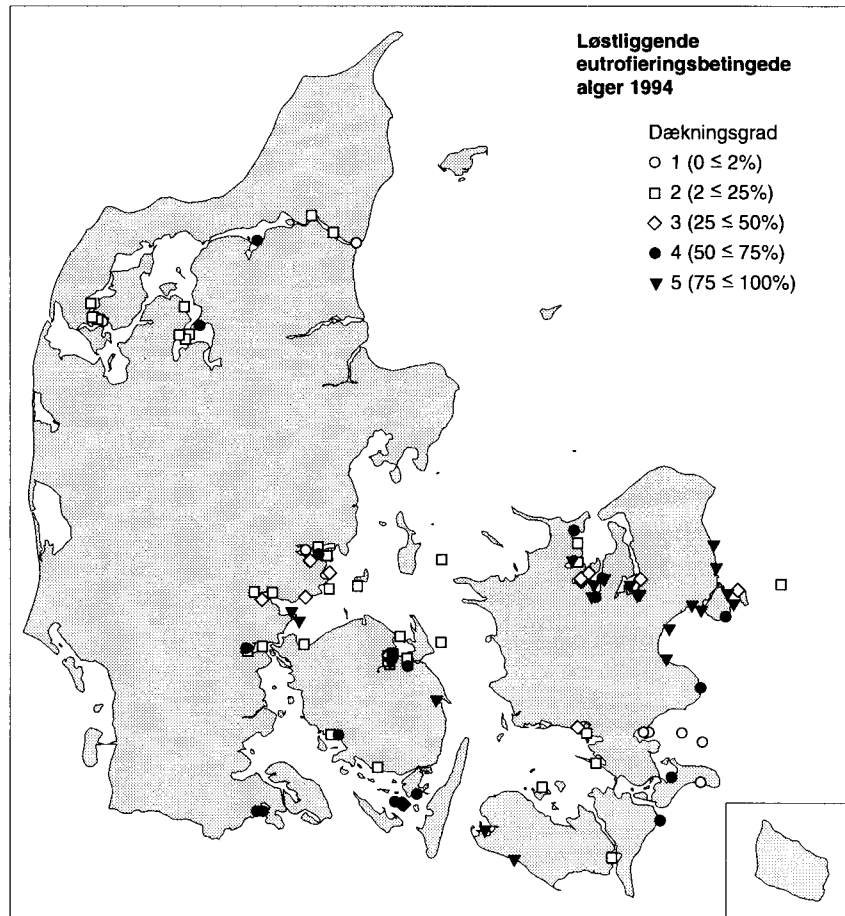
karakteriserede f.eks. kystområderne i Vejle Amt. I Det Sydfynske Øhav var foråret præget af fytoplanktonopblomstringer samt en del epifytiske kiselalger og først i juni, hvor planktonopblomstringen var klinget af, registreredes store mængder løstdrivende trådalger.

I Vadehavet var udbredelsen af grønalgemåtter halveret sammenlignet med 1993, muligvis pga. afsvidning som følge af den store solindstråling og varme i juli og første halvdel af august.

Vegetationen i Bornholms kystvande er ligeledes domineret af eutrofieringsbetingede makroalger, som her vokser fasthæftet til stenbunden.



Figur 8.2 Dækningsgraden af eutrofieringsbetingede løstliggende makroalger på lokaliteter, som er undersøgt i 1994. For hvert transekt er afbildet den største registrerede dækningsgrad.



Figur 8.3 Dækningsgrad af eutrofieringsbetingede epifytter på lokaliteter, som er undersøgt i 1994. På figuren er afbildet den største registrerede dækningsgrad for hvert transekt.

Reduktioner i udbredelsen af rød- og brunalger

Øvrige makroalger

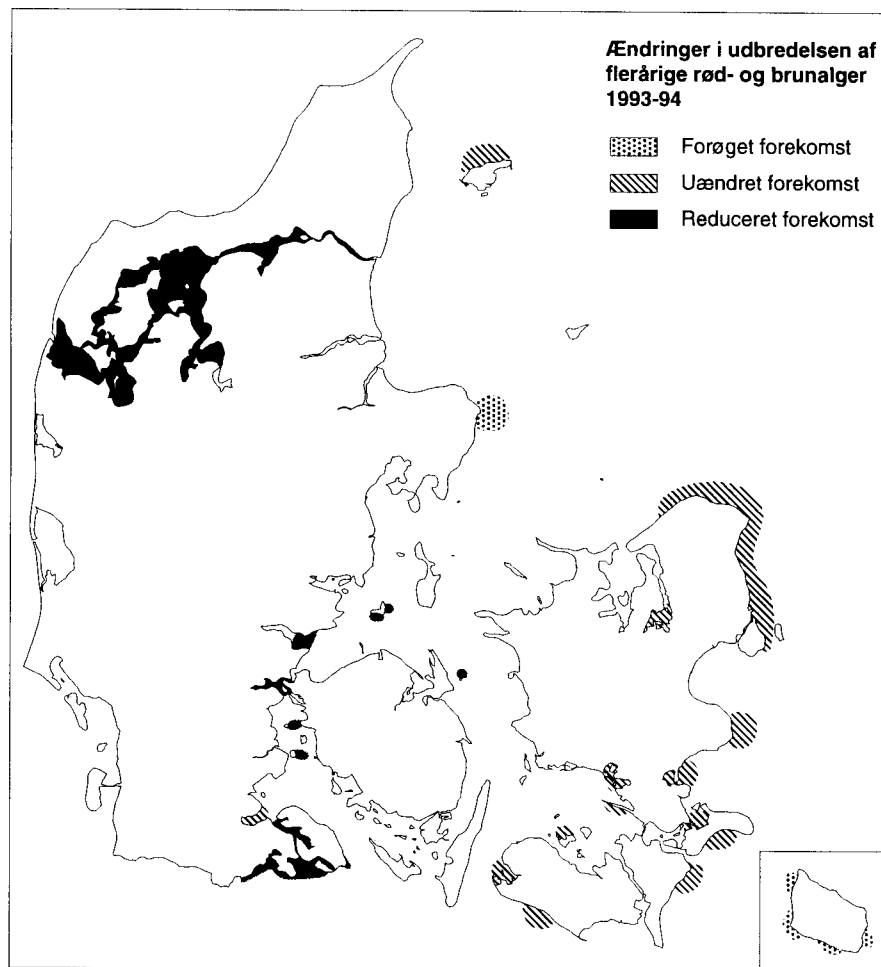
I løbet af sommeren 1994 blev der observeret en væsentlig reduktion i forekomst og/eller udbredelse af rød- og brunalger på en række lokaliteter i Limfjorden, Vejle- og Kolding Fjorde, de åbne kystvande omkring Fyn, Lillebælt samt i de sønderjyske fjorde (figur 8.4).

Stor tilbagegang i Limfjorden

I Limfjorden blev der i 1994 observeret en markant reduceret dækning og dybdeudbredelse af mange større alger samt en betydelig reduktion i individstørrelse af arter som butbladet sargassotang (*Sargassum muticum*), skulptetang (*Halidrys silicucosa*), sukkertang (*Laminaria saccharina*), tvedelt bændelalge (*Dictyota dichotoma*), carragentang (*Chondrus crispus*) og plysalge (*Codium fragile*). F.eks. var den gennemsnitlige biomasse af butbladet sargassotang reduceret med 75% i forhold til 1993. Desuden var udbredelsen af små, enårige rødalger på dybt vand reduceret sammenlignet med tidligere år.

Tilbagegang for *Laminaria* i Vejle- og Kolding Fjord

I Kolding Fjord og i mindre grad i Vejle Fjord blev der registreret en reduceret udbredelse af *Laminaria* arter i juli-august på 2-5 meters dybde og der blev observeret en kraftig snelegræsning på de resterende bestande. Ved et enkelt transekt var der kun hapterer (fasthæftningsorganer) og stilke tilbage. I det åbne farvand nord for Lillebælt forekom *Laminaria* dog ligesom i 1993 ned til 12 meters dybde.



Figur 8.4 Ændringer langs kysten i udbredelsen af flerårige rød- og brunalger gennem perioden 1993-94.

Reduceret udbredelse i store dele af de fynske kystvande

I det nordlige Lillebælt ved Endelave og i Storebæltregionen ved Romsø blev der konstateret mindre reduktioner i udbredelsen af makroalger. I det mellemste Lillebælt ved Wedelsborg Hoved og Årø samt i det sydlige Lillebælt ved Pøls Huk blev der i august konstateret en massiv reduktion i forekomst og udbredelse af de store bladformede brunalger sukkertang (*Laminaria saccharina*) og fingertang (*Laminaria digitata*) samt flerårige rødalger som bugtet ribbeblad (*Phycodrys rubens*), blodrød ribbeblad (*Delesseria sanguinea*) og rødbris (*Rhodomela confervoides*). Ved Wedelsborg Hoved var disse arter totalt elimineret. Desuden skete en betydelig reduktion i antallet af enårige arter. Derimod var udbredelsen af kile-rødblåd (*Phyllophora truncata*) uændret. Bortset fra sidstnævnte art var vegetationen dækket af kraftige belægnings af nybundfældede blåmuslinger. I Lillebæltområdet blev der desuden registreret en betydelig sedimentation af organisk materiale på bundvegetationen i juli og august. Det sedimenterede organiske materiale blev pga. de rolige vindforhold ikke rystet af makroalgerne gennem juli og august. I den midterste del af Lillebælt var sedimentationen specielt kraftig, og der opstod udbredte områder med iltsvind og belægnings af svovlbakterier.

Udbredte bevoksninger forsvundet gennem sommeren i de sønderjyske fjorde

I området mellem Als - og Augustenborg Fjorde var *Fucus* bevoksningen ved kysten rødlig, og planterne forekom misdannede. Udbredte bevoksninger af bugtet ribbeblad, grisehaletang og sukkertang, som var registreret først på sæsonen, var i juli/august helt eller delvist forsvundet. På dybder større end 2 meter bestod vegetationen næsten udelukkende af fliget rødblad (*Phyllophora pseudoceranoides*). I 1-4 meters dybde var der sket et massivt nedslag af blåmuslinger på vegetationen. I Flensborg Fjord sås en tilsvarende udvikling, og på flere transekter stod kun stænglerne af de store brunalger tilbage. I den ydre del af fjorden var der massiv nedslag af blåmuslinger på vegetationen i 2-8 meters dybde, og på dybder større end 4 meter var der på en lang række transekter udbredte belægninger af svovlbakterier.

