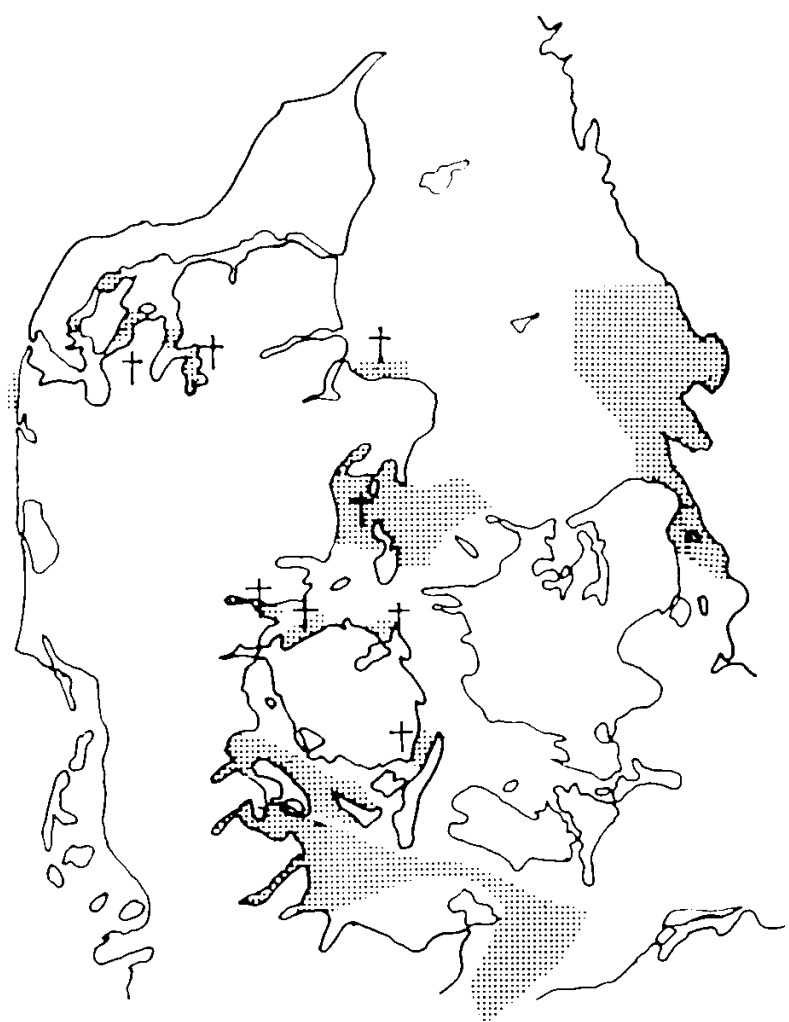


ILTSVIND og FISKEDØD i 1981

Omfang og årsager



ILTSVIND og FISKEDØD i 1981

**Omfang og
årsager**

januar 1984

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
STRANDGADE 29
1401 KØBENHAVN K

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD

DEL I BASISDEL

9

KAPITEL 1 KONSEKVENSER AF ILTSVIND

12

1.1 ILTSVIND - HVAD ER DET ?

13

1.2 ILTENS KREDSLØB I HAVET

14

1.3 ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR KREDSLØBET AF NÆRINGS-SALTE

16

1.3.1 Havbundens fosfor

18

1.3.2 Havbundens kvælstof

19

1.4 ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR DYREARTERNE

23

1.4.1 Iltsvindets konsekvens for lavere dyr

23

1.4.1.1 Ændring af adfærd hos lavere dyr

25

1.4.1.2 De lavere dyrs iltkrav

26

1.4.2 Konsekvenser af iltsvind hos fisk

28

1.4.2.1 Ændring af udviklingen

30

1.4.2.2 Ændring af adfærd

32

1.4.2.3 Fiskenes iltkrav

33

1.5 ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR DYRESAMFUNDENE

35

1.5.1 En generel konsekvens-model

36

1.5.2 Rekolonisering efter iltsvind

37

1.5.3 Samfundets stabilitet

39

1.5.4 Fiskerimæssige og rekreative konsekvenser

41

1.6 MASSEFOREKOMST AF ALGER

41

KAPITEL 2 KORTLÆGNING AF OMRÅDER MED ILTSVIND OG/ELLER FISKEDØD I 1981, 1982 og 1983.

44

2.1 INDLEDNING

45

2.2 AMTSKOMMUNALE INDBERETNINGER OM ILTSVIND OG FISKEDØD

48

2.2.1 Århus amtskommune

48

2.2.2 Fyns amtskommune

49

2.2.3 Vejle amtskommune

50

2.2.4 Ringkjøbing amtskommune

51

2.3	BESVARELSER FRA AMTSKOMMUNER OM ILTSVINDS- OG FISKEDØDSHÆNDELSER	52
2.3.1	Viborg amtskommune	52
2.3.2	Sønderjyllands amtskommune	53
2.4	SAMMENFATNING AF 1981-HÆNDELSERNE	53
2.4.1	Skadernes omfang	53
2.4.2	Udbredelsen af giftige alger	56
2.5	ILTSVIND OG MASSEFOREKOMST AF ALGER I 1982	58
2.6	ILTSVIND OG MASSEFOREKOMST AF ALGER I 1983	58/1

KAPITEL 3 KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF TILSVARENDE FÆNOMENER I TIDLIGERE ÅR 59

3.1	INDLEDNING	60
3.2	ILTSVINDS- OG FISKEDØDSHÆNDELSER I TIDLIGERE ÅR	60
3.2.1	Limfjorden	60
3.2.2	Åbenrå Fjord	61
3.2.3	Isefjorden	62
3.2.4	Jyllands Vestkyst - Nordsøen	62
3.2.5	Vejle Fjord - dele af Lillebælt	63
3.2.6	Strækningen fra Frederikshavn til Sæby	63
3.2.7	Vestsjællands Store Bælt-kyst	63
3.3	INTERVIEW AF FISKERE PÅ FYN OM ILTSVINDS- OG/ELLER FISKEDØDSHÆNDELSER I TIDLIGERE ÅR	64
3.4	SAMMENFATNING	65
3.4.1	Iltsvind tæt under land	65
3.4.2	Iltsvind i åbne farvande	66
3.4.3	Masseforekomst af alger	66

KAPITEL 4 NERINGSSALTBELASTNING FRA LAND OG FRA ATMOSFÆREN 68

4.1	INDLEDNING	69
4.2	METODE	71
4.2.1	Belastning fra land	71
4.2.1.1	Belastningen fra dansk land	71
4.2.1.2	Belastningen fra svensk land	74
4.2.2	Belastning til det åbne farvand	78
4.2.3	Belastning fra atmosfæren	79

4.3	RESULTATER	83
4.3.1	Belastning fra land	83
4.3.2	Belastning fra atmosfæren	84
4.3.3	Samlede belastning	85
4.4	BELASTNINGENS UDVIKLING	85
4.4.1	Udviklingen i transporten af nitratkvælstof i danske vandløb	85
4.4.2	Perioden 1975-81	89
4.4.3	Forhold af betydning for udviklingen i næringssalt-belastningen i dette århundrede	93
4.5	KONKLUSION	95

KAPITEL 5 FYSISKE FORHOLD I 1981 SAMMENLIGNET MED TIDLIGERE ÅR 98

5.1	INDLEDNING	99
5.2	FYSISKE FORHOLD I 1981	99
5.2.1	Meteorologien	100
5.2.1.1	Vinden	100
5.2.1.2	Nedbøren	104
5.2.1.3	Indstrålingen	105
5.2.2	Hydrologien	107
5.2.2.1	Afstrømning fra danske områder	107
5.2.2.2	Total afstrømning til Østersøen	109
5.2.3	Hydrografien	111
5.2.3.1	Oversigt	111
5.2.3.2	Kilder til information og stationsnet	114
5.2.3.3	Fyrskibe og kyststationer	117
5.2.3.4	HFL's og D.F.&H.'s observationer	123
5.2.3.5	Amternes observationer	129
5.2.3.6	Svenske observationer	140
5.2.3.7	Vesttyske observationer	141
5.2.3.8	Satellitbilleder	146
5.3	KONKLUSION	147

KAPITEL 6 UDVIKLINGEN I KONCENTRATIONERNE AF NÆRINGS-SALTE I DE ÅBNE FARVANDE 1975-83 150

6.1	INDLEDNING	151
-----	------------	-----

6.2	BAGGRUNDSMATERIALE	151
6.2.1	Data-grundlag	151
6.2.2	Konklusioner fra Bæltprojektet	154
6.3	RESULTATER	156
6.3.1	Udviklingen i vinterkoncentrationerne af næringssalte 1975-83	156
6.3.1.1	Fosfat	157
6.3.1.2	Kvælstof-næringssalte	160
6.3.1.3	Forholdet mellem vinterkoncentrationer af kvælstof og fosfor (vinter-N/P-forholdet)	163
6.3.2	Udviklingen i sommerkoncentrationerne af næringssalte i bundvandet 1975-83	165
6.3.2.1	Fosfat	165
6.3.2.2	Kvælstof-næringssalte	168
6.3.2.3	Forholdet mellem sommerkoncentrationer af kvælstof og fosfor i bundvandet (sommer- N/P-forholdet)	171
6.4	DISKUSSION	171
6.4.1	Kvælstof-næringssalte	171
6.4.2	Fosfat	172
6.4.3	N/P-forholdet og begrænsningen af fytoplanktonproduktionen	176
6.5	KONKLUSION	180
KAPITEL 7 UDVIKLING I FYTOPLANKTONBIOMASSE OG -PRODUKTION I VORE FARVANDE 1975-82		182
7.1	DE ÅBNE FARVANDE	183
7.1.1	Indledning	183
7.1.2	Materiale	183
7.1.3	Resultater	184
7.1.3.1	Fytoplanktonbiomasse	184
7.1.3.1.1	Fytoplanktonkulstof	184
7.1.3.1.2	Klorofyl-a	188
7.1.3.2	Fytoplanktonproduktion	190
7.1.4	Diskussion	195
7.1.5	Konklusion	201
7.2.	NÆRINGSSALTBELASTNING, FYTOPLANKTONPRODUKTION OG ILTSVIND I KYSTVANDENE	203
LITTERATURLISTE FOR BASISDEL		207

<u>DEL II EVALUERINGSDEL</u>	217
 <u>KAPITEL 8 VURDERING AF BEHOV FOR YDERLIGERE INITIATIVER</u>	 217
8.1 INDLEDNING	218
8.2 MYNDIGHEDERNES OVERVÅGNING AF SØTERRITORIET	218
8.2.1 Den nationale overvågning	218
8.2.2 Den amtskommunale overvågning	220
8.3 KENDSKABET TIL ILTSVINDSOMRÅDERNE	222
8.4 KENDSKABET TIL BELASTNINGEN	223
8.4.1 Standardisering og løbende opdatering af belastningsdata	223
8.4.2 Transport af næringssalte fra land	224
8.4.3 Transport af næringssalte med havstrømme og atmosfære	225
8.4.4 Næringssaltenes kredsløb i havområderne	226
8.4.5 Havbundens stofskifte	227
8.5 KENDSKABET TIL VANDMASSERNES BEVÆGELSER	228
8.6 KENDSKABET TIL PLANTEPLANKTONET	228
8.6.1 Beredskab vedrørende masseforekomst af alger	228
8.6.2 Planteplanktonets vækst	229
8.6.3 Vandkvalitetsmodeller	230
8.7 SAMMENFATNING	231
 <u>KAPITEL 9 SAMMENFATNING OG KONKLUSION</u>	 233
9.1 INDLEDNING	234
9.2 ILTSVINDETS OMFANG	234
9.2.1 Situationen i 1981	235
9.2.2 Skadernes omfang	235
9.2.3 Iltsvindsfænomener i tid	236
9.3 ÅRSAGERNE TIL ILTSVINDET	237
9.3.1 Tilførsel af ilt til bundvandet	237
9.3.2 Bundvandets forbrug af ilt	238
9.3.3 Forklaringen	239
9.4 VURDERING AF ÅRSAGERNE	240

9.4.1	Belastningen af N og P	241
9.4.1.1	Belastning fra land og atmosfære	241
9.4.1.2	Afstrømning fra land	241
9.4.1.3	N og P i havet	242
9.4.1.4	Planteplanktonets produktion i tid	243
9.4.2	Langtidsvariationer i bundvandets iltindhold	243
9.5	KONKLUSION	244

FORORD

Miljøstyrelsen modtog i efteråret 1981 indberetninger fra en række amtskommuner om tilfælde af iltsvind og fiskedød i kystnære dele af de danske farvande. Danske, svenske, tyske og engelske undersøgelser dokumenterede yderligere, at der også var iltsvind og fiskedød i de åbne farvande.

På denne baggrund bad miljøministeren miljøstyrelsen om at udarbejde et oplæg til et udredningsprogram med henblik på en afklaring af:

- problemernes omfang
- problemernes årsag (menneskeskabte eller naturlige)
- foranstaltninger, der eventuelt måtte anses for påkrævede for at forhindre gentagelsestilfælde.

I dispositionen for udredningen, som blev iværksat februar 1982, indgik følgende del-elementer:

1. Konsekvenser af iltsvind for dyr og planter samt for kvælstof- og fosforkredsløbene i havet.
2. Kortlægning af områder, hvor der i efteråret 1981 blev konstateret tilfælde af iltsvind og fiskedød. Desuden en beskrivelse af tidligere, tilsvarende fænomener.
3. Beskrivelse af kvælstof- og fosformængderne samt mængden af organisk stof fra kilder fra land og atmosfæren samt fra Skagerrak og Østersøen i 1981 i forhold til tidligere år.
4. Beskrivelse af vandbevægelserne, saltholdigheder, vandtemperaturer samt meteorologiske forhold i 1981 i forhold til tidligere år.
5. Vurdering af algeproduktionen i 1981 i forhold til tidligere år i de forskellige delområder af åbne indre farvande.
6. Ilttilførsel og iltforbrug i bundvandet i 1981 i forhold til tidligere år.

Disse delaktiviteter er gennemført og afrapporteret i nærværende rapport. Med gennemførelsen af dette arbejde er der tilvejebragt et grundigt kendskab til "problemernes omfang", hvorved det første delmål med projektet er opfyldt.

Rapporten omfatter en vurdering af, i hvilket omfang, "de observerede dårlige iltforhold og fiskedød må tilskrives menneskeskabte eller naturlige årsager".

Til vurderingen af de enkelte årsagers betydning med henblik på at foretage et skøn over, hvilken forbedring det ville medføre, såfremt de menneskeskabte årsager kunne bringes under kontrol, blev det besluttet at anvende et avanceret beregningssystem.

Tekniske vanskeligheder har medført, at det ikke har været muligt at færdiggøre dette arbejde inden for den fastsatte tidsramme for projektet. Foranstaltningernes omfang belyses af denne grund ikke. Arbejdet med denne delaktivitet vil blive fortsat og forventes afleveret i 1984.

Den nærværende udredning er baseret på oplysninger, der eksisterede, da udredningen blev iværksat eller oplysninger, der er tilvejebragt i udredningsperioden gennem tidligere planlagte undersøgelser. Erfaringer indhøstet af amtskommunerne, danske videnskabelige institutioner og myndigheder samt institutioner i nabolandene er blevet inddraget i udredningen. Yderligere er der fremkommet vigtige informationer gennem blandt andet interviews med en række fynske fiskere, Holger Olsen, fhv. trawlfisker, Lundeberg, Erik Jørgensen, fhv. trawlfisker, Kerteminde, Henry Poulsen, bundgarmsfisker, Tåsinge, Ove Larsen, trawlfisker, Bogense, Arne og Kjeld Mogensen, bundgarmsfiskere, Torø Huse, Assens, Peter Egemose, trawlfisker, Bagenkop, Laurits Christiansen, bundgarmsfisker, Helnæs, Assens og Anders Andersen, trawlfisker, Fåborg.

Under arbejdet med udredningen har miljøstyrelsen opfølgende diskuteret omfanget og årsagerne til iltsvindsfænomenerne i et sagkyndigt forum, der har haft rådgivende status, bestående af Peder Agger, Roskilde Universitets Center, Jytte Heslop Christensen, Århus amtskommune, Jens Anthon Christensen, Limfjordskomiteen, Eivind Gargas, Vandkvalitetsinstitutet, Vagn Hansen, Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Anders Malmgren-Hansen, Vandkvalitetsinstitutet, Bo Barker Jørgensen, Århus Universitet, Gunnar Kullenberg, Københavns Universitet, Søren Larsen, Fyns amtskommune, Vagn Olsen, Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Flemming Bo Pedersen, Danmarks tekniske Højskole, Erik Rasmussen, Københavns Universitet, Kaj Sand Jensen, Københavns Universitet, Erik Aagaard, Vandkvalitetsinstitutet. Ekspertene har ikke repræsenteret deres institutioner.

Udredningen er udført i nært samarbejde mellem miljøstyrelsen og miljøstyrelsens havforureningslaboratorium samt landbrugsministeriet, for så vidt angår opgørelsen af kilderne fra land samt konklusionsdelen.

Der har været nedsat en styringsgruppe bestående af:

Mogens Bahn, miljøstyrelsens planlægnings- og udviklingskontor,
Sesse Bang, miljøstyrelsens vandkvalitetskontor,
Klavs Bender, miljøstyrelsens havkontor,
Gunver Bennekou, miljøstyrelsens spildevands- og affaldskontor,
Filip Facius, miljøstyrelsens havkontor,
(formand)
Torben Jacobsen, miljøstyrelsens havforureningslaboratorium,
Arne Nielsen, miljøstyrelsens havforureningslaboratorium,
Tonny Niilonen, miljøstyrelsens havkontor,
(sekretær)
Erik Somer, miljøstyrelsens vandkvalitetskontor,
Gunni Ærtebjerg, miljøstyrelsens havforureningslaboratorium.

Landbrugsministeriets kontaktgruppe har bestået af:

Flemming Duus Mathiesen, landbrugsministeriet, og
A. Dam Kofoed, Statens planteavlsforsøg.

Udredningen er struktureret i en teknisk basisdel bestående af de første 7 kapitler, og i en generel evalueringsdel bestående af kapitlerne 8 og 9. Basisdelen bringer den faglige dokumentation, som de 2 konklusionsafsnit bygger på.

Forinden offentliggørelsen har udredningen været til høring hos ekspertpanelet, fiskeriministeriet og landbrugsministeriet samt fiskeriets og landbrugets organisationer.

KAPITEL 1

KONSEKVENSER AF ILTSVIND

1.1	ILTSVIND - HVAD ER DET ?	13
1.2	ILTENS KREDSLØB I HAVET	14
1.3	ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR KREDSLØBET AF NÆRINGSSALTE	16
1.3.1	Havbundens fosfor	18
1.3.2	Havbundens kvælstof	19
1.4	ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR DYREARTERNE	23
1.4.1	Iltsvindets konsekvens for lavere dyr	23
1.4.1.1	Ændring af adfærd hos lavere dyr	25
1.4.1.2	De lavere dyrs iltkrav	26
1.4.2	Konsekvenser af iltsvind hos fisk	28
1.4.2.1	Ændring af udviklingen	30
1.4.2.2	Ændring af adfærd	32
1.4.2.3	Fiskenes iltkrav	33
1.5	ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR DYRESAMFUNDENE	35
1.5.1	En generel konsekvensmodel	36
1.5.2	Rekolonisering efter iltsvind	37
1.5.3	Samfundets stabilitet	39
1.5.4	Fiskerimæssige og rekreative konsekvenser	41
1.6	MASSEFOREKOMST AF ALGER	41

1.1 ILTSVIND - HVAD ER DET?

Havvandets indhold af ilt varierer af naturlige årsager igennem året med de laveste værdier i efteråret og de højeste om vinteren. Oven i årstidsvariationen ses specielt i lavvandede områder en døgnvariation, hvor ilten af naturlige årsager kan være opbrugt mere eller mindre sidst på natten.

Ved fastlæggelsen af et iltsvindstilfælde er der derfor taget hensyn til det berørte områdes naturlige variation. Det unormalt lave iltniveau forårsager en beskadigelse af dyrelivet eller skaber forudsætningen for en ændring i sammensætningen af områdets dyreliv. Massedødshændelsen, hvor hele dyresamfund lægges øde hen, er derfor kulminationen af en iltsvindsperiode.

Der forbruges til stadighed ilt i havet, dels ved de lavere organismers åndningsproces dels ved det såkaldte kemiske iltforbrug. Disse forhold betinger, at der i en vis dybde nede i havbunden altid hersker iltfrie forhold. Normalt er iltindholdet i vandet tilstrækkeligt til at holde grænsen til den iltfrie zone nede i havbunden. En periode med iltsvind kan i værste fald udvikles til en efterfølgende iltfri periode, hvor også grænselaget mellem den iltede og iltfrie zone forskydes op i vandsøjlen.

Et dominerende stofkredsløb i den iltfrie zone er svovlkredsløbet (Jørgensen, 1980). Et af mellemprodukterne i dette kredsløb er gasarten svovlbrinte, der selv i små koncentrationer hurtigt kan lægge et dyresamfund øde hen (Theede et al., 1969).

Fiskene er de første organismer der berøres af lave iltkoncentrationer, mens de laverestående dyr generelt er mere hårdføre. Dyrenes resistens overfor iltsvind er varierende, idet resistensen er større hvis iltsvind sætter ind gradvist således at dyrene har mulighed for at tilvænne sig fysiologisk til iltsvindet (Oertzen og Schlungbaum, 1972).

1.2 ILTENS KREDSLØB I HAVET

Indholdet af ilt i havvandet varierer i almindelighed mellem 6,0 og 12,0 mg O_2/l (Hermann og Olsen, 1976). Afgørende for indholdet er forholdet mellem ilttilførsel og iltforbrug. Begge disse poster varierer året igennem, hvorfor også iltmængden i vandet er varierende.

Sædvanligvis opstår perioder med iltsvind i månederne august, september og oktober, hvor temperaturen og det biologiske iltforbrug i bundvandet er maksimalt.

Tilførsel af ilt sker dels direkte fra atmosfæren dels ved algernes og andre planters fotosyntese. Atmosfærisk ilt absorberes ved havets overflade i grænsen mellem luften og vandet, indtil luftens og vandets indhold af ilt er i balance med hinanden.

Når denne ligevægt har indstillet sig, er mætningspunktet nået. Havets grænselag til luften er derfor i princippet mættet 100% relativt. Indholdet af ilt, havvandet kan rumme ved relativ mætning, reguleres af temperatur og saltholdighed (fig. 1-1). Opløseligheden af ilt i havvandet falder både med stigende temperatur og saltholdighed.

Ilten transporteres ned igennem vandsøjlen ved vertikal blanding, der forårsages dels af afkøling, dels af vindpåvirkning eller af begge faktorer. Den vertikale blanding er stærkest og mest effektiv om vinteren. Herudover tilføres bunden iltholdigt atlantisk vand, der, da det er tungere end det brakke overfladevand, synker ned som en bundstrøm, der løber mod syd i Kattegat (s. 111). I sommerhalvåret er lagdelingen forstærket på grund af temperaturforskelle og mindre vind (fig. 1-2), hvorved omrøring af vandmasserne hæmmes. Dette forhold bevirker, at ilten i bundlagene i sommerhalvåret primært stammer fra indstrømningen af atlantisk vand (Jacobsen, 1982).

Ved den biologiske produktion af ilt, via algernes og andre planters fotosyntese, beriges vandsøjleens øverste del med ilt. Havvandet er derfor ofte overmættet med ilt i dagtimerne (Muus, 1967).

Fotosyntesen kræver lys, hvorfor processen om natten går i stå. Da de samme

Saltholdighed i ‰ temp. °C	0	5	10	15	20	25	30	35
0	14,60	14,10	13,63	13,18	12,73	12,30	11,89	11,50
5	12,76	12,35	11,95	11,56	11,19	10,82	10,47	10,13
10	11,27	10,92	10,59	10,25	9,93	9,62	9,32	9,03
15	10,07	9,77	9,47	9,19	8,92	8,65	8,39	8,13
20	9,07	8,82	8,56	8,30	8,06	7,83	7,60	7,39
25	8,25	8,02	7,79	7,57	7,36	7,15	6,94	6,76
30	7,55	7,33	7,13	6,94	6,76	6,57	6,39	6,22

Fig. 1-1

Opløseligheden af ilt (mg/l) i vand med forskellige saltholdigheder og temperaturer (modificeret fra Ærtebjerg et al., 1981).

Fyrskib	Overflade o/oo	Bund o/oo
Skagens Rev	29.4	33.9
Anholt Nord	21.1	33.1
Kattegat S	17.2	32.3
Lappegrund	13.8	28.0
Drogden	10.7	10.7
Kattegat SW	18.8	31.8
Halsskov Rev	15.2	25.5
Gedser Rev	10.5	16.5

Fig. 1-2

Den årlige middelværdi af saltholdigheder ved overflade og bund i Øresund, Bælthavet og Kattegat (fra Nielsen, 1976).