Sjællands nordlige kyst

Ved Kikhavn på Sjællands Kattegatkyst var biomassen af rødalger reduceret sammenlignet med undersøgelsen i 1989. Derudover sås ingen ændringer i makroalgevegetationen.

Bornholm

På flere lokaliteter i de Bornholmske kystvande sås derimod en forøget forekomst af gaffeltang (*Furcellaria Lumbricalis*) i forhold til 1993.

Ændringerne er de største registreret gennem overvågningsperioden

Ændringerne i makroalgevegetationen er de største registreret i perioden 1989-94, hvor overvågningsprogrammet er blevet gennemført. Det kan ikke med sikkerhed fastslås, hvilken parameter, eller hvilken kombination af parametre, der har givet anledning til de voldsomme ændringer, men årsagen skal sandsynligvis søges i de ekstreme forhold med eutrofiering, iltsvind og høje temperaturer, som optrådte gennem sommeren 1994.

Høje temperaturer

Vandtemperaturen var meget høj i juli/august. Juli 1994 er den varmeste måned, som er registreret gennem perioden med landsdækkende målinger, som startede i 1874 (DMI, 1994). Flere steder blev der målt vandtemperaturer mellem 22°C og 24°C helt ned til 10-12 meters dybde. Undersøgelser af temperaturtolerance hos makroalger fra Helgoland viser, at sukkertang, fingertang og bugtet ribbeblad bukker under ved en uges eksponering til vandtemperaturer mellem 20°C og 23°C, og at den optimale temperatur for sukkertangs vækst ligger i området 10-15°C (Lüning, 1990). Blodrød ribbeblad bukker under ved temperaturer mellem 23°C og 25°C og temperaturen for optimal vækst ligger ligeledes omkring 10-15°C. Derimod kan kile-rødblad og fliget rødblad overleve temperaturer op til hhv. 28-30°C og 30-33°C (Lüning, 1990). Sommerens høje temperaturer i kombination med arternes forskellige temperaturtolerance kan derfor være en del af forklaringen på reduktionerne i udbredelsen af en række arter og kan ligeledes være årsag til, at kile-rødblad og fliget rødblad var i stand til at overleve.

Iltsvind og svovlbrinte

Stille vejr og høje vandtemperaturer i kombination med store mængder organisk stof gav anledning til udbredte iltsvind i juli og august. Der var flere steder sammenfald mellem iltsvindsområder og områder med reduceret udbredelse af bundvegetation. Førringede iltforhold og eksponering til svovlbrinte har sandsynligvis været en medvirkende årsag til reduktionerne i vegetationens udbredelse.

Dårlige lysforhold

Den store afstrømning i foråret resulterede i en betydelig udvaskning af kvælstof- og fosforholdige næringssalte til kystområderne. Dette gav anledning til generelt høje fytoplanktonbiomasser og dermed dårlige lysforhold for bundvegetationen.

Nedslag af blåmuslinger

Desuden blev der mange steder registreret en udbredt bundfældning af blåmuslinger på bundvegetationen gennem juli og august, hvilket yderligere har forværret lysforholdene for vegetationen. Blåmuslingebelæggningerne vil sandsynligvis desuden kunne reducere iltkoncentrationerne ved algernes overflade og herved yderligere hæmme algernes vækst. Kile-rødblad og fliget rødblad var de eneste arter, som ikke var udsat for nedslag af blåmuslinger, og det har formentlig været medvirkende årsag til, at disse arter har oprettholdt deres hidtidige udbredelse.

8.4 Udviklingstendenser for makroalger på stenrev i de åbne farvande

I de åbne indre farvande dækker den fastsiddende algevegetation typisk 90-100% af stenbunden ned til 12-13 meters dybde. På større dybder vil algernes dækningsgrad aftage i takt med forringelse af lysforholdene, typisk til 5% ved 20-25 meters dybde. Forskelle fra år til år i dækningsgraderne på en given dybde formodes derfor i høj grad at afspejle ændringer i lysnedtrængningen.

Generelt forbedrede vegetationsforhold i det nordlige og centrale Kattegat på større vanddybder

I det nordlige og centrale Kattegat var vegetationsforholdene generelt forbedrede i 1994 på dybder større end 14 meter, især i sensommeren. Algernes dækningsgrad var således i august forøget med ca. 1/3 sammenlignet med tidligere år. Ved Store Middelgrund blev der dog observeret reduktioner i algernes dækningsgrad på 12 og 18 meters dybde. På 12 meters dybde blev dækningsgraden reduceret fra 90 til 15% mellem juni og august. Tilbagegangen var særlig tydelig for de normalt dominerende rød- og brunalger som bugtet ribbeblad (*Phycodrys rubens*), rødbris (*Rhodomela confervoides*) og de to *Laminaria* arter sukkertang og fingertang. Samme mønster blev registreret i sensommeren 1993, hvor mange *Laminaria* havde tydelige gnavespor eller helt manglede bladpladen. Hverken i 1993 eller 1994 sås dog større mængder af græssende snegle eller søpindsvin. På 18 meters dybde var algerne helt forsvundet, og da der forekom store mængder søpindsvin, er det sandsynligt, at vegetationen her var græsset væk.

Lokale reduktioner i dækningsgraden af flerårige rød- og brunalger muligvis pga. græsning

Generelt uforandrede vegetationsforhold i det sydlige Kattegat

På Schultzs Grund i det sydlige Kattegat var vegetationen på større dybder stort set uforandret i forhold til tidligere år. Ved undersøgelsen i juni blev der dog registreret skader på løvet hos den dominerende rødalge blodrød ribbeblad (*Delesseria sanguinea*) og den mere sjældne vinget ribbeblad (*Membranoptera alata*). Skaderne blev observeret i et afgrænset dybdeinterval mellem 6,5 og 7 meters dybde, hvorimod algerne på 5 og 9 meters dybde ikke var påvirket. Skaderne viste sig som henfald på siderne af algernes løv, der blev kraftig misfarvet i en orange nuance. I august var dækningsgraden

Lokale skader på rødalger

af blodrød ribbeblad noget reduceret, mens vinget ribbeblad slet ikke blev genfundet.

Forbedrede vegetationsforhold på dybt vand i Samsø Bælt

Ved Vejrø i Samsø Bælt adskilte algernes samlede dækningsgrad sig i juni 1994 ikke væsentligt fra de tidligere års registreringer på dybder større end 14 meter. I løbet af sommeren forbedredes forholdene imidlertid så markant, at dækningsgraderne i august var fordoblet sammenlignet med tidligere års registreringer, og nåede op på 90, 60 og 40% på hhv. 15, 17 og 19 meters dybde. Denne udvikling skete på trods af store mængder detritus og pletter af svovlbakterier, der dækkede 1-10% af bunden i august på dybder større end 9 meter.

Begrænsede mængder eutrofieringsbetingede epifytter

Eutrofieringsbetingede epifytter blev alene registreret ved Vejrø i Samsø Bælt i juni. 30-40 cm store totter af alm. vatalge (*Ectocarpus siliculosus*) sad på småsten med en dækningsgrad på 35% ned til 9 meters dybde. På større sten var *Ceramium nodulosum* helt dominerende med 80% dækning på den flerårige vegetation. I august var de pågældende arters dækningsgrad kraftigt reduceret. På de øvrige stenrev blev der ikke registreret væsentlige forekomster af eutrofieringsbetingede epifytter.

Kraftige blåmuslingenedslag påvirkede tilsyneladende ikke vegetationen

Som det har været tilfældet langs mange kysttranssekter i Bælthavet og de sønderjyske fjorde forekom der et kraftigt nedslag af blåmuslingeyngel på stenrevene ved Læsø Trindel og Store Middgrund i hhv. det nordlige og centrale Kattegat, på Schultzs Grund og Briseis Flak i det sydlige Kattegat samt ved Vejrø i Samsø Bælt mellem juni og august. Muslingenedslagene var mest udprægede på vanddybder mellem 4 og 10 meter og var af så ny dato, at der ikke kunne registreres nogen effekt på vegetationens sammensætning og dækningsgrad. Siden overvågningen startede i 1989, er der ikke registreret et sådant samtidigt muslingenedslag på alle stenrev med vanddybder mellem 4 og 10 meter.

8.5 Konklusion

1994 var præget af voldsomme reduktioner i udbredelsen af ålegræs og flerårige rød- og brunalger, som udgør de mest stabile bundvegetationssamfund i de danske kystområder. Reduktionerne skete i løbet af juli/august 1994 og er de mest markante reduktioner i vegetationens udbredelse, der er registreret siden vandmiljøplanens overvågningsprogram blev igangsat i 1989.

Årsagen til reduktionerne kendes ikke med sikkerhed, men skal sandsynligvis søges i de ekstreme forhold, som optrådte i sommeren 1994:

- udbredte iltsvind med svovlbrinteudslip
- høje vandtemperaturer
- dårlige lysforhold pga. fytoplanktonopblomstringer og nedslag af blåmuslinger på vegetationen
- græsning på enkelte lokaliteter

På stenrevne i de åbne farvande var iltforholdene derimod gode, og lokaliteterne var ikke udsat for ekstreme varmegrader. Vegetationsforholdene var generelt forbedrede i det nordlige og centrale Kattegat og Samsø Bælt i august, mens forholdene i det sydlige Kattegat stort set var uændrede i forhold til tidligere år.

9 Miljøtilstanden i de danske farvande

9.1 Indledning

Dette kapitel giver en tværgående vurdering af miljøets tilstand og udvikling i de danske farvande i relation til næringssaltbelastning. Den indsamlede viden om farvandenes tilstand er endvidere søgt relateret til de økologiske kvalitetsmålsætninger, der er opstillet for de enkelte områder.

9.2 Næringssaltbelastning

Meteorologiske forhold

Fælles for de danske farvande i 1994 var en ekstrem stor ferskvandsafstrømning fra land, den største registreret i mere end 50 år. Afstrømningen fandt specielt sted i månederne januar, marts, september og december som følge af en betydelig nedbør. Afstrømningen fra maj til august var derimod lavere end middel. Juli og dele af august havde en meget stor solindstråling, usædvanlig varme og næsten ingen vind.

Næringssaltbelastning

De store nedbørsmængder om vinteren medførte en betydelig øget udvaskning af næringssalte fra det åbne land. Den øgede tilførsel fra land var gældende for alle dele af Danmark, og i Nordsøen kom ligeledes et stort bidrag fra centraleuropæiske floder.

Punktkilder

Næringssaltbelastningen fra byer og industri synes nu at være stabiliseret på et niveau, der ligger tæt på den reduktion der blev vedtaget i vandmiljøhandlingsplanen. De eneste steder, hvor der stadig ikke kan spores en nedgang i punktkildebelastningen, er fra det store københavnske rensningsanlæg Lynetten.

I 1994 blev der i alt tilført 128.000 tons kvælstof og 4.490 tons fosfor til havområdet fra danske punktkilder og landarealer, hvoraf knap 90% af kvælstoftilførslen og ca. 50% af fosfortilførslen kom fra det åbne land (Larsen et al., 1995). Den samlede belastning fra Danmark til de indre danske farvande med kvælstof og fosfor udgjorde henholdsvis 92.480 tons og 3.430 tons.

Atmosfærisk deposition

Den atmosfæriske våddeposition af kvælstof var i 1994 af samme størrelsesorden som de tidligere år. En tredjedel af depositionen fandt sted i sommermånederne, hvor afstrømningen var mindst. Forbedrede metoder til bestemmelse af tørdeposition gør, at en tidlig udviklingen ikke kan beskrives for denne kvælstofkilde. Den samlede atmosfæriske kvælstofdeposition til de danske havområder, inkl. de svenske dele af Kattegat og Øresund, er beregnet til ca. 128.000 tons (Skov et al., 1995). Depositionen til de indre farvande er beregnet til knap 50.000 tons, hvoraf ca. 20% falder på svensk område.

9.3 Miljøtilstanden i fjordene

<i>Kvælstofkoncentrationer</i>	Den forøgede udvaskning af kvælstof i vinterperioden 1993/94 kan registreres i langt størsteparten af de danske fjordområder. Der er her tale om høje eller signifikant forhøjede koncentrationer af specielt nitrat + nitrit i vinter- og forårsmånederne, set i forhold til tidligere års målinger. Kun i de sønderjyske fjorde var koncentrationsforhøjelsen ikke markant, hvilket formodentlig skyldes en stor vandudveksling i fjordene, hvor salt og næringsrigt vand blev udskiftet med udstrømmende næringsfattigt brakvand fra Østersøen i slutningen af februar.
<i>Kvælstofudvikling</i>	På grund af den varierende belastning fra land fra år til år kan der ikke påvises nogen landsdækkende langtidsændring i vinter- og sommermiddelkoncentrationerne af kvælstof over årene.
<i>Fosforudvikling</i>	En markant udvikling gør sig imidlertid gældende for fosfor. I de to vestjyske fjorde, i fire øst- og sønderjyske fjorde samt i Limfjorden, Odense Fjord, Isefjorden og Roskilde Fjord er der konstateret signifikante fald i sommer- og/eller vinterkoncentrationerne af totalfosfor og/eller fosfat på en eller flere vandkemistationer.
<i>Planktonopblomstringer</i>	De høje næringssaltkoncentrationer i fjordområderne gennem foråret 1994 og den meget lange solrige og varme periode om sommeren gav anledning til meget store masseforekomster af fytoplankton i næsten alle fjordområder. I mange områder var der tale om de hidtil største registrerede biomasser.
<i>Næringssaltbegrænsning</i>	Som følge af den store kvælstofbelastning og de specielle meteorologiske forhold i 1994 var perioderne, hvor kvælstof var potentielt begrænsende for fytoplanktonproduktionen, mindre hyppige og af kortere varighed end i tidligere år. I to af Limfjordens bredninger og i Mariager Fjord, var der ingen eller kun korte perioder i 1994, hvor der blev målt kvælstof i så lave koncentrationer, at der kunne være tale om begrænsning af planteplanktonproduktionen. I Limfjorden var fosfor, og for kiselalgernes vedkommende silikat, i perioder sandsynligvis de produktionsbegrænsende næringsstoffer. Silikat var potentielt begrænsende i løbet af sommeren i mange fjorde, men i Ringkøbing Fjord, Mariager Fjord, Vejle Fjord, Isefjord og Roskilde Fjord var der på intet tidspunkt silikatbegrænsning.
<i>Fytoplanktonsuccession</i>	Den typiske succession for fytoplanktonopblomstringerne med kiselalger om foråret, mindre flagellater om sommeren efterfulgt af store furealger om efteråret fandt ikke sted i 1994. Forårets kiselalgeopblomstring blev fulgt af andre kiselalger om sommeren, hvor specielt arten <i>Rhizosolenia fragilissima</i> dominerede i Limfjorden og de øst- og sønderjyske fjorde og ofte med helt usædvanligt store biomasser. I de vestjyske fjorde var det Chlorococcale grønalger, der dominerede i april-juli og august-november. Den typiske masseforekomst i efteråret af furealger blev kun registreret i Limfjorden, hvor den til gengæld var usædvanligt stor, samt i det sydlige Kattegat.

Toksiske alger

Toksiske alger udgjorde i 1994 et problem i Limfjorden, Horsens Fjord og Vejle Fjord, hvor grænseværdierne blev overskredet for muslingefiskeri, som derfor blev indstillet i perioder. Ellers var de observerede forekomster på niveau med tidligere år.

Alvorlige iltsvind

De store planktonbiomasser, i kombination med det usædvanligt varme vand og en lang vindstille periode i juli og august gav anledning til de værste iltsvindproblemer i de fleste danske fjordområder siden 1988.

I fladvandede områder som Nissum Fjord blev der for første gang registreret iltsvind, og også på helt lavt vand i andre fjorde som f.eks. Vejle, Flensborg og Roskilde fjorde var der iltproblemer. I Vejle Fjord blev der for et eksempel målt under 2 mg ilt/l på meget lavt vand i august og i alt 80% af fjordens vandvolumen var påvirket. I Roskilde Fjord blev der for første gang siden målingerne startede i 1977 konstateret omfattende iltsvind på lavt vand syd for Eskildsø med iltindhold på 0-0,4 mg/l. Iltsvindet i Limfjorden var arealmæssigt på størrelse med det hidtil værst målte i 1988, og i den nordvestlige del af fjorden var det af længere varighed i 1994 end tidligere set. I Mariager, Randers og Horsens Fjorde var iltforholdene ringere end i de foregående år. Alle sønderjyske fjorde blev ramt og i Flensborg Fjord var iltsvindet det til dato kraftigste registreret med svovlbrintefrigivelse til vandet. Svovlbrinte blev også frigivet i Isefjord og Nørrefjord, der var helt iltfrie i store områder. Iltsvind har også fundet sted i Ringkøbing Fjord på dybt vand kort tid efter saltvandsindlukning, men de var kortvarige pga. stor blandingsenergi i fjorden.

Iltsvindproblemerne i mange lavvandede fjorde blev afhjulpet midt i august og senere i september af kraftig vind.

Bundfaunaudvikling

Udviklingen i de fleste af de danske fjorde frem til foråret 1994 var en fortsat fremgang i individantal og biomasse for bundfaunaen efter de omfattende iltsvind i slutningen af 1988 eller mere lokale hændelser i de følgende år. Undtagelserne var specielt Limfjorden, hvor faunaen generelt blev forringet i 1993 og Haderslev Fjord samt den nordlige del af Roskilde Fjord, hvor forholdene blev forbedret. De vestjyske fjordes fauna er generelt ikke præget af iltsvind men mere af salinitetsændringer.

Mange amter gennemfører alene bundfaunaundersøgelser om foråret. Det landsdækkende overblik over faunaens status og situation omfatter derfor perioden før, de omfattende iltsvind i sommerperioden 1994 satte ind. Iltsvindets samlede effekter vil derfor først kunne gøres op i næste års overvågningsrapport.

Effekter af iltsvindet i sommeren 1994 er foreløbig dokumenteret fra en række fjorde. Omfattende bundfaunadød blev konstateret i Limfjorden. I den sydlige del af Roskilde Fjord og i Isefjord blev døde blåmuslinger og fiskedød eller -flugtreaktioner observeret. Tilsvarende er faunaen gået tilbage i en række sønderjyske fjorde, hvori mod der i Vejle Amts fjorde ikke kunne registreres større effekter af iltsvindet.

I Haderslev Fjord fortsatte faunaen den positive udvikling fra perioden 1988-1993.

Bundvegetation

1994 var præget af omfattende reduktioner i udbredelsen af ålegræs og flerårige rød- og brunalger, som udgør de mest stabile bundvegetationssamfund i de danske kystområder. Reduktionerne skete i løbet af juli/august 1994 og er de mest markante, der er registreret siden vandmiljøplanens overvågningsprogram blev igangsat i 1989.

Reduktionerne sås bl.a. i Limfjorden, Randers Fjord, Vejle og Kolding fjorde og de Sønderjyske fjorde.

Årsagen til reduktionerne kendes ikke med sikkerhed men skal sandsynligvis søges i de ekstreme forhold, som optrådte i sommeren 1994:

- udbredte iltsvind med svovlbrinteudslip
- høje vandtemperaturer
- dårlige lysforhold pga. fytoplanktonopblomstringer og nedslag af blåmuslinger på vegetationen
- græsning på enkelte lokaliteter

Eutrofieringsbetingede alger

Eutrofieringsbetingede makroalger var ikke så dominerende i 1994, som det umiddelbart kunne antages på baggrund af de gode næringssaltforhold. Dækningsgraden af eutrofieringsbetingede alger var således påfaldende lav, f.eks. i Limfjorden. Det skyldes formentlig forringede lysforhold ved bunden som følge af store fytoplanktonforekomster.

9.4 Miljøtilstanden i kystnære marine områder

Kvælstofgradient

Der er en markant faldende koncentrationsgradient af kvælstof i vinterperioden fra de inderste dele af fjordene, gennem de kystnære marine farvande og ud i åbne områder. Mønsteret er tydeligt på trods af, at koncentrationerne i de kystnære farvande varierer meget i takt med ferskvandsafstrømningen op til prøvetagnings-tidspunktet.

Kvælstofkoncentrationer

Som det var tilfældet i fjordene, genfindes høje eller signifikant højere kvælstofkoncentrationer i de enkelte vinter- og forårsmåneder, i forhold til hvad der tidligere er registreret. Det gælder både i Vadehavet, langs den jyske vest- og østkyst samt rundt om øerne. Således blev der f.eks. målt nitratkoncentrationer 70% højere end 8 års medianen i overfladen og 100% højere end 8 års medianen i bundvandet i Århus Bugt i februar. For Nordsøens vedkommende skyldes kystvandets høje kvælstofindhold i februar og marts primært den jyske kyststrøms store indhold af nitratrigt flodvand fra de midteuropæiske oversvømmelser ved årsskiftet 1994/95.