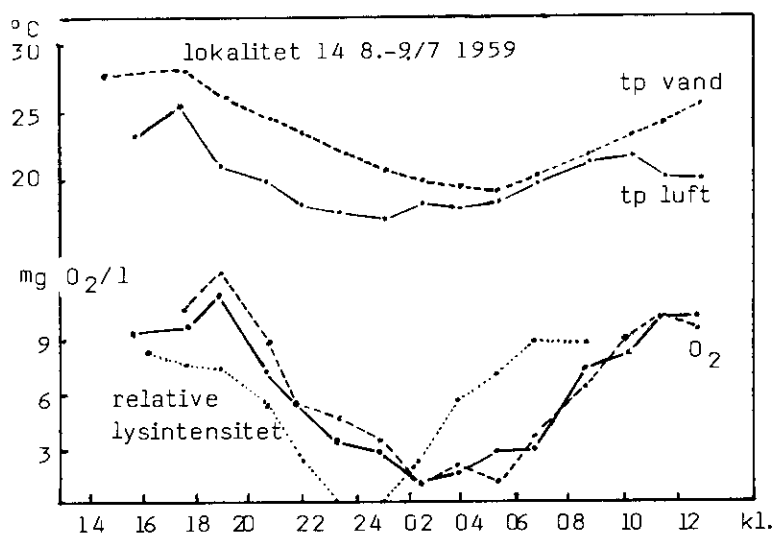


Fig. 1-3

Døgniltpulsen i et lavvandet område i Nivå Bugt uden vegetation (modificeret fra Muus, 1977).

alger og planter imidlertid ånder i alle døgnets 24 timer, kan iltindholdet i lavvandede områder være meget lavt om natten (fig. 1-3). På dybt vand findes en minimal døgnvariation.

Udover denne døgn-ilt puls (Muus, 1967) er den biologiske iltproduktion størst om sommeren og lavest om vinteren svarende til, at algerne vækstperiode er afhængig af lyset.

Iltten forbruges igen dels ved de levende organismers ånding, dels ved iltning af reduceret organisk stof (det såkaldte kemiske iltforbrug). Det kemiske iltforbrug beror på bakterielle processer. Forbruget er ukendt men formodentligt ringe (Jørgensen, B.B. pers. com.).

Vandmasserne er i planteplanktonets vækstperiode i sommerhalvåret oftest stærkt lagdelte, idet et salt- og temperaturspringlag adskiller overflade- og bundvandet. Efterhånden som den del af planktonet, der ikke når at blive spist, dør, synker det sammen med andet dødt, organisk stof ned i bundlaget. Her kommer det enten bunddyrene til gode som føde, eller det undergår en mikrobiel forrådnelse/mineralisering. Disse processer kræver ilt, hvorved der i bundlaget, specielt i august, september og oktober måned fås lave iltværdier (fig. 1-4).

En øget planktonproduktion i et område, hvor bundvandet udskiftes langsomt, kan - når planktonet nedbrydes - forårsage iltsvind med fiskedød som mulig konsekvens. Den øgede planktonproduktion kan eventuelt optræde som en unormal masseforekomst af alger. Tilfældene af masseforekomsterne i danske farvande er opregnet i kapitlerne 2 og 3.

1.3 ILTSVINDETS KONSEKVENS FOR KREDSLØBET AF NÆRINGSSALTE

Der foregår til stadighed en udveksling af stof, herunder næringssalte, imellem vandsøjlen og havbunden. Stofudvekslingen skyldes dels rent kemiske reaktioner, dels bakteriell virksomhed. Afgørende for forløbet af processerne er, om de foregår under iltede eller iltfrie betingelser.

Ilt (O_2) findes i de øverste få mm i havbunden. Det iltholdige (oksisk) sediment må ikke forveksles med iltet (oksideret) sediment. Det iltede sediment har højt redox potentiale (over +100 mV), jernet findes i ferri-form, hvorfor laget er brunt, men er iltfrit med undtagelse af de øverste par mm.

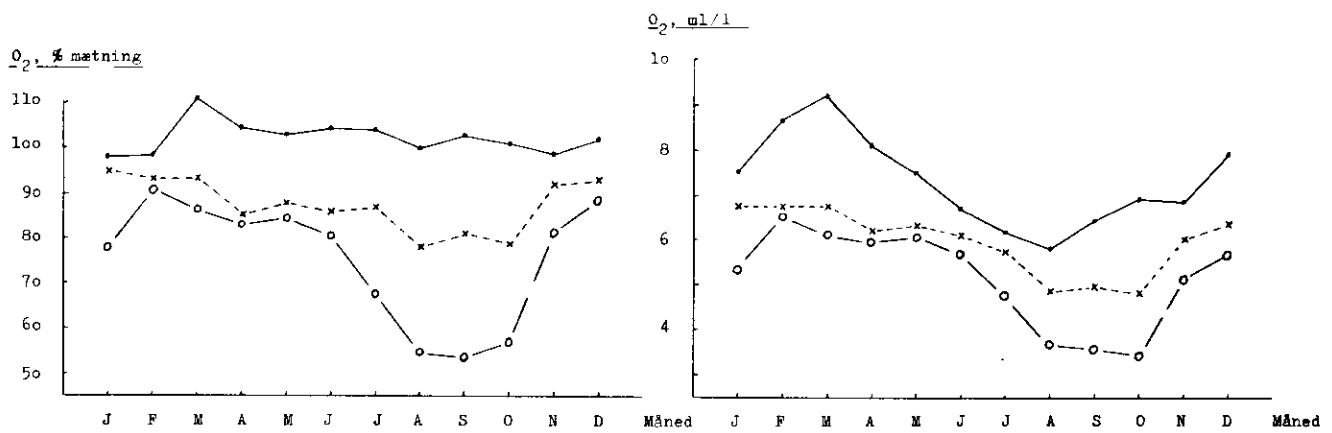


Fig. 1-4

Årsvariationen i iltmætningsprocenten og iltkoncentrationen i det østlige Kattegat (station 13) i følgende dybdeintervaller: —•—•— 0-10 m, x-----x 20-30 m, o——o større end 30 m-bund (fra Ærtebjerg, 1981).

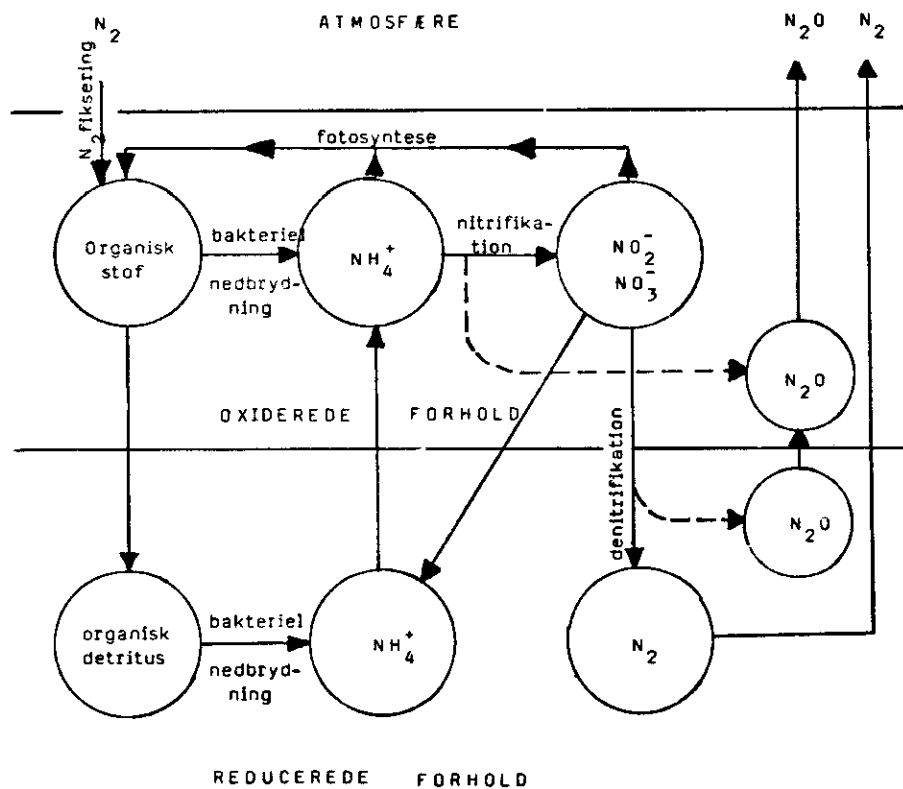


Fig. 1-5

Det biologiske kredsløb af kvælstof under iltede og iltfrie forhold (efter Wollast, 1981).

1.3.1 Havbundens fosfor

Fosfor findes, udover bundet i organiske forbindelser, hovedsagelig som uorganiske forbindelser. Under iltede forhold er fosforen bundet i lerminerale, calciumforbindelser (apatit), jern- og aluminiumsilter samt som jernfosfater (Hallberg et al., 1976). En del af fosforen er adsorberet til havbundens partikler i et ligevægtssystem, der binder eller frigiver fosforforbindelser, afhængig af vandets indhold af fosfor. Ligevægten i tempererede fjordområder er 21,7-46,5 $\mu\text{g P/liter}$ (Thompson og Yeung, 1982). Det er uvist, hvor store mængder, der på denne måde kan frigøres.

Under reducerende forhold frigøres fosfat-fosfor ($\text{PO}_4^- \text{-P}$) igennem en uorganisk eller rent fysisk proces, der styres af havbundens redox-status af jern.

Vandets indhold af jern findes under iltede forhold som ferriforbindelser (Fe^{3+}), der fældes fra vandsøjlen, og i havbunden danner vandholdige jernsilter, der igen danner gel-forbindelser, der binder betragtelige mængder fosfat som jernfosfat. Gelerne er kun stabile under iltende forhold, de går i stykker under et iltsvind, hvorved der følges vil frigives fosfat fra havbunden.

Denne fosforholdige zone i havbunden har sin største vertikale udstrækning om vinteren svarende til redox-grænsens årscyklus (Holm, 1978, b).

Frigivelsen sker ikke på een gang. Under dykkerklokkeforsøg har man målt frigivelseshastigheder på op imod 40 mg fosfor/ m^2/dag (Holm, 1978, b). I Østersøsedimenter er der målt totale frigivelser på 5-10 g fosfor pr. m^2 .

Frigivelseshastigheden ændres i løbet af året som følge af ændringer i sammensætningen af det organiske stof. Om foråret er havbundens organiske materiale rigt på fosfor efter forårets diatomé-opblomstring. Frigørelsen sker lidt forsinket, men er til gengæld kraftig, mens den om efteråret er mere momentan omend langsommere (Holm, 1978, c). Forskellene i, hvor hurtigt efter et redox-skifte frigørelsen sker, er relateret til den bakterielle aktivitet.

Op mod 50% af den frigivne fosfor efter iltsvind vil kunne genoptages i havbunden (Holm, 1978, b). Ved gentagne iltsvindstilfælde vil havbundens beholdning af fosfor ligefrem blive "pumpet" ud.

1.3.2 Havbundens kvælstof

Kvælstoffet forekommer i reduceret form, dels som ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), dels som forskellige organiske forbindelser eller i oxideret form som nitrit ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) og nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$).

Kvælstoffets kredsløb (fig. 1-5) i havbunden og i overgangen mellem havbund og vandsøjle skyldes i hovedsagen biologiske processer.

Kvælstof bundet i organiske stofforbindelser nedbrydes af såkaldte heterotrofe bakterier til ammonium ved en fermentiv spaltning af aminosyrer.

Dannelsen af ammonium finder sted under såvel oxiderede som reducerede betingelser. På steder, hvor vandbevægelserne generelt er ringe, dannes der blødbund (mudder med højt indhold af organisk materiale). Den iltfrie nedbrydning af organisk stof er meget vigtig på blødbund og udføres af mindst 6 bakterieslægter. Ifølge Jørgensen (1975) nedbrydes 30-40% af det organiske stof i Limfjordens øverste 10 cm på denne måde, og procenten stiger til op mod 65-80% med stigende dybde.

Havbundens produktion af ammonium bindes til ler-mineraler, optages af de levende organismer, især algerne i havbunden, eller siver op i vandsøjlen. På grund af store forskelle i sammensætningen af alger i løbet af året varierer kulstof-kvælstofindholdet. Kulstof/kvælstofforholdet er i gennemsnitsplanteplankton 5-6 og ændres på grund af nedbrydning i vandsøjlen til ca. 10, inden det bundfældes (Engvall, 1978,b). Om foråret har det organiske stof et lavt forhold, mens det om efteråret kan være op mod 20, et forhold der ikke ændres nævneværdigt inden bundfældning på grund af, at algerne i efteråret har stivere og tykkere cellevægge (Engvall, 1978,c).

En geografisk variation af samme størrelsesorden som årtidsvariationen er beskrevet fra kysten ud for Belgien (Billen og Somville, 1982).

I overensstemmelse hermed fås der store forskelle i den mulige produktion af ammonium fra havbunden. Om foråret er der målt en produktion på indtil $37,9 \text{ mg NH}_4^+-\text{N/m}^2/\text{dag}$ og en produktion om efteråret på indtil $6,2 \text{ mg NH}_4^+-\text{N/m}^2/\text{dag}$ (Engvall, 1978,b) i Østersøen.

Nettoproduktionsværdier for Bælthavet og Kattegat varierer mellem 36 og $51 \text{ mg NH}_4^+-\text{N/m}^2/\text{dag}$ opgjort på basis af målinger fra juli (Blackburn og Henriksen, 1983). Tilsvarende værdier for Limfjorden er $28 \text{ mg NH}_4^+-\text{N/m}^2/\text{dag}$. I det oxiderede sediment nede under iltzonen findes nitrat, og her foregår nitrifikation og denitrifikation. Processernes relative betydning afhænger af tykkelsen af det oxiderede lag samt af bioturbationen. Jo mere oxideret des mere betyder de i forhold til iltoptagelsen. I godt reducerede fjordsedimenter er der ingen væsentlig nitrifikation, og ammonium afgives direkte til havvandet. Der er derfor heller ikke meget nitrat i sedimentet og følgelig ringe denitrifikation.

Der synes generelt at være en årscyklus i nitratreduktionen. Om vinteren er processen ubetydelig på grund af den lave temperatur i fjordene på trods af højt nitratindehold i vandet. Hvordan det forholder sig i Kattegat, hvor temperaturen ikke bliver helt så lav, ved vi ikke endnu. Når temperaturen stiger om foråret, og inden sedimentet bliver rigtigt reduceret af bl.a. Fe^{2+} og H_2S , topper nitraten og denitrifikationen i sedimentet. Om sommeren er processen lav, da sedimentet er for reduceret, og der er lavt nitratindehold i både sediment og bundvand. Samtidig er der tendens til, at en større brøkdel af nitraten reduceres til fri ammonium. Dette er en speciel bakteriell proces, som udføres af bl.a. slægterne Aeromonas, Vibrio og Clostridium (denitrifikationen udføres bl.a. af slægten Pseudomonas). De har et fermentativt stofskifte, men kan samtidig overføre elektroner fra det organiske stof til nitrat. Der sker ingen oxidativ fosforylering herved, og der er altså ikke tale om respiration. Det er ved den nyeste forskning i fjordsedimenter fundet, at 25-50% af nitratreduktionen gik til fri ammonium, samt at 20-50% af det organiske kvælstof, som mineraliseres i fjordbunden, bliver denitrificeret til N_2 . Samtidig er det af størrelsesordenen 50% af fjordenes og de indre farvandes primærproduktion, som mineraliseres i sedimentet (Jørgensen, B.B. pers. com.).

Ammonium er også et plantenæringssalt, og nye undersøgelser fra Oslofjorden synes endda at antyde, at ammonium på årsbasis er vigtigere end nitrat som næringssalt, selv om nitrat er hovednæringssaltet om foråret (Paasche og Kristiansen, 1982).

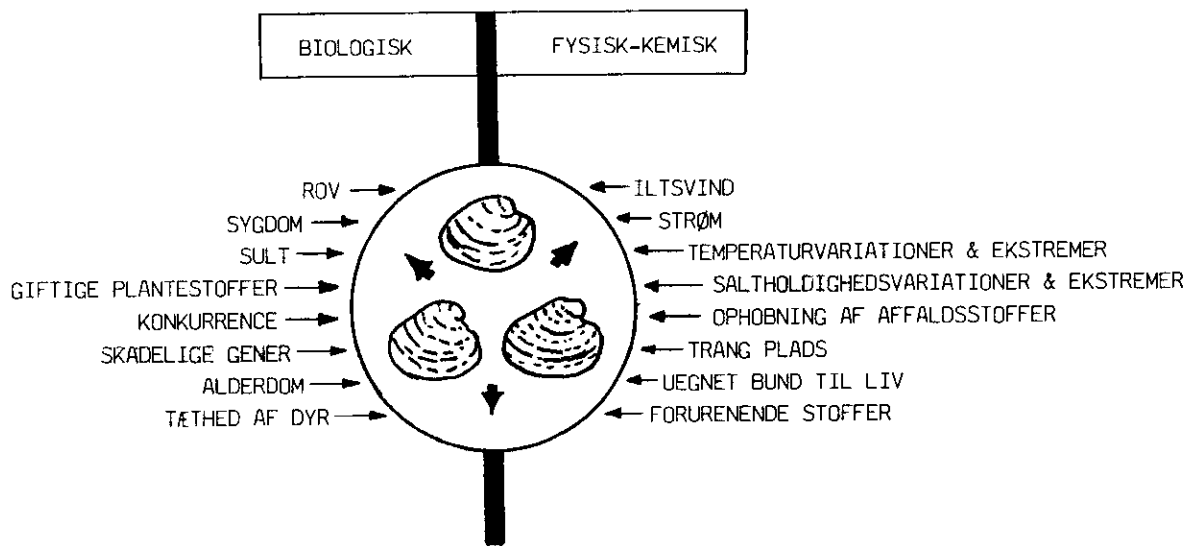


Fig. 1-6

De vigtigste faktorer der har indflydelse på marine dyrs trivsel (modificeret fra Sindermann, 1980).

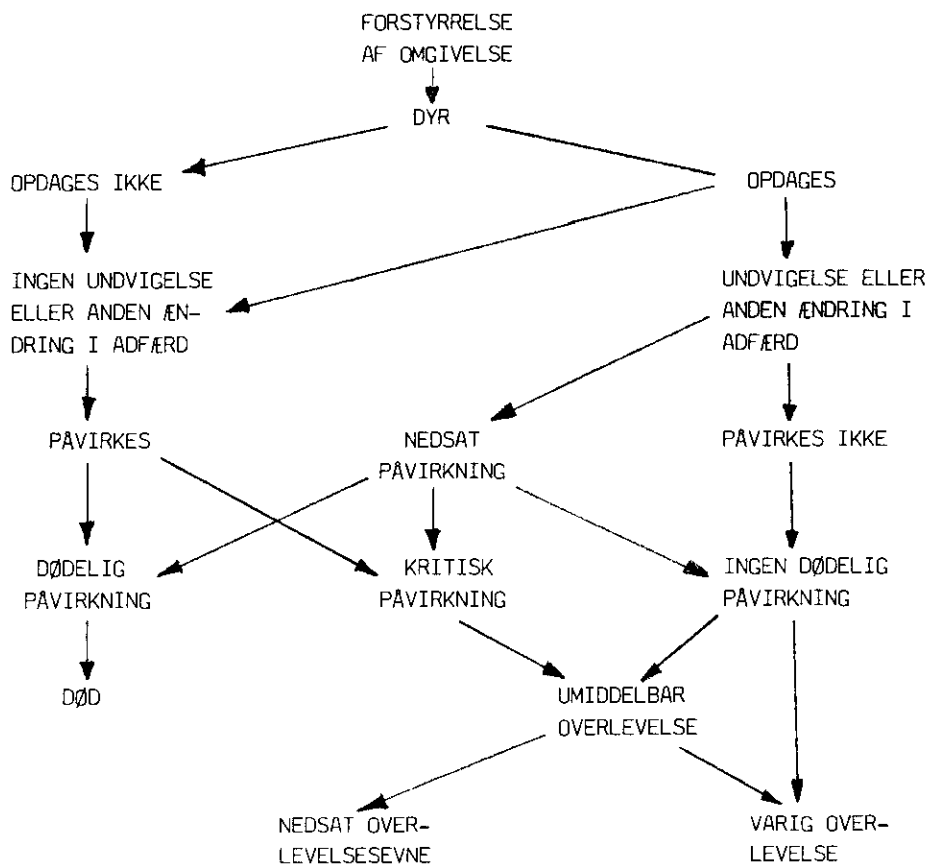


Fig. 1-7

Flowdiagram, der viser mulige reaktioner som følge af en forstyrrelse i miljøet og dens mulige konsekvenser (modificeret fra Olla et al., 1980).

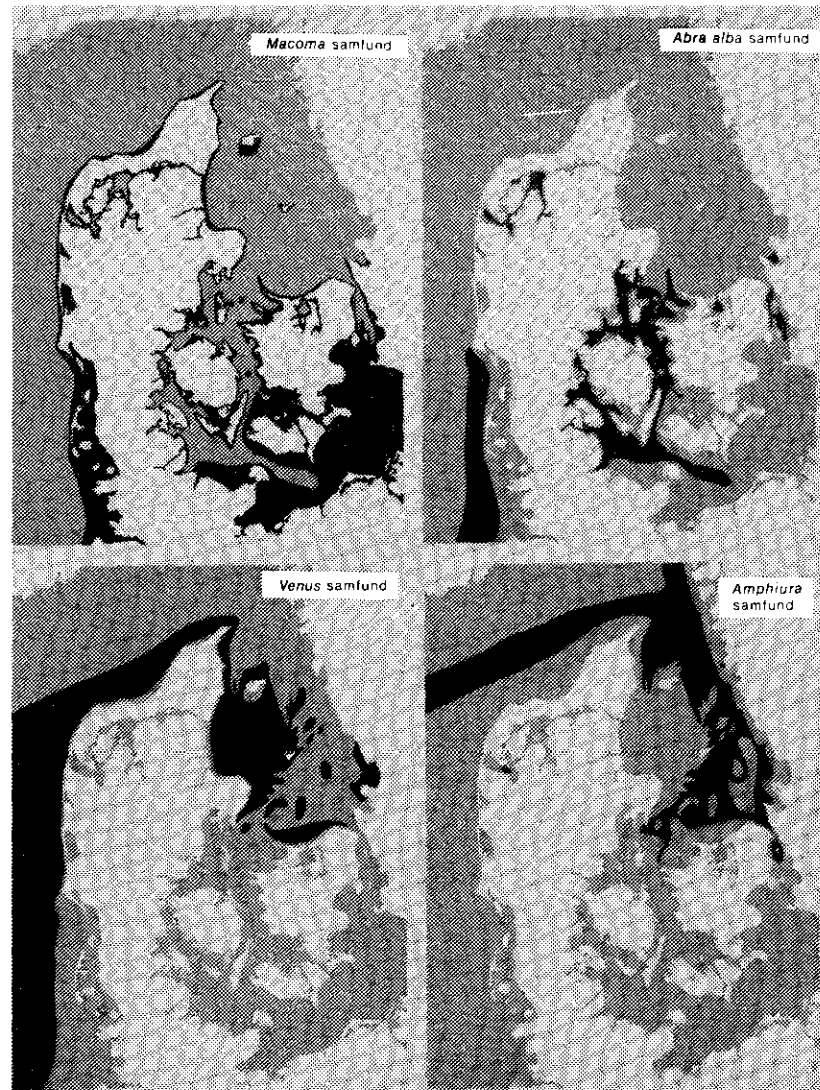


Fig. 1-8

Udbredelsen af de vigtigste bunddyrssamfund i de danske farvande. Samfundenes danske navne er lavtvandssamfundet (Macoma-), fjordsamfundet (Abra-), nordsøsamfundet (Venus-) og blødbundssamfundet (Amphiura-) (fra Kiørboe og Møhlenberg, 1982).

1.4 ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR DYREARTERNE

De faktorer, som regulerer et dyrs trivsel, er mange, og de er komplicerede (fig. 1-6), så det er ofte vanskeligt at vurdere den enkelte faktors biologiske effekt (Sindermann, 1980).

Dette beror på den synergistiske effekt. Resistensen over for iltmangel bliver således mindre, både ved stigende temperatur og ved stigende koncentration af svovlbrinte (Oertzen og Schlungbaum, 1972).

Det enkelte dyrs reaktion på variationer i forhold til det optimale for en given faktor spænder fra ingen effekt til død (Sindermann, 1980). De mest almindelige reaktioner er gengivet i skemaform (fig. 1-7).

Mange naturlige eller menneskeskabte forandringer falder inden for de levende organismers tilpasningsevne og tåles derfor uden problemer. Større ændringer tåles en vis tid, men resulterer herefter i organismens død. Imellem disse ydergrænser findes det sublethale område, hvor overlevelsessevnen svækkes.

1.4.1 Iltsvindets konsekvens for lavere dyr

Der findes omkring 1000 flercellede, hvirvelløse dyrearter langs vore kyster inden for 10 m-kurven (Rasmussen, 1973), hertil skal lægges et stort antal éncellede dyr. Antallet af arter i fjorde og vige er mindre, idet der her ifølge Muus (1967) næppe er flere end 100 flercellede dyrearter.