Kvælstofudvikling

Ligesom for fjordene gælder det også i kystvandene, at der ikke er nogen entydig udvikling i kvælstofkoncentrationerne i den årrække overvågningen har fundet sted.

<i>Fosforudvikling</i>	Udviklingen for fosfor er gået anderledes. Vinter- og forårskoncentrationerne af fosfor ligger generelt lavt i alle danske farvande i 1994. Det er yderligere muligt at påvise signifikante fald i vinter- og/eller sommermiddelkoncentrationerne af totalfosfor og/eller fosfat i Vadehavet, den kystnære del af Nordsøen, det nordlige Kattegat, Århus bugt, Lillebæltsområdet, Øresund samt i Køge Bugt.
<i>Fytoplanktonopblomstringer</i>	De store mængder kvælstofnæringsalte gav også i de kystnære marine områder anledning til hyppigere og tidligere masseopblomstringer af alger end tidligere set. Opblomstringerne fandt sted på stort set alle undersøgte stationer og ofte med store biomasser. Også i kystnære marine områder dominerede kiselalger i forekomsterne hen over sommeren.
<i>Næringssaltbegrænsning</i>	Potentiel kvælstof begrænsning af fytoplanktonvækst har været af kortere varighed i 1994 i Hevring Bugt og Århus Bugt end i de tidligere år. Derimod har potentiel kvælstofbegrænsning været af længere varighed i Smålandsfarvandet og Øresund, hvilket kan tilskrives, at langvarige perioder med østenvind har bragt næringsfattigt Østersøvand ind i områderne.
<i>Toksiske alger</i>	Toksiske alger udgjorde i 1994 et problem i Lillebæltsområdet, hvor grænseværdierne for muslingefiskeri blev overskredet. Ellers var de observerede forekomster på niveau med forekomsterne i tidligere år.
<i>Iltsvind</i>	De store plankton biomasser og den stille varme sommer førte til, at der for første gang blev registreret iltsvind tæt på den jyske vestkyst i et område, der strakte sig fra syd for Hvide Sande til Torsminde. I Ålborg Bugt ud for Dokkedal, i Hevring Bugt, i Århus Bugt og Kalø Vig blev målt iltværdier på mellem 2 og 4 mg/l og en enkelt værdi på 1,6 mg/l lige ud for Århus. Det nordlige Lillebælt ned gennem snævringen til Gødborg Fjord blev for første gang registreret iltsvindsramt. I det sydlige Lillebælt var et meget stort område fra Assens og helt ned til Kiel Bugt, Lyø Krog og, som tidligere omtalt, de tilstødende fjorde alvorligt ramt af iltmangel. Også store områder nord for Fyn havde lave iltkoncentrationer. I det Sydfynske Øhav var meget store områder berørt af iltmangel - også på lave vanddybder. Der blev således konstateret svovlbrintefrigivelse over store områder helt op til 3 meters dybde. Området nord og syd for Sjællands Odde var ligeledes påvirket af iltsvind, der var særligt udtalt omkring Sejerø. Iltmangel kendetegnede i øvrigt alle bugterne langs Vestsjællands amts kyster i 1994. I de lagdelte farvande fortsatte iltsvindet gennem september trods perioder med blæsende vejr.
<i>Udvikling i bundfauna</i>	Faunaen i de lavvandede marine kystområder bliver sjældent alvorligt påvirket af dårlige iltforhold, idet iltsvindene ofte ikke er så

udtalte og sjældent er af længere varighed pga. den normalt manglende lagdeling i vandsøjlen. Dette var også tilfældet i kystvandene ud for Ribe amt, i Skagerrak, ud for Kattegats kyster, i Køge Bugt og i Smålandsfarvandet. Her var bundfaunaen artsrig frem til foråret 1994 og, hvor der foreligger data, også hen over sommeren og efteråret. Helt uden faunaeffekter blev sommerens usædvanlige meteorologiske og hydrografiske forhold ikke, idet iltsvindet ud for den jyske vestkyst afstedkom fiskedød i området.

Århus bugt og området ud for Fornæs er begge præget af større spildevandsledninger. Faunaen ud for Fornæs har været fulgt igennem en årrække i takt med reduktioner i belastningen, der ledes ud i området gennem en havledning. I dag må det konkluderes at svingninger i faunaforholdene i området, i mindre grad end tidligere antaget, kan tilskrives de belastningsmæssige forhold. I Århus Bugt forsvandt faunaen praktisk talt på større dybder under et kraftigt iltsvind i 1981. Siden har artssammensætningen og individtætheden på bundfaunastationerne båret præg af tilbagevendende iltsvind op gennem 1980'erne. Efter en kraftig reduktion i udledningerne blev situationen forbedret frem til sommeren 1994, hvor det længerevarende iltsvind medførte en vis faunaforringelse i den vestlige del af bugten.

I det nordlige Lillebælt er faunaen i fortsat udvikling siden 1991, også selv om området var udsat for lave iltkoncentrationer i sommeren 1994. I det sydlige Lillebælt forårsagede iltsvindt derimod en faunasammensætning og størrelse, der var stærkt reduceret til få forureningstolerante arter.

Det Sydfynske Øhav blev ligeledes hårdt ramt af iltsvindt, der medførte omfattende bundfauna død, efter fire år med fremgang.

I Storebæltområdet var det kun i områder omkring Sejerø, at der kunne registreres effekter på faunaen. Der observeredes et meget lavt antal arter og meget lave individtætheder og biomasser.

Ålegræsudvikling

Ålegræs forekommer knap så hyppigt langs de mere marint prægede kyster som i fjordene. De store forekomster i det sydfynske område var alle prægede af de alvorlige iltsvind med frigivelse af svovlbrinte til vandfasen. Også ålegræsbedene ved de fynske kyster i Lillebælt, Storebælt og Langelandssund var i tilbagegang, hvilket også blev observeret i den nordlige del af Køge Bugt, i Hevring Bugt samt ud for Als. Biomassen af havgræs var generelt reduceret i Vadehavet i forhold til 1993, hvorimod udviklingen for ålegræs ikke var entydig.

Ud for den jyske østkyst omkring Juelsminde, på Sjællands nordkyst, gennem Øresund, den sydlige del af Køge Bugt og videre ned ud for Møn, Falster og Lolland var ålegræssets tilstand uforandret.

Flerårige makroalger

I løbet af sommeren 1994 blev der observeret væsentlige reduktioner i udbredelsen af flerårige rød- og brunalger på flere lokaliteter i kystvandene omkring Fyn og Sønderjylland. Årsagerne er sandsyn-

ligvis en kombination af usædvanlig høje temperaturer, lysmangel, iltsvind og nedslag af blåmuslinger.

9.5 Miljøtilstanden i de åbne marine områder

Kvælstofkoncentrationer

I januar 1994 blev der registreret høje nitratkoncentrationer i Øresund, Århus Bugt og det Nordvestlige Kattegat. Denne udvikling fortsatte i februar, hvor overfladevandet i den østlige Nordsø havde mellem 50-100% forhøjet nitratkoncentration i forhold til perioden 1986-93. I tilgift fandtes høje nitrit og ammonium koncentrationer. I overfladevandet i Kattegat og det nordlige Bælthav var nitratkoncentrationen 40-70% over 8 års medianen, faldende gennem Bælthavet til blot 20% i Arkona Havet. Også bundvandet i de indre danske farvande havde forhøjede nitrat koncentrationer.

Fosforkoncentrationer

Vinterkoncentrationerne af fosfor i de åbne farvande adskilte sig ikke væsentligt fra forholdene i de mere lukkede områder.

Analyser af lange tidsserier i vinterkoncentrationerne af kvælstof viser ingen tegn på ændring. En smule bedre går det for fosfor, hvor der kan iagttages et signifikant fald i det nordlige Kattegat. Yderligere er der markante men ikke signifikante fald i Storebælt og i Fehmern Bælt.

Næringssaltbegrænsning

I de åbne lagdelte farvande er der, bedømt ud fra koncentrationer alene, mulighed for, at både kvælstof- og fosfornæringsalte kan have været potentielt begrænsende for primærproduktionen i sommerperioden. Det har dog aldrig været muligt eksperimentelt i Kattegat at påvise reel fosforbegrænsning, og det må antages, at kvælstofbegrænsning har domineret. I Kattegat kan silikatmangel have begrænset væksten af kiselalger.

Iltsvind

I juli begyndte iltsvind i de åbne farvande at gøre sig gældende i Fehmern Bælt og Arkona Havet. I de to følgende måneder udviklede iltsvindet sig kun langsomt i det Sydøstlige Kattegat, Bælthavet og Øresund, idet kraftig vind sørgede for større skiftende vandbevægelser igennem bælteerne samt en vis opblanding i vandsøjlen. Det kraftige iltsvind, der udviklede sig i Arkona Havet i august, forsvandt i september. Lavt iltindhold kunne måles frem til slutningen af november i Øresund, som var det område, der var længst påvirket.

Der foreligger ingen oplysninger om ilt-situationen i den åbne del af Nordsøen, bortset fra de kystfarvande der indgår i amternes monitoring, og som tidligere er omtalt.

Udvikling i bundfauna

Bundfaunaundersøgelserne i de åbne farvande foregår om foråret og er således ikke beskrivende for de eventuelle effekter af iltsvind i 1994. For Nordsøen viser resultaterne, at faunaen fortsat havde det godt efter den sidste iltsvindhændelse i 1986. I Skagerrak foregår ikke regelmæssig bundfauna monitoring, men forskningstogter viser en sammenhæng mellem *Amphiura filiformis* og afstrømning

fra land med 1-2 års forsinkelse samt en øget biomasse udvikling igennem 1970'erne og 1980'erne. En øget biomasse af bundfauna kan også registreres i det nordlige Kattegat. I det sydlige Kattegat er der tegn på, at bundfaunaen i nogle områder gik markant tilbage i 1988 i forbindelse med det omfattende iltsvind, men siden synes udviklingen at have været positiv. Faunaen i Arkona Havet har i snart 10-15 år været meget forarmet. I 1989 fandtes der overhovedet ingen dyr på overvågningslokaliteten, og i 1993 var der kun en sparsom fauna.