Dyrelivet i vore farvande domineres af et fåtal af arter, der til gengæld findes i enorme mængder. Det var et forhold C.G. Johs. Petersen i begyndelsen af århundredet benyttede i opstillingen af dyresamfundene. Dyrene i grus-, sand- eller mudderbunde (den såkaldte infauna) langs vore kyster tilhører således henholdsvis lavtvands- og fjordsamfundet (fig. 1-8). Herudover findes det dyreliv, der er tilknyttet kystzonens alger, planter og sten, den såkaldte epifauna (Thorson, 1979).

Forplantningsmønstret er analyseret i hovedtrækkene for Isefjordens vedkommende (Rasmussen, 1973). Af 153 undersøgte arter, forplanter de 123 (ca. 80%) sig i sommerhalvåret (maj-september), idet aktiviteten er størst i maj-juni. Omtrent 5% yngler om foråret og efteråret, mens 5% yngler om vinteren, og ca. 10% af arterne har en lang gydeperiode.

Sommergyderne er yderligere analyseret, idet havbørsteormene procentuelt ligger under gennemsnittet, mens krebsdyrene ligger over (Rasmussen, 1973).

TYPE	ANTAL SOMMERGYDERE	% AF UNDER- SØGTE ARTER
Havbørsteorme	24	67
Krebsdyr	56	92
Skallus	1	100
Forgællesnegle	10	67
Baggællesnegle	13	68
Muslinger	16	89
Pighude	3	100

Antallet af arter med planktoniske larver er 86 (ca. 60%), mens de øvrige har bundlevende larver.

1.4.1.1. Ændring af adfærd hos lavere dyr

I tilfælde hvor den anaerobe respiration (ånding uden ilt) ikke længere slår til, forsøger dyrene igennem en ændring af adfærden at imødegå situationen. Ormene kan begynde at pumpe vand ned i deres rør eller gangsystemer. Såfremt situationen forværres, begynder de at forlade rørene for til sidst at ligge slappe hen oven på havbunden i op til en uges tid, inden de dør (Jørgensen, 1980).

Mange af muslingerne reagerer aktivt ved iltvindssituationer. Den røde østersømusling, Macoma balthica, har lange ånderør, der kan følge efter iltten op i vand-søjlen, indtil muslingen med sin fod skubber sig op af bunden og lægger sig på siden oven på havbunden med let åbne skaller, idet de herved har en yderligere mulighed for at få ilt via den såkaldte kappe (Braefield, 1963). Hjertemuslingen, Cerastoderma edule, og sandmuslingen, Mya arenaria, kan også benytte sig af denne adfærd. I Lovns Bredning (Limfjorden) observeredes ved dykning, at sandmuslingens ånderør kan strækkes 20-30 cm op i vandet om nødvendigt (Jørgensen, 1980).

Krebsdyrene kan øge ventilationsraten, idet Gamble (1970) har vist, at slikkreb-sen, Corophium valutator, ved rigelig iltforsyning ventilerer i intervaller, mens den ventilerer uafbrudt ved lave iltmængder i vandet. Tangloppen, Gammarus oceanicus, registrerer og undgår så vidt muligt lave iltværdier, idet den svømmer

væk (Cook og Boyd, 1965). Store former såsom jomfruhummer, Nephrops norvegicus, forlader deres gangsystemer, et forhold der måske i 1982 er forklaringen på et stort hummereventyr i Kattegat.

Mange af de store tibenede krebsdyr vandrer, bl.a. er strandkrabbernes hunner kendte for at farte viden om. Man har kendskab til, at en krabbehun på 23 døgn vandrede 21 km, svarende til en hastighed på næsten 40 m i timen (Wood, 1975).

Blandt pighudene er slangestjernen, Ophiura sp., i stand til at løfte kropsskiven og gå på armspidserne (Dries & Theede, 1974), for at komme højere op i vandet og herved forbedre iltforsyningen.

1.4.1.2 De lavere dyrs iltkrav

De hvirvelløse dyr tåler generelt meget lavere iltkoncentrationer end fiskene, og kan endog klare perioder uden ilt i vandet ved anaerobt stofskifte.

Den anaerobe ånding fordrer en rigelig kulhydratforsyning samt mulighed for at komme af med de skadelige stofskifterester (Beadle, 1961). Havbørsteormen, Owenia fusiformis, lagrer meget mere kulhydrat end mange andre børsteorme, og klarer i overensstemmelse hermed 3 uger uden ilt i vandet.

Iltforbruget varierer året igennem. Den meget energikrævende produktion af kønsceller bevirker, at forbruget er maksimalt forår-forsommer og minimal i vinterperioden (Bayne et al., 1979). En periode med komplet iltmangel bliver ekstra alvorlig, såfremt denne ledsages af en frigivelse af svovlbrinte, H_2S .

Iltmangelen medfører en anaerob ånding med en ophobning af svovlbrinte i havbunden til følge. Frigørelsen af svovlbrinten til vandsøjlen kan forsinkes i op mod 14 dage afhængig af mængden af jern (ferri-ioner) i havbundens overflade, idet jern binder sulfid som jernsulfid, FeS (Jørgensen, 1980).

Svovlbrintens giftvirkning på cellernes kemi skyldes i første række, at det danner uopløselige sulfid-tungmetal-forbindelser. Svovlbrintens store affinitet over for jern forårsager en blokering af cellernes åndingsenzymmer, hvorved cellernes iltforsyning afbrydes (Theede et al., 1969).

SPECIES (ART)	50% dødelighed (LD_{50}) observeret ved følgende eksponeringstider (timer)	
	Iltfattigt havvand (0.15 ml O_2 /l)	Iltfattigt havvand plus svovlbrinte (50 mg $Na_2S \cdot 9H_2O$ /l)
<u>Østersøindivider</u> (testet ved 15‰ S)		
<i>Cyprina islandica</i> (molbøsters)	1320	800-1000
<i>Scrobicularia plana</i> (pebermusling)	500-600	400-450
<i>Mya arenaria</i> (sandmusling)	504	408
<i>Nereis diversicolor</i>	120	96
<i>Asterias rubens</i> (alm. søstjerne)	84	67
<i>Ophiura albida</i>	32	30
<i>Carcinus maenas</i> (strandkrabbe)	48	32
<i>Gammarus oceanicus</i>	15	8
<i>Idotea baltica</i> (baltisk tanglus)	6	6
<i>Crangon crangon</i> (hestereje)	2	2
<u>Nordsøindivider</u> (testet ved 30‰ S)		
<i>Mytilus edulis</i> (blåmusling)	840	600
<i>Cardium edule</i> (hjertermusling)	102	96
<i>Littorina littorea</i> (alm. strandsnegl)	365	180
<i>Littorina saxatilis</i> (levendefød. str.)	144	72

Fig. 1-9

Overlevelsestider for laverestående dyr fra forsøg ved 10°C med henholdsvis uden ilt og uden ilt plus svovlbrinte (fra Theede et al., 1969).

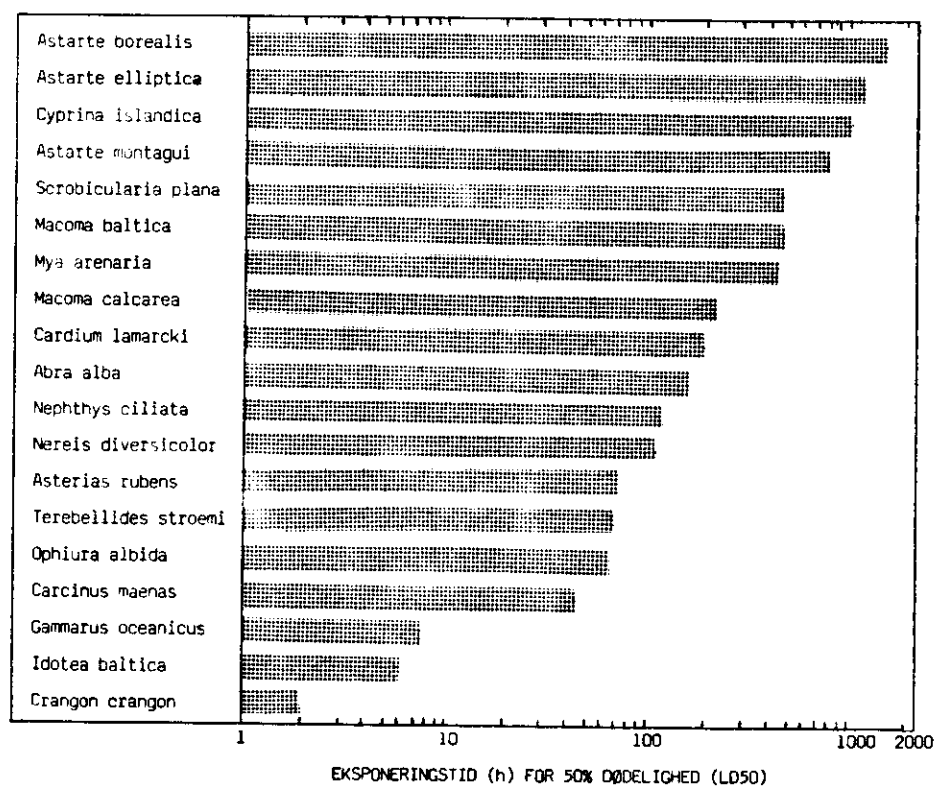


Fig. 1-10

Overlevelsestider for laverestående dyr fra den vestlige Østersø fra forsøg ved 10°C og uden ilt, beregnet som timer med 50% dødelighed - LD_{50} (fra Dries og Theede, 1974).

Disse forhold bevirker, at følsomheden over for iltmangel øges markant under tilstedeværelse af svovlbrinte (fig. 1-9). En anden faktor, der øger følsomheden, er forhøjede temperaturer.

Af de enkelte betydende dyregrupper er muslingerne de mest hårdføre, mens krebsdyrene tåler mindst, og ormene og pighudede indtager en mellemstilling (fig. 1-10).

1.4.2 Konsekvenser af iltsvind hos fisk

Af vor hjemmehørende fiskefauna på 111 arter, heraf 5 sæsonfisk, lever omkring de 50 langs vore kyster (Muus og Dahlstrøm, 1968). Der er i Isefjorden registreret 38 arter, som opholder sig der permanent, mens andre 16 arter lever i fjorden en del af året (Rasmussen, 1973). De fleste af de sidstnævnte fisk opholder sig permanent i de danske farvande.

Fiskene grupperes ofte efter levevis som bundfisk eller pelagiske fisk, der lever oppe i vandet, selvom der er en jævn overgang grupperne imellem. Vor almindelige torsk, Gadus morhua kan således træffes både som bundfisk og pelagisk fisk.

Omkring 18 af arterne opholder sig i ålegræsbæltet langs kysterne i hele deres livscyklus. Andre 24 arter er bundfisk, der specielt anvender ålegræsbæltet som yngelopvækstplads, mens de voksne i reglen foretrækker dybere vand. De resterende arter er pelagiske former, der anvender kystvandene som yngelopvækstplads (Poulsen, 1979).

Gruppe 1. Egentlige ålegræsfisk.

Almindelig tangnål,	<u>Siphonostoma typhle</u>
Lille tangnål,	<u>Syngnathus rostellatus</u>
Snippe,	<u>Entelurus aequoreus</u>
Stor næbsnog,	<u>Nerophis ophidion</u>
Krumsnudet næbsnog,	<u>Nerophis lumbriciformis</u>
Tangspræl,	<u>Pholis gunellus</u>
Ålekvabbe,	<u>Zoarces viviparus</u>

Sort kutling,	<u>Gobius niger</u>
Toplettet kutling,	<u>Coryphopterus flavescens</u>
Sandkutling,	<u>Pomatoschistus minutus</u>
Spættet kutling,	<u>Pomatoschistus pictus</u>
Lerkutling,	<u>Pomatoschistus microps</u>
Almindelig ulk,	<u>Myoxocephalus scorpius</u>
Langtornet ulk,	<u>Taurulus bubalis</u>
Panserulk,	<u>Agonus cataphractus</u>
Trepigget hundestejle,	<u>Gasterosteus aculeatus</u>
Nipigget hundestejle,	<u>Pungitius pungitius</u>
Tangsnarre,	<u>Spinachia spinachia</u>

Gruppe 2. Bundfisk

Ål,	<u>Anguilla anguilla</u>
Torsk,	<u>Gadus morhua</u>
Hvilling,	<u>Merlangius merlangus</u>
Sej,	<u>Pollachius virens</u>
Sortvels,	<u>Raniceps ranius</u>
Firetrådet havkvabbe,	<u>Enchelyopus cimbrius</u>
Femtrådet havkvabbe,	<u>Ciliata mustela</u>
Savgylte,	<u>Crenilabrus melops</u>
Havkaruds,	<u>Ctenolabrus rupestris</u>
Tobiskonge,	<u>Hyperoplus lanceolatus</u>
Sandgrævling (tobis),	<u>Ammodytes lancea</u>
Fjæsing,	<u>Trachinus draco</u>
Stribet fløjfisk,	<u>Callionymus lyra</u>
Grå knurhane,	<u>Eutrigla gurnardus</u>
Særfinnet ringbug,	<u>Liparis montagui</u>
Pighvarre ,	<u>Psetta maxima</u>
Slethvarre ,	<u>Scophthalmus rhombus</u>
Håising	<u>Hippoglossoides platessoides</u>
Ising,	<u>Limanda limanda</u>
Rødspætte,	<u>Pleuronectes platessa</u>
Skrubbe,	<u>Platichthys flesus</u>

Tunge,	<u>Solea solea</u>
Glastunge,	<u>Buglossidium luteum</u>
Stenbider,	<u>Cyclopterus lumpus</u>

Gruppe 3. Pelagiske fisk

Sild,	<u>Clupea harengus</u>
Brisling,	<u>Sprattus sprattus</u>
Ørred,	<u>Salmo trutta</u>
Smelt,	<u>Osmerus eperlanus</u>
Hornfisk,	<u>Belone belone</u>
Hestemakrel,	<u>Trachurus trachurus</u>
Tyklæbet multe,	<u>Mugil chelo</u>
Makrel,	<u>Scomber scombrus</u>

Fiskene i gruppe 1 klæber i stor udstrækning deres æg på vegetationen, mens gruppe 2 og 3 i store træk har pelagiske æg. Et par vigtige undtagelser herfra er silden og sandgrævlingen (tobis), der lægger æggene på havbunden.