Makroalgeudvikling

Undersøgelser foretaget på stenrev i de åbne farvande i Kattegat og Samsø Bælt viste en markant øget dybdeudbredelse af algevegetationen i sensommeren på de fleste lokaliteter sammenlignet med tidligere år. Denne udvikling kunne ikke ses i begyndelsen af juni på de samme rev. Årsagen til de forbedrede vækstbetingelser for bundvegetationen i de åbne farvande er formodentlig en kombination af høj solindstråling og en lav planktonbiomasse i den øverste del af vandsøjlen, forårsaget af næringsmangel og udsynkning som følge af den 6 uger lange vindstille periode.

Eutrofieringsbetingede epifytter

En relativ stor forekomst af epifytiske alger blev konstateret på et vegetationstranssekt i Samsø Bælt i begyndelsen af juni, men var stort set væk igen august. 1-10% af bunden var i øvrigt dækket med svovlbakterier på transektet nordøst for Samsø i august fra 9 til 20 meters dybde.

Muslingenedslag

Alle stenrev i det åbne Kattegat og Samsø Bælt med vanddybder mellem 4 og 10 meter havde markante nedslag af blåmuslingeunge på vegetationen. Blåmuslingenedslag synes således at være et gennemgående træk på rigtig mange vegetationstranssekter i både fjorde og åbne og kystnære marine farvande i 1994.

9.6 Miljøtilstanden i relation til de økologiske målsætninger

Miljøvurderingerne er foretaget af de enkelte amter i kystvandene og af DMU i de åbne farvande i forhold til de opstillede økologiske kvalitetsmålsætninger for de enkelte farvandsområder.

Vurderingerne er ikke foretaget på baggrund af nogle objektive kriterier, men bygger alene på de enkelte myndigheders skøn. De forskelle i vurderinger, der optræder mellem de enkelte vandområder, er derfor ikke nødvendigvis et udtryk for reelle forskelle i miljøforholdene.

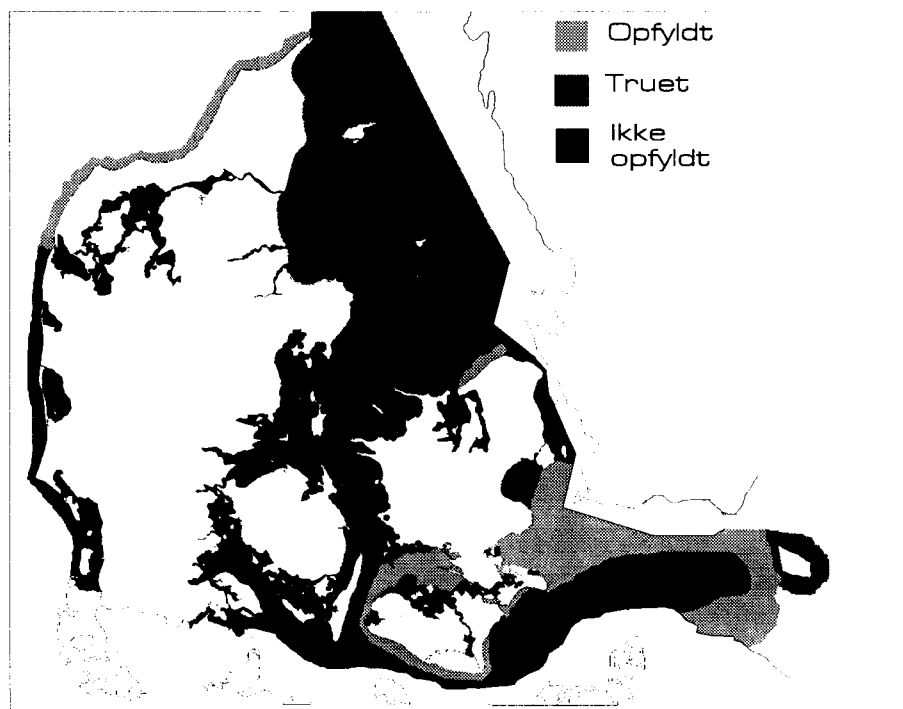
Økologiske kvalitetsmålsætninger

I de fleste farvande er den generelle målsætning gældende, hvilket forudsætter ingen eller kun svag påvirkning af dyre- og plantelivet i forhold til den naturlige tilstand, en god hygiejnisk vandkvalitet, gode lysforhold, gode iltforhold og lav eller ingen koncentration af giftige stoffer i vand, sediment og organismer.

I naturvidenskabelige referenceområder og interesseområder gælder en skærpet målsætning, som indebærer en særlig hensyntagen og bevågenhed med hensyn til disse områder, og i havne, ved kloakudløb og i lignende områder en lempet målsætning.

Figur 9.1 viser den samlede landsdækkende vurdering for alle væsentlige farvandsafsnit. Der er i figuren ikke taget hensyn til om de enkelte områder har den lempede, den generelle eller den skærpede målsætning, men alene om den givne målsætningen er opfyldt, truet stærkt truet eller ikke opfyldt.

Som det fremgår af figuren, er målsætningerne for de danske fjorde, de fleste kystvande og indre åbne farvande ikke opfyldt eller er truet. Årsagerne i fjord- og kystområderne er i forskellig grad periodiske iltsvind, store planktonbiomasser, store mængder epitytiske eller drivende trådalger, tilbagegang for ålegræs og flerårige makroalger, bundfaunadød eller bundfauna, hvis artssammensætning og individantal er påvirket, og endelig fiskedød eller -flugt i enkelte områder. I de åbne farvande er målsætningerne ikke opfyldt i det sydlige Kattegat, i Bælthavet og i Arkonahavet pga. iltsvindepisoderne og de deraf afledte effekter på bundfaunaen. I det nordlige Kattegat og Skagerrak er målsætningerne truede pga. perioder med relativt lavt iltindhold i vandet og øget bundfaunaproduktion, som følge af øget sedimentation af organisk stof til havbunden.



Figur 9.1 Landsdækkende vurdering af miljøforholdene i relation til de økologiske målsætninger i de kystnære områder af Nordsøen og de indre danske farvande.

10 Konklusion

Belastningen med næringssalte fra punktkilder er blevet kraftigt reduceret i takt med udbygningen af rensningsanlæg siden slutningen af 1980'erne.

Den øvrige belastning af næringssalte fra land, der primært foregår ved diffus udvaskning fra landarealer, og her i særlig grad dyrkede arealer, er meget afhængig af ferskvandsafstrømningen. Tager man højde for variationen i afstrømningen, er den del af belastningen stort set uændret.

For kvælstof er punktkildebelastningen af lille betydning på landsplan og kun lokalt og fortrinsvis nær kilder, har man set en effekt i form af faldende kvælstofkoncentrationer i havvandet.

For fosfor er udledningerne fra punktkilder dominerende, og den samlede belastning fra danske landbaserede kilder var i 1993 omtrent halveret sammenlignet med slutningen af 80'erne. I takt med faldet i punktkildernes udledning har den afstrømningsrelaterede fosforbelastning fra landbrugsarealer imidlertid fået stigende betydning.

De meteorologiske og hydrografiske forhold var meget ugunstige for miljøet i 1994. Nedbørsrekorder i vinter- og forårsmånederne over hele Danmark førte til meget store afstrømningsrelaterede kvælstofbelastninger til de danske farvande. Også den ferskvandsrelaterede fosforbelastning steg markant. De omfattende oversvømmelsesepisoder i Tyskland, Holland og Frankrig omkring årsskiftet 1993/94 havde tilsvarende effekt på belastningen af Nordsøen. Ekstremt mange solskinstimer og stille vejr i juli og i første halvdel i august førte til rekord varmt vand i mange kystområder og i nogle områder til unormale lagdelinger i vandmasserne.

De store mængder næringssalte og den varme, solrige og vindstille sommer medførte mange steder rekord store algebiomasser. I fjordene, de kystnære områder og i den vestlige Østersø og Arkona Havet opstod omfattende iltvindsproblemer, der var sammenlignelige med den sidste alvorlige hændelse i 1988. Situationen i Kattegat blev ikke så alvorlig på grund af dynamiske hydrografiske forhold i sensommeren og efteråret forårsaget af perioder med kraftig vind.

Bundvegetationen i kystområderne gik drastisk tilbage mange steder i 1994 og tilsvarende tyder de foreløbige rapporter på omfattende bundfaunadød og effekter på fisk i en del fjorde og marine kystnære områder.

De senere års forbedrede miljøforhold i kystområderne blev i 1994 vendt til et alvorligt tilbageslag. Tilstanden i de danske farvande i 1994 viser med al tydelighed, at det er nødvendigt at tage initiativer, der kan minimere primært kvælstofudvaskningen for at opnå et godt vandmiljø.

11 Referencer

Agger, C.T., Kaas H., Knipschildt, F., Brodersen, K., Dahl, K., Rasmussen, B., Nørrevang Jensen, J., Krause-Jensen, D. & Bondo Christensen, P. (1994): Marine områder - Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 117.

Andersin, A.-B., Cederwall, H., Gosselck, F., Jensen, J.N., Josefson, A.B., Lagzdins, G., Rumohr, H. & Warzocha, J. (1990): Zoobenthos. In: Anonymous Second Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea, 1984-1988; Background Document. Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission, Helsinki, p. 211-275

Berg, J. & Radach, G. (1985): Trend in nutrient and phytoplankton concentrations at Helgoland Reede (German Bight) since 1962. ICES C.M.1985/L:2/Sess. R: 1-16.

Beukema, J.J. (1991): Changes in composition of bottom fauna of a tidal-flat area during a period of eutrophication. Mar. Biol. 111: 293-301.

Beukema, J.J. (1991): The abundance of shore crabs *Carcinus maenas* (L.) on a tidal flat in the Wadden Sea after cold and mild winters. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 153: 97-113.

Buchanan, J.B. (1993): Evidence of benthic pelagic coupling at a station off the Northumberland coast. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 172: 1-10.

Danmarks Meteorologiske Institut (1994): DK-Vejr. Månedsbetretning fra Danmarks Meteorologiske Institut.

DMU-FEVØ (in prep.): Ferske vandområder – Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. ???.

Fallesen, G. (1992): How sewage discharge, terrestrial run-off and oxygen deficiencies affect the bottom fauna i Århus Bay, Denmark. In: Colombo, G., Ferrari, I., Ceccherelli, V.U., et al Marine Eutrophication and population dynamics. 25th EMBS.. Olsen & Olsen, Fredensborg, p. 29-33.