Hovedparten af arterne gyder i forsommeren (fig. I-II), mens kun 2 gyder i efterårsperioden (sep/okt/nov) nemlig visse sildestammer og sandgrævlingen.

Konsekvenserne af iltsvind i samtlige stadier af fiskenes livscyklus forsøges derfor belyst i de følgende afsnit.

1.4.2.1 Ændring af udviklingen

En del af informationerne bygger på iagttagelser hos ferskvandsfisk, men skønnes at være af generel karakter, hvorfor de er medtaget her.

Hos silden, der lægger sine æg i store klumper, udvikles de perifere æg i klumpen hurtigere end de centralt beliggende æg (Braum, 73). Noget lignende er iagttaget hos laksefisk, hvor fænomenet er blevet sat i relation til en hæmning i omdannelsen af blomme til fostervæv ved suboptimale iltkoncentrationer (Doudoroff og Warren, 1965).

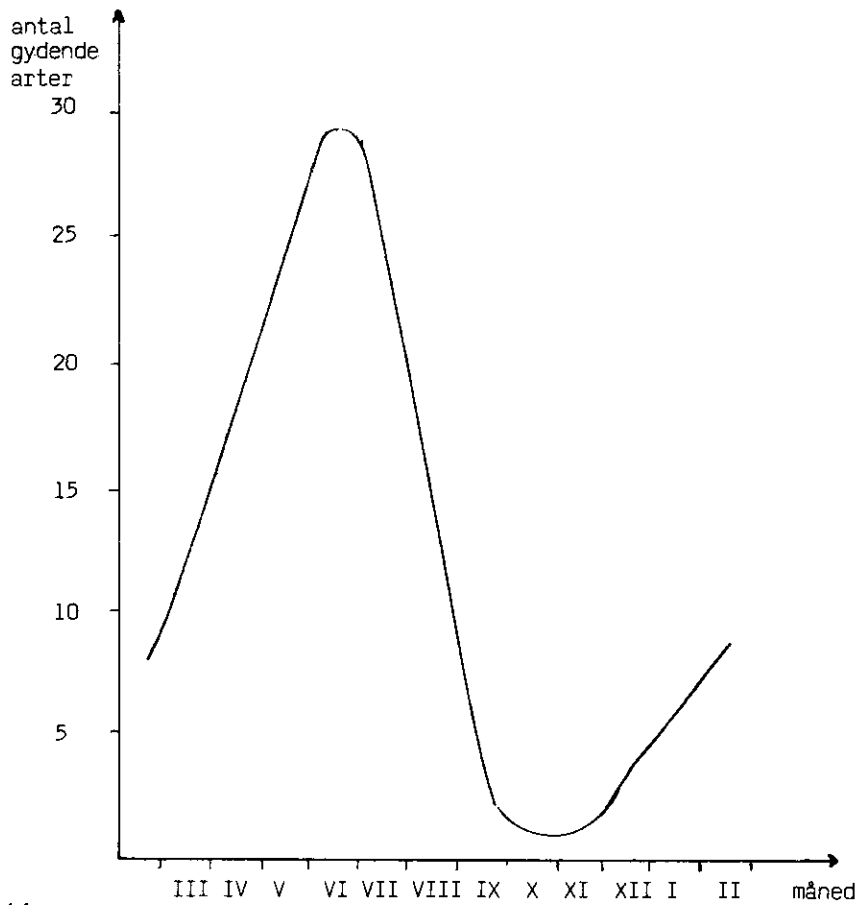


Fig. 1-11

Årsvariationen i antallet af gydende fiskearter langs de danske kyster (sammenstillet fra Muus og Dahlstrøm, 1968, Rasmussen, 1973 og Poulsen, 1979).

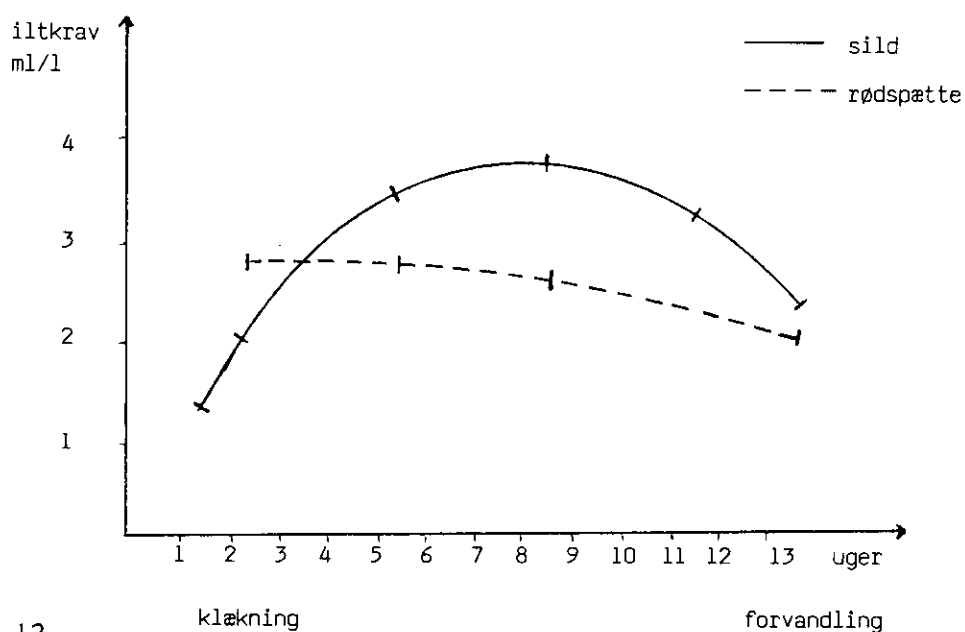


Fig. 1-12

Mindsteværdier af ilt for normal fosterudvikling hos sild og rødspætte (sammenstillet fra De Silva og Tytler, 1973 og Braum, 1973).

Hos sild (Braum, 73), ketalaks (Alderice et al., 1958) og andre laksefisk (Rosenthal og Alderice, 1976) kan selve ægdelingsmønsteret påvirkes af iltmangel ved, at styringen af delingsmåden og hastigheden ødelægges, så fostrene vanskabes eller dør. Iltmangelen vides at kunne påvirke udviklingen på mange måder (Rosenthal og Alderice, 1976). Der kan opstilles 4 hovedtyper (efter Braum, 1973):

1. Kortlivede anomalier
2. Langlivede forkrøblede former
3. Døde larver i æghylstrene
4. Klækkede larver af reduceret længde.

Ifølge Rosenthal og Alderice (1976) er en organismes responsmuligheder begrænsede, og samme deformitet kan tilsyneladende fremkaldes af forskellige faktorer og stoffer. Hos silden beskriver Braum (1973), at foruden iltmangel kan også en dinitrophenolforgiftning forårsage en reduceret længdevækst, ringe udvikling af hovedregionen, en medfødt blindhed (anophthalmi) og former med små øje (microphthalmi).

De fleste marine fisk har et fritsvømmende larvestadium, hvorfor iltvind næppe har nogen stor betydning, da der oppe i vandet i reglen er ilt nok, selv om konsekvenserne formentlig ligner forholdene hos juvenile og adulte fisk, der er behandlet nedenfor.

1.4.2.2 Ændring af adfærd

Fisk registrerer lave iltværdier og søger væk (Fry, 1971, Doudoroff og Warren, 1965). Under naturlige forhold kendes denne reaktion fra fisk i Thisted Bredning (Limfjorden) i sommeren 1955 (Bagge, 1970). I bredningens centrale og vestlige del målttes iltkoncentrationen til henholdsvis 2,7 og 0,8 mg O_2 pr. liter, mens der i den østlige del målttes værdier fra 3,5 til 7,0 mg O_2 pr. liter. Ved trawlfiskeri i bredningen fangedes ingen fisk i den centrale og vestlige del, mens der i den østlige del fangedes rødspætte, ising, sandgrævling, pighvarre, skrubbe og ålekvalbe.

En nedsat iltkoncentration ændrer fiskenes adfærd, idet de generelt ophører med at indtage føde (Doudoroff og Warren, 1965). Evnen til at svømme nedsættes (Fry, 1971). Endvidere øges det volumen af vand, der passerer gællerne pr. tidsenhed ved lave iltkoncentrationer (Saunders, 1963).

1.4.2.3 Fiskenes iltkrav

Iltbehovet hos fisk er i hovedsagen mangelfuldt kendt. De fleste undersøgelser omhandler ferskvandsfisk, mens kun få marine fiskearters iltbehov kendes.

Der er store forskelle i de undersøgte arters iltbehov, noget der umiddelbart også forventes, arternes levesteder og aktivitetsmønstre taget i betragtning.

Iltbehovet hos den enkelte art varierer endvidere betydeligt alt efter dens alder, vægt og fysiologiske tilstand. Iltforbruget øges pr. vægtenhed med tilvæksten af fostervæv og larvalt væv og falder igen, efterhånden som væksthastigheden aftager (fig. 1-12) (Braum, 1973). Betydningen af den fysiologiske tilstand er belyst hos torsk, Gadus morhua, idet iltforbruget efter fødeindtagelsen øges med 40-60% (Saunders, 1963).

Iltforbruget i hvile øges med stigende temperatur hos de fleste fisk, således bruger rødspætten 2,8 mg O_2 /100 gr/time ved 8°C og 5,7 mg O_2 /100 gr/time ved 18°C (Bagge, 1970).

I lighed med andre marine dyr er iltforbrugshastigheden hos fiskene uafhængig af iltkoncentrationen på levestedet indtil et kritisk niveau (Fry, 1971).

Respiratoriske pigmenters (hæmoglobin hos fisk) evne til at optage ilten fra omgivelserne varierer meget. Hos rødspætten mættes blodet med ilt ved 15°C ved 2,1 mg O_2 /l, mens mætningen hos torskeblod ved 15°C sker ved 3,7 mg O_2 /l (Bagge, 1970).

Forsøg med ilttolerance hos rødspætte viste, at de dårligt kan genoplives fra værdier under 2,1 mg O_2 /l (Bagge, 1970). Hos torsk synes mindstekravet at være omkring 3,7 - 3,9 mg O_2 /l (Vernberg, 1972).

FISKEART	ILTKONC. mg/l	ILTMÆTNING %	TEMPERATUR °C	SALTHOLDIGHED ‰	REFERENCE
skrubbe, <i>Platichthys flesus</i>	> 3,5	43-45	16-19	25	Bagge (1970)
skrubbe, <i>Platichthys flesus</i>	> 0,7		15	33	Muus (1967)
rødspætte, <i>Pleuronectes platessa</i>	> 3,5	43-45	16-19	25	Bagge (1970)
Ising, <i>Limanda limanda</i>	> 3,5	43-45	16-19	25	Bagge (1970)
torsk, <i>Gadus morhua</i>	> 3,9		8-10	34	Sundness (1957)
torsk, <i>Gadus morhua</i>	> 3,0				Vernberg (1972)
murmansk sild	> 2,9				Blaxter & Holliday (1963)
ansjos, <i>Engraulis encrasicolus</i>	> 2,6				Blaxter & Holliday (1963)
<i>Sardinops</i> sp.	> 2,9				Blaxter & Holliday (1963)

Fig. 1-13 Oversigt over voksne fisks mindstekrav til ilt.

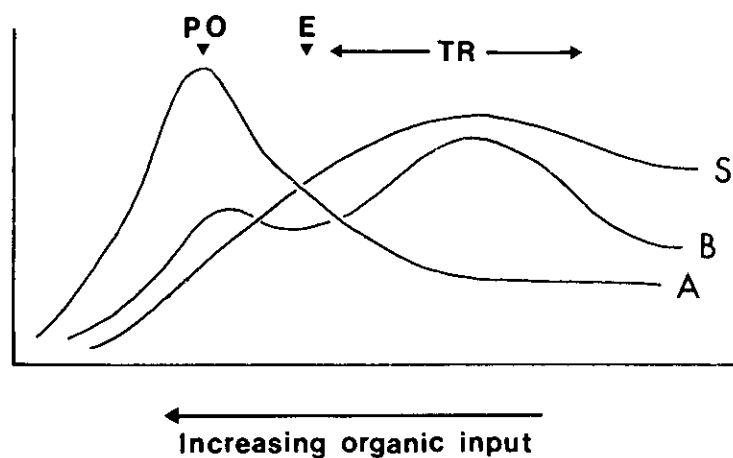


Fig. 1-14

Generaliseret SAB-diagram, der viser ændringerne i dyrelivet med stigende afstand fra kilden til tilførslen af organisk stof. S- antal af arter, A- mængden af dyr, B- den levende vægt af dyrene, PO- pionertoppen (opportunisttoppen), E- økotonpunktet og TR- overgangszonen (fra Pearson og Rosenberg, 1978).

Hæmoglobinet's egenskaber synes hos nogen fisk snarere at have tilknytning til bevægelsesaktiviteten end til levestedets iltvariation. Makrellens blod har stor iltlagringskapacitet, mens hæmoglobinet har en lav iltaffinitet. Omvendt har en dvask fisk som Opsanus tau (en tudsefiske-art der ikke findes i vore farvande) en lille iltlagringskapacitet i blodet, mens hæmoglobinet let binder ilten til sig (Vernberg, 1972).

Visse fisk som gubben kan i en vis udstrækning oparbejde en iltgæld ved lave iltkoncentrationer, ved en anaerob respiration (Fry, 1971).

I litteraturen er følgende ilttolerancer beskrevet og her samlet i skemaform (fig. 1-13).

Generelt tåler fisk lave iltværdier for en periode, ved lave iltværdier ændrer de adfærd. Hos laks begynder den suboptimale iltkoncentration i ferskvand ved koncentrationer under 11,4 mg O_2/l , idet de herefter øger det respiratoriske volumen. Deres kritiske iltværdi ligger på omkring 4,3 mg O_2/l (Fry, 1971). Mønstret er formentlig generelt for alle fisk, således at når de kritiske værdier generelt ligger imellem 3 - 4 mg O_2/l , så er de optimale noget højere, 6-7 mg O_2/l som en grov tilnærmelse.

1.5 ILTSVINDETS KONSEKVENNS FOR DYRESAMFUNDENE

Forløbet af iltsvindshændelsen er af afgørende betydning, når konsekvenserne heraf skal opgøres. De kortvarige tilfælde i størrelsesordenen timer er formentlig almindelige mange steder på lavt vand (Muus, 1967), et forhold der undertiden er vanskeligt at registrere, fordi grænsen mellem det iltede og det iltfrie vand kan være beliggende nogle få centimeter over bunden, samtidig med at grænsen er skarp (Jørgensen, 1980).

De mere bastante tilfælde, der blandt andet har begrundet nærværende udredning, vil ofte være af længerevarende karakter med hensyn til tid og rum, ligesom der aldrig er tvivl om de umiddelbare konsekvenser. Betydningen af de kortvarige tilbagevendende tilfælde er af mere langsigtet karakter, idet ilt her kan opfattes som en (stress)-faktor, der regulerer samfundets sammensætning og udbredelse (Muus, 1967).

1.5.1 En generel konsekvensmodel

Med baggrund i analyser af eutrofieringens effekt på dyrelivet har Pearson og Rosenberg (1978) opstillet en generel model, der skematisk gengives i et såkaldt SAB-diagram (fig. 1-14).

En stigende tilførsel af organisk stof, vil når det nedbrydes, igen forårsage en forringet iltmængde i vandet, som medfører biologiske ændringer, (fig. 1-14).

Der er ikke noget dyreliv ved udledningsstedet, mens der med øget afstand fra kilden kommer flere og flere arter til, indtil et naturligt niveau nås. De første arter er i reglen små og talrige, mens der længere fra kilden er større, men til gengæld færre dyr. Disse forhold afspejler sig også i biomassens fordeling i rum og tid.

Langs gradienten ændres dyresamfundenes sammensætning, idet der i rækkefølge findes en zone med pioner-arter (opportunist-toppen) dernæst en overgangszonzone til zonen med slutsamfundet længst fra kilden. Imellem pionerernes zone og overgangszonen findes et såkaldt økotonpunkt, der er karakteriseret ved et fald i biomassen blandt andet på grund af det bratte fald af pionerarter. Overgangszonens biomasse er større end slutsamfundets.

Forandringerne i SAB-relationerne langs gradienten i rum gælder også i tid. Det er endvidere vist, at modellen beskriver forholdene, hvad enten gradienten er faldende eller stigende. Endelig behøver gradienten ikke at være tilledning af organisk stof, men blot en given forsyrrelse som f.eks. oliespild, klapning eller iltsvind (Pearson & Rosenberg, 1978 for nærmere diskussion).

Alt efter graden af iltsvindet vil dyresamfundet påvirkes, så områdets status med hensyn til dyreliv rykker mod venstre i SAB-diagrammet (fig. 1-14). Analysen efter f.eks. en udslettelse af alt dyreliv efter iltsvindstilfældet må derfor belyse hovedspørgsmålene om

- hvor hurtigt området rekoloniseres
- dyresamfundets stabilitet
- de økonomiske, herunder rekreative, konsekvenser.

1.5.2 Rekolonisering efter iltsvind

Rekrutteringsmåden er generelt mangelfuldt belyst. For havbørsteormenes vedkommende vil navnlig de små former kunne forventes at svømme eller svæve ind i området, men den larvale spredning er måske nok den almindeligste (Harper et al., 1981 cit Santos og Simon, 1980 a). Havbørsteormen Scoloplos armiger spredtes efter et omfattende iltsvind meget hurtigere end forventet til de forskellige dele af det bornholmske bassin, hvilket blev tilskrevet, at dyrene svævede/svømmede ind med bundstrømmene (Leppäkoski, 1971). Krebsdyr spredes langsommere, da de fleste såkaldte storkrebs har bundlevende larver. Endelig spredes muslinger og snegle ved deres larver.

Dette medfører, at iltsvindets placering i forhold til yngleperioden har stor betydning for en hurtig rekruttering.

Efter undersøgelser over yngleperioden af Isefjordens hvirvelløse dyr har Rasmussen (1973) fundet, at ud af 153 undersøgte arter har de 123 eller ca. 80% deres yngleperiode fra maj til september (oktober). En gruppe på 7 arter yngler om foråret, mens nogle få yngler både om foråret og efteråret. En gruppe på 8 yngler om vinteren, mens resten, omfattende nogle af de mere hårdføre arter (12 arter - 10%), kan forplante sig over det meste af året.

Så snart forholdene bedres, begynder dyrelivet at indtage området igen, de første ankommer i løbet af en uge (Harper et al., 1981) og allerede efter 3-6 måneder kan der være en vrimmel af dyr i området (Muus, 1967).

Ved undersøgelser over rekoloniseringsmønstret ved USA's østkyst viste Rhoads et al. (1978) at koloniseringen indledes efter få dage med nogle små former, der toppede antalsmæssigt kort tid efter. Ifølge Simon og Dauer (1977) rekoloniseredes et øde område ved Florida først af havbørsteorme, siden kom krebsdyrene mens muslinger og snegle ankom senere.

I Kieler Bugten i den vestlige Østersø koloniseredes et iltsvindsramt område ligeledes meget hurtigt (Arntz, 1981) (fig. 1-16).

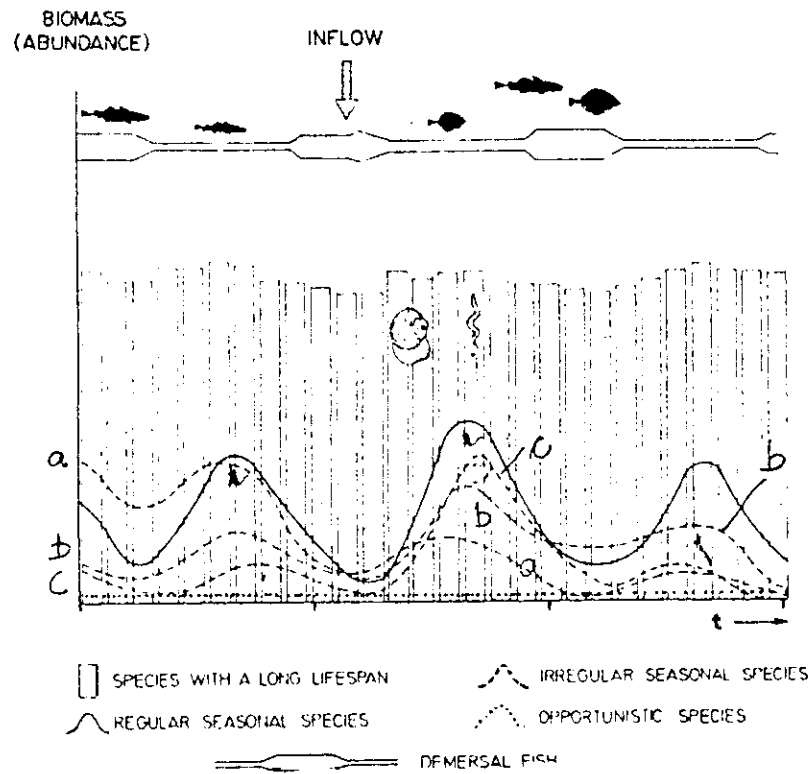


Fig. 1-16

Fjordsamfundet på 20 meters dybde ud for Kiel er karakteriseret ved forskellige frekvenser i hyppigheden af 4 grupper af dyr igennem 3 år (fra Arntz, 1981).

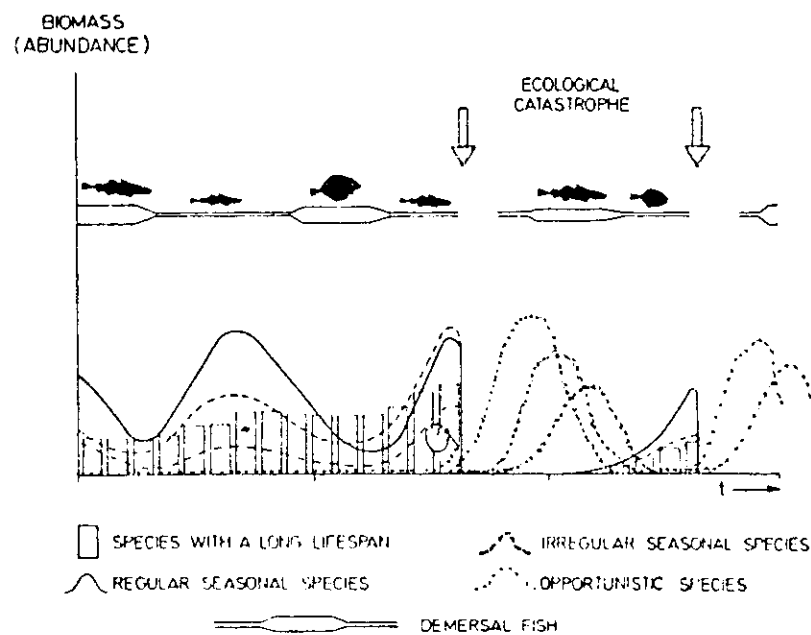


Fig. 1-17

Rekolonisering og genetablering af fjordsamfundet ud for Kiel på 20 meters dybde efter et omfattende iltsvindstilmælde, visende de 4 forskellige grupperes reaktion, der er fulgt igennem 3 år (fra Arntz, 1981).

Det varer længere tid at rekolonisere et område, jo dybere vand der er. Det bornholmske bassin rekoloniserede ifølge Leppäkoski (1969) langsomt idet faunaen først var veletableret efter et års tid.

1.5.3 Samfundets stabilitet

Indledningsvis skal et dyresamfund, defineres (Mills, 1971) som "en samling organismer, der forekommer på en given lokalitet og som tilsyneladende står i relation til hinanden og omgivelserne på en måde, så de ved en økologisk analyse kan skelnes fra andre samfund".