Goodman, L.J., Moore, K.A. & Dennison, W.C. (1995): Photosynthetic responses of eelgrass (*Zostera marina* L.) to light and sediment sulfide in a shallow barrier island lagoon. Aquat. Bot. 50(1): 37-47.

Hylleberg, J. (1992): Ændringer i Limfjordens dyreliv i historisk tid. 4. Limfjordsprojektet.

- Jacobsen, T.S. (1980):* Sea Water Exchange of the Baltic. Measurements and Methods. The National Agency of Environmental Protection, Denmark, 106 pp.
- Jacobsen, T.S. (1993):* Blandingsenergi fra strøm og vind i Storebælt - Havforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 31, Miljøstyrelsen, 49 pp.
- Josefson, A.B. (1990):* Increase of benthic biomass in the Skagerrak-Kattegat during the 1970s and 1980s -effects of organic enrichment? Mar. Ecol. Prog. Ser. 66: 117-130.
- Josefson, A.B. & Jensen, J.N. (1992):* Growth patterns of *Amphiura filiformis* support the hypothesis of organic enrichment in the Skagerrak-Kattegat area. Mar. Biol. 112: 615-624.
- Josefson, A.B. & Jensen, J.N. (1992):* Effects of hypoxia on soft-sediment macrobenthos in southern Kattegat, Denmark. Olsen & Olsen. pp. 21-28. Fredensborg, Denmark.
- Josefson, A.B., Jensen, J.N. & Ærtebjerg, G. (1993):* The benthos community structure anomaly in the late 1970s and early 1980s - a result of a major food pulse. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 172: 31-45.
- Jürgensen, C. (1995):* Modelling of nutrient release from the sediment in a tidal inlet, Kertinge Nor, Funen, Denmark. *Ophelia* 42:163-178.
- Krause-Jensen, D., Christensen, P.B. & Sandbeck, P. (1995):* Retningslinier for marin overvågning - Bundvegetation. Teknisk anvisning fra DMU, nr. 9.
- Kröncke, I. (1992):* Macrofauna standing stock of the Dogger Bank. A comparison: III. 1950-54 versus 1985-87. A final summary. *Helgoländer Meeresunters.* 46: 137-169.
- Kröncke, I. & Rachor, E. (1992):* Macrofauna investigations along a transect from inner German Bight towards the Dogger Bank. Mar. Ecol. Prog. Ser. 91: 269-276.
- Larsen, S.E., Erfurt, J., Græsbøll, P., Kronvang, B., Mortensen, E., Nielsen, C.A., Ovesen, N.B., Paludan, C., Rebsdorf, Aa., Svendsen, L.M., Nyegaard, P. (1995):* Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994, Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 140.
- Lüning, K. (1990):* Seaweeds - their environment, Biogeography, and Ecophysiology. John Wiley & Sons.
- Madsen, H. (1989):* Tidsrækkeanalyse. Institutet for Matematisk Statistik og Operationsanalyse, DTH, Lyngby.
- Miljøstyrelsen (1989):* Miljøprojekt nr. 115.

- Miljøstyrelsen (1993): Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993-1997. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 2 1993.*
- Miljøstyrelsen (1994): Vandmiljø-94. Redegørelse fra Miljøstyrelsen Nr. 2 1994.*
- Nierman, U., Bauerfeind, E., Hickel, W. & Westernhagen, H.V. (1990): The recovery of benthos following the impact of low oxygen content in the German Bight. Neth. J. Sea Res. 25: 215-226.*
- Paasche, E. & Erga, S.R. (1988): Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton in the inner Oslo Fjord (Norway). Sarcia 73: 229-243.*
- Pearson, T.H., Josefson, A.B. & Rosenberg, R. (1985): Petersen's benthic stations revisited I. Is the Kattegat becoming eutrophic? J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 92: 157-206.*
- Petersen, C.G.J. (1913): Havets Bonitering II. Om havbundens dyresamfund og om disses betydning for den marine zoogeografi. Beretn. Minist. Landbr. Fisk. Dan. Biol. Stn. 21: 1-42.*
- Petersen, E.L., Troen, I., Frandsen, S. & Hedegraard, K. (1981): Danish Windatlas. A Rational Method of Energy Siting. Danish Meteorological Institute, Copenhagen, 229 pp.*
- Rachor, E. (1990): Changes in sublittoral zoobenthos in the German Bight with regard to eutrophication. Neth. J. Sea Res. 25: 209-214.*
- Radach, G. & Bohle-Carbonell, M. (1990): Strukturuntersuchungen der Meteorologischen, Hydrographischen, Nährstoff- und Phytoplankton Langzeitreihen in der Deutschen Bucht bei Helgoland. Ber. Biol. Anst. Helgoland 7: 1-127.*
- Skov, H. et al. (1995): Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 144.*
- Varming S. (1987): Lantidsvariationer i Limfjordens bundfauna. Nissum og Livø Bredninger 1918-52. Thesis/Dissertation. University of Aarhus, Denmark.*
- Ærtebjerg, G., Sandbeck, P., Agger, C.T., Rasmussen, B., Kaas, H., Jensen, J.N., Krause-Jensen, D. & Christensen, P.B. (1993): Marine områder – Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1992. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 89.*

BILAG 1

Oversigt over rapporter fra amtskommunerne og Københavns Kommune

<i>Bornholms Amt</i>	Vandmiljøovervågning Kystvande 1994
<i>Frederiksborg Amt</i>	Vandmiljøovervågning Kattegat 1994 Tilstand og udvikling
<i>Fyns Amt</i>	Vandmiljøovervågning Kystvande 1994 + bilag
<i>Nordjyllands Amt</i>	Vandmiljøovervågning Hav og fjord 1994
<i>Ribe Amt</i>	Vandmiljøovervågning Marine områder
<i>Ringkøbing Amt</i>	Vandmiljøovervågning Ringkøbing og Nissum Fjorde, Vesterhavet 1994
<i>Storstrøms Amt</i>	Rapportering af vandmiljødata
<i>Sønderjyllands Amt</i>	Vandmiljøovervågning 1994 Kystvande
<i>Vejle Amt</i>	Overvågning af kystvande 1994
<i>Vestsjællands Amt</i>	Overvågning af kystvande 1994
<i>Viborg Amt</i>	Vandmiljøovervågning Vesterhavet ved Hanstholm 1994
<i>Århus Amt</i>	Århus Bug og Kalø Vig 1994 + bilag; Randers Fjord 1994 + bilag; Hevring Bugt 1994 + bilag; Fornæs 1994
<i>Fællesrapporter</i>	
<i>Frederiksborg Amt og Roskilde Amt</i>	Kystnære Farvande Roskilde Fjord 1994

<i>Frederiksborg Amt, Roskilde Amt og Vestsjællands Amt</i>	Overvågning af Isefjord 1994 + bilag
<i>Københavns Kommune, Frederiksborg Amt og Københavns Amt</i>	Overvågning af Øresund, 1994
<i>Lillebæltssamarbejdet Fyns Amt, Sønderjyllands Amt og Vejle Amt</i>	Lillebælt 1994
<i>Limfjordsovervågningen Ringkjøbing Amt, Viborg Amt og Nordjyllands Amt</i>	Vandmiljø i Limfjorden 1994
<i>Roskilde Amt og Københavns Amt</i>	Overvågning af Køge Bugt, 1994

BILAG 2

Den statistiske metode bag tabellerne

4.4, 4.6, 4.10 og 6.1

Indledning

Lad Y betegne den variabel, der undersøges, dvs. afstrømningskorrigeret vintermiddelkoncentration for tabellerne 4.4, 4.6 og 4.10 og sommermiddeliltkoncentration i bundvandet for tabel 6.1.

Vi ønsker en statistisk vurdering af, om Y har ændret sig siden Vandmiljøplanens vedtagelse i 1987.

Værdien af Y i et enkelt år er selvfølgelig påvirket af en mængde faktorer, som vi mennesker ikke har indflydelse på, nemlig de hydrografiske og meteorologiske forhold i det pågældende år og i en vis udstrækning også i de foregående år. For at mindske indflydelsen af sådan "tilfældig" variation fra år til år bruger vi gennemsnittet af Y i årene 1983-1987 som mål for tilstanden, som den var, da Vandmiljøplanen blev vedtaget. Dette gennemsnit betegnes $Y_{1983-87}$ i det følgende. Usikkerheden på $Y_{1983-87}$ vurderes ved hjælp af standardafvigelsen s af Y i årene 1983-1987, som er et mål for år-til-år-variationen i den periode.

Tests

I tabellerne er vist resultaterne af to tests: I, om Y for 1994 (betegnes Y_{1994}) afviger fra $Y_{1983-87}$, og II, om middelværdien af Y i 1992-1994 (betegnes $Y_{1992-94}$) afviger fra $Y_{1983-87}$.

Nulhypoteser

$$\text{Test I: } Y_{1994} = Y_{1983-87}$$

$$\text{Test II: } Y_{1992-94} = Y_{1983-87}$$

Alternative hypoteser

For næringssalte (tabellerne 4.4, 4.6 og 4.10):

$$\text{Test I: } Y_{1994} < Y_{1983-87}$$

$$\text{Test II: } Y_{1992-94} < Y_{1983-87}$$

For ilt (tabel 6.1):

$$\text{Test I: } Y_{1994} > Y_{1983-87}$$

$$\text{Test II: } Y_{1992-94} > Y_{1983-87}$$

Bemærk, at testene er énsidige.

Beregning af sandsynlighed

Lad n være antallet af år med resultater i perioden 1983-87 (dvs. n er 4 eller 5). Antallet af frihedsgrader for den tilhørende standardafvigelse s er da $v = n-1$ (dvs. v er 3 eller 4).

Middelværdien betegnes $Y_{1983-87}$, jf. ovenfor.

Middelværdien og standardafvigelsen antages at være uændret i de senere år, og så findes sandsynlighederne svarende til ovenstående tests ud fra følgende t-værdier:

For næringsalte (tabellerne 4.4, 4.6 og 4.10):

Test I:

$$t_v = \frac{Y_{1983-87} - Y_{1994}}{s \sqrt{\frac{1}{n} + 1}}$$

Test II:

$$t_v = \frac{Y_{1983-87} - Y_{1992-94}}{s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{3}}}$$

For ilt (tabel 6.1):

Test I:

$$t_v = \frac{Y_{1994} - Y_{1983-87}}{s \sqrt{\frac{1}{n} + 1}}$$

Test II:

$$t_v = \frac{Y_{1992-94} - Y_{1983-87}}{s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{3}}}$$

Testene er énsidige, og kun positive t-værdier er signifikante.

Forskellen fra et almindeligt t-test er, at variationen i årene 1992-94 ikke benyttes ved beregningen af s. Det er, fordi man, hvis der er en ændring af niveauet siden 1987, kan forvente en ændret variation også.

Fortolkning

P-værdien svarende til den beregnede t_v -værdi er lig med sandsynligheden for at få den observerede Y_{1994} (henholdsvis $Y_{1992-94}$) eller én, der er længere væk fra $Y_{1983-87}$, under den antagelse, at nulhypotesen er sand (og forudsætningerne holder, jf. nedenfor).

Mere uformelt udtrykt så betyder f.eks. $P_{1992-94}=0,16$ i tabel 4.4, at der er 16% chance for at få den observerede værdi af $Y_{1992-94}$ af tilfældige årsager. Det er langt fra ensbetydende med, at det *er* tilfældigt, men man har ikke statistisk belæg for at konkludere, at der er sket en udvikling, med mindre P er lille (dvs. omkring 0,05 eller mindre).

Konklusion: Hvis P er omkring 0,05 eller mindre, er der ifølge den statistiske analyse sket en udvikling siden Vandmiljøplanens vedtagelse; hvis P er større, antager vi, at de seneste års værdier blot er tilfældige udsving i forhold til niveauet i 1987.

Forudsætninger

Det antages specifikt, at de årlige udsving i Y-værdien er normalfordelte og uafhængige.

Kravet om uafhængighed er det vigtigste i denne forbindelse. Det betyder, at der ikke må være svingninger af flere års varighed. Det *kan* der godt være i denne type data, fordi vejret har det med at variere i en flerårig cyklus. Hvis data ikke er uafhængige, risikerer man at få et tilfældigt udsving til at være signifikant i den statistiske analyse. Problemet vurderes imidlertid til at være lille i forbindelse med analyserne i denne rapport, fordi der ikke er generelle tendenser til flerårige svingninger på figurerne 4.6, 4.7, 4.9 og 6.4.

Endvidere er det en forudsætning, at de hydrografiske og meteorologiske betingelser (bortset fra ferskvandsafstrømningen i forbindelse med næringssaltkoncentrationerne) har været ens i 1983-87 og i 1990'erne. Det er et større problem, fordi sjældne hændelser (f.eks. en større ind- eller udstrømning) let påvirker gennemsnitene, når de baseres på kun henholdsvis fem og tre års observationer, og dermed let kan give signifikante testresultater. Hvor man kender til sådanne hændelser, skal de inddrages i vurderingen af de statistiske analysers resultater.

Bilag 3

Landbelastning 1994

Månedstilførsel af kvælstof til marine kystafsnit i ton

Farvandsområde	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	I alt
Nordsøen	4639	2479	4440	2438	1379	905	590	803	2167	1707	2661	3557	27764
Skagerrak	809	224	499	238	98	86	65	92	501	276	319	416	3622
Kattegat	9300	5323	7747	4019	1879	1648	1041	1180	444	2482	3196	4416	42675
Nordlige Bælt.	2790	1159	2187	855	270	172	110	127	738	294	794	1311	10808
Lillebælt	2821	1259	2315	994	398	270	203	249	899	526	1200	1715	12850
Storebælt	4191	2339	3373	1867	573	269	145	115	921	423	967	2198	17380
Øresund	1267	770	1082	660	442	408	387	398	486	416	543	853	7712
Sydlige Bælthav	261	97	216	84	23	15	9	9	47	19	67	206	1053
Østersøen	1137	416	934	356	94	57	32	31	201	77	284	889	4506
Total	27215	14066	22792	11510	5156	3830	2582	3004	6403	6220	10030	15560	128369

Månedstilførsel af fosfor til marine kystafsnit i ton

Farvandsområde	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	I alt
Nordsøen	108	66	125	60	34	23	17	22	59	48	75	90	726
Skagerrak	36	14	25	14	10	9	8	10	25	15	17	22	204
Kattegat	163	117	193	112	73	59	51	63	117	85	97	114	1247
Nordlige Bælt.	57	28	59	25	15	15	11	13	30	12	21	28	313
Lillebælt	62	30	60	26	20	18	15	17	44	23	33	40	388
Storebælt	73	44	67	34	19	17	14	15	64	27	34	55	463
Øresund	92	86	96	87	81	78	76	78	85	77	78	83	995
Sydlige Bælthav	4	2	4	2	1	1	1	1	2	1	2	3	24
Østersøen	24	10	21	9	7	7	6	6	12	6	9	15	132
Total	619	397	649	368	259	227	199	225	438	293	368	449	4492

Sammenfatning af Danmarks Miljøundersøgelses nationale rapporter vedrørende resultaterne af Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994

Tilførsel af fosfor og kvælstof til vandmiljøet

Stor ferskvandsafstrømning og næringsstofbelastning i 1994

I 1994 blev der målt den største ferskvandsafstrømning fra danske landområder til indre danske farvande i mere end 50 år. Afstrømningen var ekstrem stor i januar, marts og september, og også den samlede vinterafstrømning fra december 1993 til maj 1994 var rekord stor. Den store afstrømning medførte en stor næringsstofbelastning af de marine områder.

Markant fald i fosfortilførslen til de marine kystafsnit fra midten af 1980'erne til 1994

De landbaserede danske tilførsler af fosfor til de marine kystafsnit med vandløb og direkte spildevandsudledninger er faldet markant. I midten af 1980'erne var tilførslerne ca. 8.200 tons, i 1989 ca. 6.800 tons fosfor og i 1994 4.490 tons. Faldet kan alene tilskrives en bedre rensning af spildevandet.

Indikationer på en stigende fosfortilførsel til vandområderne fra det åbne land

Fosfortilførslen fra naturarealer og dyrkede arealer (eksklusiv tilførsel fra spredt bebyggelse) var i middel for perioden 1989-94 på 1.150 tons mod 800 tons i 1980'erne. En meget høj fosforafstrømning fra det åbne land i 1994 kan blandt andet tilskrives den rekordhøje ferskvandsafstrømning, der har givet stor stoftransport i vandløbene, men der er også indikationer for, at fosforafstrømningen fra det åbne land generelt er blevet større.

Søer kan både tilbageholde og frigive fosfor

En del af det fosfor, der udledes til vandløbene, når ikke frem til de kystnære områder, men tilbageholdes bl.a. på bunden af søerne. Fosfortilbageholdelsen i søer varierer dog meget og i ganske mange søer frigives der i disse år fosfor fra en ophobet pulje fra tidligere tiders spildevandstilførsler.

Kvælstoftilførsel til marine kystafsnit var i det våde år 1994 den højest målte siden 1989

Kvælstoftransporten i vandløb er stærkt relateret til vandafstrømningen det enkelte år. I nedbørsrige år er der en større kvælstoftransport i vandløb og dermed en større tilførsel til fjorde og marine områder. Den samlede landbaserede kvælstoftilførsel til fjorde og kystnære områder var i 1994 på ca. 128.000 tons og den højest målte siden 1989.

Korrigeret for forskelle i vandafstrømning var kvælstoftransporten i vandløb i 1984/95 den laveste efter Vandmiljøplanens vedtagelse

Hovedparten af kvælstoftilførslen til vandløb kan tilskrives dyrkningsbetingede tab. Den afstrømningskorrigerede nitrattransport i 1994/95 var den laveste efter Vandmiljøplanens vedtagelse. Det kan imidlertid ikke på baggrund af resultatet fra et enkelt meget nedbørsrigt år med sikkerhed konkluderes, at kvælstofbelastningen af de danske vandløb generelt er mindsket.

Kvælstofdepositionen på de marine områder er en betydningsfuld kilde

De marine områder tilføres også næringsstoffer ved atmosfærisk deposition. På baggrund af målinger og modelberegninger er kvælstofdepositionen til de danske indre farvande (37.500 km²) beregnet til 40.600 tons i 1994. Hovedparten af kvælstofdepositionen kommer fra udenlandske kilder.

Vandløb og kilder

Kilder i dyrkede områder har 10 gange højere nitratindhold end kilder i naturområder

Vandkvaliteten i kilder, der overvejende ligger i naturområder og i dyrkede områder er forskellig. Således er nitratindholdet i kildevandet i dyrkede områder i gennemsnit en faktor 10 større end i kilder, der ligger i naturområder. Der er i knap halvdelen af kilderne i naturområder og i en tredjedel af kilderne i dyrkede områder påvist en stigning i nitratindholdet i perioden siden 1989. Der er påvist en øget forurening i enkelte kilder i Ribe og Århus amt. Det er således tydeligt, at de danske kilders vandkvalitet i naturområder er påvirket af atmosfærisk deposition (sur nedbør) og arealanvendelse.

Vandløb/ i dyrkede områder har et 4 gange højere kvælstofindhold end vandløb i naturområder

Vandløb, der dræner dyrkede oplande, har ca. 4 gange højere kvælstofkoncentrationer end vandløb i naturområder. I ingen oplandstype er der signifikante tendenser i udviklingen i vandføringsvægtede kvælstofkoncentrationer i perioden 1989-1994.

Mindre udvaskninger af kvælstof fra rodzonen fra planteavlbrug end fra husdyrbrug

I 6 intensivt undersøgte, dyrkede oplande udgjorde udvaskningen af kvælstof fra rodzonen i gennemsnit 75 kg N ha⁻¹ år⁻¹ for lerjordsoplandene og 137 kg N ha⁻¹ år⁻¹ for sandjordsoplandene. Mindst var udvaskningen fra planteavlbrugene, og for husdyrbrugene steg udvaskningen med stigende husdyrtæthed.

Modelberegninger af kvælstofudvaskning fra rodzonen ved "normalt" klima viser en reduktion på 14% fra 1989/90 til 1993/94

Kvælstofudvaskningen fra rodzonen er yderligere beregnet med en empirisk model. Modellen vurderes at afspejle de relative forskelle mellem ler- og sandjorde samt forskelle i landbrugspraksis. En beregning for alle markerne i oplandene for 5 driftsår og ved normal klima viste en reduktion af udvaskningen på ca. 14% fra 1989/90 til 1993/94. Den mindskede modelberegnete udvaskning fra rodzonen har dog ikke med sikkerhed kunnet spores i en mindsket kvælstoftransport i vandløbene.

Klare forbedringer i landbrugspraksis, men stadig overgødskning på ca. 30% af arealet

Landbrugspraksis i de 6 oplande viste klare forbedringer. I 1994 udgjorde grønne marker 81% af det dyrkede areal, og ca. 65% af husdyrbrugene havde en opbevaringskapacitet til husdyrgødningen på 9 måneder eller derover. Forårs/sommerudbringningen er steget fra 54% i 1990 til 80% i 1994. Fra 1990 til 1994 blev handelsgødningforbruget reduceret, således at udnyttelsen af husdyrgødningen steg fra 15% udnyttelse til 30% udnyttelse. Husdyrgødningen fordeltes bedre i 1994 end tidligere, men der blev dog stadig overgødsket på ca. 30% af arealet.

Fald i kvælstofforbruget på de dyrkede arealer

På landsplan er den samlede tilførsel af handelsgødning faldet fra 392 mio. kg N i 1985 til 320 mio. kg N i 1994. Tilførsel af husdyrgødning var omtrent uændret i perioden. Derved er det samlede kvælstofinput til de dyrkede arealer faldet fra 745 mio. kg N i 1985 til 660 mio. kg N i 1994. I samme periode faldt afgrødernes kvælstofbehov med 31 mio. kg N, hvorved den reelle nedgang i tildelt kvælstof, set i forhold til afgrødernes behov, er 62 mio. kg N svarende til 7 %. Der er altså sket forbedringer i gødningsanvendelsen, men forbedringerne er små i forhold til den samlede kvælstofcirkulation i dyrkningssystemet.

Modelberegninger viser en 20% reduktion af kvælstofudvaskningen fra rodzonen hvis kravene i Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug opfyldes

I et scenarie, hvor kravene i Handlingsplanen for Bæredygtigt Landbrug vedr. udnyttelsesgrader er opfyldt og hvor husdyrgødningen inden for de enkelte ejendomme er fordelt optimalt, viser en modelberegning en gennemsnitlig reduktion i udvaskningen på 20% i forhold til udvaskningen ved aktuel gødningspraksis i 1994. Vand-miljøplanens reduktionsmål for kvælstofudledning på 50% vil således næppe kunne opnås med de iværksatte initiativer.

Vandføringsvægtet fosforkoncentration er mere end halveret fra 1989-94 i vandløb, der belastes med spildevand

De laveste fosforkoncentrationer findes i vandløb i naturoplande og de højeste i spildevandsbelastede vandløb. I vandløb, der modtager spildevand fra punktkilder, er den vandføringsvægtede koncentration af total fosfor mere end halveret fra 1989 til 1994 fordi spildevandet nu renses bedre. I dambrugsbelastede vandløb er den vandføringsvægtede koncentration af total fosfor ligeledes faldet i overvågningsperioden 1989-1994.

Fosfortabet fra landbrugsarealer har været undervurderet

En ny prøvetagningsstrategi har vist, at fosfortransporten i små vandløb generelt har været undervurderet. Dette indebærer bl.a., at fosfortilførslen fra landbrugsarealer hidtil har været undervurderet.

41% af 215 overvågningsvandløb blev i 1994 bedømt til at have faunaklasse I, I-II og II

I 1994 blev der foretaget biologiske vandløbsbedømmelser efter Dansk Fauna Indeks på 215 overvågningsstationer i foråret og på 193 i efteråret. Faunaklasse I, I-II og II blev fundet i 41% af alle bedømmelser, 49% havde Faunaklasse II-III, og 10% af bedømmelserne havde klasse III eller værre. Miljøtilstanden er bedst i de vandløb, der afvander naturarealer, mens der ikke er større forskel på tilstanden i vandløb, der afvander landbrugsoplande og spildevandsbelastede oplande.

Trådalger forekom i stor mængde på 30% af de undersøgte vandløbsstationer i 1994

Trådalgeforekomsten på ca. 100 overvågningsstationer er blevet undersøgt i 1994. Undersøgelserne har vist, at på 30% af stationerne opnåede algerne en maksimal dækningsgrad på mere end 80%. Analyserne af de indsamlede trådalgedata viste også, at dækningsgraden af trådalger var størst i vandløb med stenbund og i vandløb med høje koncentrationer af fosfor.

Søer

Fosforkoncentrationen er faldet fra 1989-94 i knap halvdelen af de 37 overvågningssøer

I 16 af de undersøgte 37 søer kan der nu konstateres et signifikant fald i fosforkoncentrationerne i søvandet siden 1989, primært fordi spildevandstilførslerne til disse søer er nedbragt. I dag er tilførslerne af fosfor og kvælstof fra det åbne land generelt den mest betydende enkeltkilde.

Faldet er overvejende sket i de i forvejen mest fosforbelastede søer

Faldet i fosforkoncentrationer er overvejende sket i de mest forurenede søer, og har ikke været stort nok til markant at mindske mængden af algeplankton i søerne og dermed øge vandets klarhed.

Den biologiske struktur i søer har også betydning for mængden af alger og vandets klarhed

Mængden af algeplankton og vandets klarhed styres dog ikke alene af næringsstofferne, men er også reguleret af den biologiske struktur i søerne. Specielt i lavvandede næringsrige søer spiller fiskebestandens størrelse og sammensætning en betydelig indirekte rolle for sammensætningen og mængden af algeplankton i søerne og dermed for vandets klarhed.

Biomanipulation i form af indgreb i fiskebestanden i søer har positiv effekt på mængden af algeplankton og vandets klarhed

Indgreb i fiskebestandens sammensætning (biomanipulation) er derfor i en del søer en åbenlys mulighed for at forbedre søernes miljøtilstand. I to af overvågningssøerne er fiskebestanden ændret markant siden 1989. I Arreskov sø som følge af fiskedød og i Engelsholm sø ved biomanipulation. I begge søer resulterede ændringerne i fiskebestanden også i markante ændringer i dyreplankton, højere sigtddybde og lavere koncentrationer af kvælstof og fosfor.

De marine områder

Høje koncentrationer af næringssalte i fjorde, kystnære og åbne havområder i 1994

Den store samlede belastning med næringssalte i 1994 medførte både i fjorde, kystnære og åbne havområder højere kvælstof- og fosforkoncentrationer i vinter og forårsmånederne end i tidligere år. Det er ikke muligt at påvise nogen generelle ændringer i vinter- og sommermiddelkoncentrationerne af kvælstof siden 1980'erne. Der er derimod påvist et signifikant fald i fosforkoncentrationerne i de fleste fjorde og kystnære områder siden slutningen af 1980'erne. Det skyldes, at fosforbelastningen er nedbragt betydeligt som følge af bedre spildevandsrensning.

Masseforekomster af plankton i næsten alle fjorde og kystvande i 1994

De store mængder næringssalte, der blev tilført de danske farvande i 1994 i kombination med en længere periode med usædvanlig stor solindstråling og høje sommertemperaturer førte til masseforekomster af plankton i næsten alle fjorde og kystvande. I mange fjordområder blev der registreret de hidtil største mængder af planteplankton siden overvågningen blev iværksat.

Værste iltsvindsproblemer i 1994 siden 1988 pga. store mængder planteplankton, rekordvarmt vand og lange vindstille perioder

I de fleste danske fjordområder gav de store mængder af planteplankton, i kombination med det rekordvarme vand og en lang vindstille periode i juli og august med stærk lagdeling af vandmasserne anledning til de værste iltsvindsproblemer siden 1988. Også mange kystnære marine områder blev ramt af iltsvind. Specielt i Bælthavet, forekom der nogle alvorlige iltsvind med iltfrie forhold og svovlbrintefrigivelse fra bunden. I de åbne farvande blev specielt Arkonahavet påvirket af alvorligt iltsvind, hvorimod megen blæst i Kattegat i sensommeren og i efteråret, fik blandet vandmasserne før der opstod kritiske forhold.

Siden de omfattende iltsvind i 1988 kunne der generelt spores en fortsat fremgang for bundfaunaen frem til foråret 1994. Konsekvenserne af de omfattende iltsvind i sommeren 1994 er foreløbig dokumenteret fra en række farvandsområder. I Limfjorden og det Sydfynske Øhav blev der således registreret omfattende bundfaunadød. I Roskilde Fjord og Isefjord blev der konstateret døde blåmuslinger og effekter på fiskebestandene og ud for den jyske vestkyst var der tegn på fiskedød.

Omfattende reduktioner i udbredelsen af ålegræs og flerårige rød- og brunalger i 1994

I mange fjorde og kystnære områder konstateredes i 1994 omfattende reduktioner i udbredelsen af ålegræs og af flerårige rød- og brunalger. Det generelle indtryk er, at der er tale om den mest omfattende tilbagegang siden 1989. Det formodes, at ekstreme forhold med iltsvind, svovlbrinteudslip, høje vandtemperaturer, nedslag af muslinger og dårlige lysforhold, er de primære årsager.

I de åbne farvande havde algevegetationen på havbunden derimod forbedrede vækstforhold hen over sommeren 1994. Årsagen er formodentlig den store solindstråling kombineret med en lav planktonmængde i de øvre vandlag forårsaget af næringsmangel og ud-synkning af alger på grund af en lang vindstille periode.

Tilbageslag for miljøforholdene i kystområderne i 1994

De senere års forbedrede miljøforhold i kystområderne blev således i 1994 vendt til et alvorligt tilbageslag. Tilstanden i de danske farvande i 1994 viser med al tydelighed nødvendigheden af at reducere primært kvælstofudvaskningen.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser *Direktion og Sekretariat*
Postboks 358 *Forsknings- og Udviklingssekretariat*
Frederiksborgvej 399 *Afd. for Atmosfærisk Miljø*
4000 Roskilde *Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*
Afd. for Miljøkemi
Tlf. 46 30 12 00 *Afd. for Systemanalyse*
Fax 46 30 11 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Ferskvandsøkologi*
Postboks 314 *Afd. for Terrestrisk Økologi*
Vejløvej 25
8600 Silkeborg

Tlf. 89 20 14 00
Fax 89 20 14 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Flora- og Faunaøkologi*
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde

Tlf. 89 20 14 00
Fax 89 20 15 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Arktisk Miljø*
Tagensvej 135, 4.
2200 København N

Tlf. 35 82 14 15
Fax 35 82 14 20

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.