Samfundets stabilitet kan efter en noget udvidet opfattelse (Boesch & Rosenberg, 1981) beskrives ved dets:

- persistens, dvs. kontinuitet uanset forstyrrelsens art
- resistens, dvs. reaktions-træghed uanset forstyrrelsens art
- resiliens, dvs. evne til regenerering til en stabil fase.

Svingninger i omverdensfaktorerne, herunder saltholdighed, temperatur og iltindhold langs beskyttede kyststrækninger indskrænker dyrelivet. Sådanne simple benthiske samfund er karakteriseret af få, hårdføre arter (Muus, 1967) der er mere resistente og resiliente end komplekse samfund under mere stabile forhold.

Komplekse samfunds sammensætning og populationer reguleres i store træk af biologiske interaktioner, mens simple samfund stort set reguleres af eksterne fysiske forhold (Pearson, 1981).

Samspillet af disse faktorer giver sig endvidere til udtryk i, hvor hurtigt et samfund reetableres.

For lavvandede estuarine områder omtaler Muus (1967) en periode på 3-6 måneder, inden et udslettet samfund er reetableret i sin vante udformning.

Et andet eksempel på et simpelt dyresamfund findes i det bornholmske bassin, i det makrofaunaen består af 7 arter hvirvelløse dyr (Leppäkoski, 1969). Samfundet

genetableredes på lidt over 1 år, efter det omfattende iltsvind i bundvandet i 1963 var afhjulpet.

Efter en masseforekomst af alger, hvor alt dræbtes i et område ved Florida i sommeren 1971, fulgtes reetableringen af Simon & Dauer (1977). Her ankom pioner-arterne (i hovedsagen havbørsteorme) meget hurtigt, mens snegle og tanglopper ankom efter ca. 6 måneder. Pionerarterne var borte igen efter bare 3 måneder. Normale forhold var genoprettet efter 11 måneder.

I Kielerbugten i den vestlige Østersø er reetableringen af et fjordsamfund (*Abra alba*-samfund) blevet fulgt over en 3-årig periode af Arntz (1981). Analysen viste, at samfundet består af 4 grupper (fig. 1-15)

- arter med lang levetid (*Cyprina islandica*, *Astarte* ssp., *Nephtys* ssp.)
- arter med regelmæssig sæsonvariation (*Diastylis rathkei*)
- arter med uregelmæssig sæsonvariation (*Abra alba*, *Terebellides stroemi*, og *Pectinaria koreni*).
- pionerarter (opportuniste).

Såfremt et omfattende iltsvind indtræder, er effekten først forsvundet efter ca. 1 år (fig. 1-16). Rekoloniseringen begynder umiddelbart efter udbedring af iltforholdene med hurtigt voksende højproduktive arter (*Abra alba*, *Harmothoe sarsi*, *Pectinaria koreni*, *Halicryptus spinolosus* og *Diastylis rathkei*).

Med den generelle forureningsmodel (Pearson & Rosenberg, 1978) kan man let få det indtryk, at det samme slutsamfund altid vil udvikles efter ophør af en given forstyrrelse. Dette synes blandt andet at være tilfældet for simple estuarine samfunds vedkommende.

Den nyeste forskning inden for området har imidlertid peget på, at dannelsen af et givet slutsamfund afhænger af fra- eller nærværet af visse nøglearter under de kritiske faser af successionen (Pearson, 1981). Således betyder tilstedeværelsen af store gravende tibenede krebsdyr (f.eks. *Nephrops* eller *Calocaris*), at sedimentet bliver fyldt af gravede gange, der skaber livsrum for andre arter. De store tibenede krebsdyr er langlivede og rekrutteres kun med mellemrum. Elimineres de som følge af et iltsvindstilfælde, vil der være mulighed for udviklingen af et helt anderledes samfund (Pearson, 1981).

1.5.4 Fiskerimæssige og rekreative konsekvenser

Det fremgår umiddelbart, at store havbundsområder efter et iltsvind vil ligge unyttige hen uden fødemuligheder for økonomisk værdifulde bundlevende fiskearter.

På nuværende tidspunkt er det ikke muligt at gøre regnskab op for fiskerierhvervet. Antallet af fisk, der søger bort, må kendes samtidig med, at en del formentlig vil blive fanget under flugt - torskeeventyr, hummereventyr etc. (May, 1973, Jørgense, 1980).

Fra udlandet kendes tilfælde med store tab. Iltsvind i New York-bugten i 1976 resulterede i et tab af skaldyr på op mod 500 mio danske kroner. I Laholmbugten var der også i 1980 iltsvind, og erhvervsfiskernes tab blev da opgjort til ca. 1 mio svenske kroner. Adskillige lakseopdrætsanlæg er blevet lagt øde langs de norske kyster som følge af masseforekomster af alger i 1981 og 1982.

Efter ophør af forstyrrelsen dannes hurtigt en serie overgangssamfund (fig. 1-14), hvor produktionen af dyrearter kan være forhøjet væsentligt (Rhoads et al., 1978), et forhold der er gunstigt for fiskene (fig. 1-16) og fiskeriet (Arntz, 1981).

I forbindelse med iltsvindstilfælde frigøres næringssalte fra havbunden til vandsøjlen, som vil kunne øge planteplanktonproduktionen og indirekte også fiskemassen.

De rekreative interesser kan trues, dels ved at fritidsfiskeriet kan ødelægges for en periode, ligesom strandzonens rekreative værdi kan ødelægges af opskyllede dyr i forskellige stadier af forrådnelse. I Laholmbugten skylledes i 1981 efter iltsvindet op mod 600 tons hjertemuslinger op på strandene.

Endelig kan der være en sundhedsfare forbundet ved et iltsvind, hvis dette er forårsaget af giftige alger. Det vides, at der i 1975 dræbtes adskillige hunde i Århus-området i forbindelse med en masseforekomst af blågrønalgen Nodularia spumigena (Miljøstyrelsen, 1979).

1.6 MASSEFORKOMST AF ALGER

Mængden af planktonorganismer er undertiden så stor, at vandet kan være misfarvet endog sundhedsfarligt. Fænomenet har mange forskellige benævnelser, hvoraf vandblomst, plankton bloom, bloom, red tide og masseforekomst er de hyppigste.

Masseforekomsterne skyldes i reglen planktoniske alger, selv om også bakterier, éncelledede dyr, krebsdyr og sækdyr er beskrevet i masseforekomst. Der var i sommeren 1982 en omfattende masseforekomst af et éncellet dyr, Mesodinium rubrum, i Flensborg Fjord (pers. com. Kim Forchhammer), samt masseforekomst af et andet éncellet dyr, Eutimnus sp., i Limfjorden i maj 1982 (Viborg amtskommune, 1982).

Masseforekomsterne er ingen ny foreteelse, idet de fra det 17. århundrede er kendt fra de søfarendes logbøger (Taylor og Seliger, 1979). Det synes dog ret sikkert, at hyppigheden af observerede masseforekomster er øget (Parker, 1982), et forhold, der er blevet tilskrevet 3 årsager.

For det første, at antallet af observatører er steget, for det andet, en øget forurening og for det tredje, oceanografiske langtidssvingninger.

Selv om antallet af forskningsskibe på havet er øget, har havfiskere fra gammel tid brugt masseforekomster som nyttige tegn i sildefiskeriet, hvorfor stigningen formentlig er reel (Parker, 1982, White, 1982).

Der er usikkerhed om, hvordan stigningen skal forklares. Rapporter fra Japan antyder en sammenhæng til eutrofiering, idet der er sket en kraftig industrialisering og urbanisering ved Seto Inland Sea-kysten siden 1965 med påfølgende forurening af havet. Før 1950 sås sjældent masseforekomster, mens der i 1965 var 44. Der blev registreret 324 i 1977 (Edler, 1981). På verdensbasis synes stigningen i antallet af observerede tilfælde også at kunne forklares ved eutrofiering (Taylor & Seliger, 1979).

Verdens længste måleserie stammer fra Bay of Fundy, hvorfra månedlige målinger er gjort siden 1942 (White, 1982). Der var før 1974 kun masseforekomster af lav til moderat intensitet. Siden er intensiteten i masseforekomster øget markant, ligeledes er antallet af hvilestadier - cyster - i sedimentet øget.

Det er ikke afklaret, på hvilken måde langtidssvingninger på det meteorologiske og oceanografiske område spiller ind. Det er ved at blive analyseret.

I New York-bugten var der i 1976 en masseforekomst af furealger (Ceratium tripos), der forårsagede et omfattende iltsvind. Omkostningerne blev beregnet til 60 mio \$ i mistede skaldyr. Analysen syntes at vise en kausal kæde af begebenheder som grund for iltsvindet (Falkowski et al., 1980).

Undersøgelser af masseforekomster forårsaget af blågrønalgen Nodularia spumigena (Møjstvrelsen, 1979) i 1971, 1975 og 1976 pegede i samme retning, nemlig at der ikke er nogen enkelt årsag, der udløser en masseforekomst, men snarere, at mange forskellige faktorer skal være opfyldt, inden der eventuelt udvikles en masseforekomst.

Der er i hovedsagen 4 forskellige effekter af en masseforekomst af alger:

1. Iltspændingen i vandet sænkes (et forhold, der er kritisk for havbrug, hvorfor man om natten kan afhjælpe iltsvind ved kunstig belysning (Tanger, 1977)).
2. Algerne (mange furealger f.eks. Gonyaulax tamarensis) producerer gifte, som opkoncentreres af forskellige filtrerende organismer, såsom muslinger og fisk (sandgrævling). Normalt påvirkes de filtrerende organismer ikke af giftene. Paralytisk muslingeforgiftning (PSP) hører til denne gruppe gifte og har forårsaget over 1.600 forgiftningstilfælde på mennesker, hvoraf adskillige har haft dødelig udgang.
3. Algerne (mange furealger f.eks. Gymnodinium sp.) producerer gifte, der frigives til vandet, og som kan have dødelig effekt på fisk. Gyrodinium aureolum hører muligvis til denne type.
4. Under nedbrydningen af en masseforekomst frigives undertiden giftige dampe til luften, f.eks. Gymnodinium breve (Taylor & Seliger, 1979).

KAPITEL 2

KORTLÆGNING AF OMRÅDER MED ILTSVIND OG/ELLER FISKEDØD
I 1981, 1982 OG 1983

2.1	INDLEDNING	45
2.2	AMTSKOMMUNALE INDBERETNINGER OM ILTSVIND OG FISKEDØD	48
2.2.1	Århus amtskommune	48
2.2.2	Fyns amtskommune	49
2.2.3	Vejle amtskommune	50
2.2.4	Ringkjøbing amtskommune	51
2.3	BESVARELSER FRA AMTSKOMMUNER OM ILTSVINDS- OG FISKE- DØDSHÆNDELSER	52
2.3.1	Viborg amtskommune	52
2.3.2	Sønderjyllands amtskommune	53
2.4	SAMMENFATNING AF 1981-HÆNDELSERNE	53
2.4.1	Skadernes omfang	53
2.4.2	Udbredelsen af giftige alger	56
2.5	ILTSVIND OG MASSEFOREKOMST AF ALGER I 1982	58
2.6	ILTSVIND OG MASSEFOREKOMST AF ALGER I 1983	58/1

2.1 INDLEDNING

Miljøstyrelsen modtog i eftersommeren 1981 indberetninger fra en række amtskommuner om tilfælde af iltsvind og fiskedød i kystnære dele af de danske farvande:

Århus amt - fiskedød ved Norddjurslands kyst og i Århus Bugt

Fyns amt - fiskedød ved Langelandssundet og Nordfyn (2 tilfælde)

Vejle amt - fiskedød i Vejle Fjord

Ringkøbing amt - fiskedød ved Fjaltring Strand

Endvidere forekom i lighed med tidligere år iltsvind i dele af Limfjorden og Åbenrå Fjord.

Danske, svenske, tyske og engelske undersøgelser dokumenterede yderligere, at der i store dele af den vestlige Østersø, dele af Øresund, sydøstlige Kattegat og svenske bugter (Laholmbugten) samt i dele af Nordsøen er forekommet iltsvind og tilfælde af fiskedød. Indberetningernes hydrografiske oplysninger er vurderet i kapitel 5.

Disse informationer viste, at udbredelsen af iltfrie områder var større end først antaget, ligesom der også fremkom yderligere oplysninger om tilfælde af fiskedød i Glyngøre Havn og ved Virksund.

Den registrerede udbredelse af områder med iltsvind samt lokaliteter, hvor der er forekommet tilfælde af fiskedød, fremgår af fig. 2-1 og 2-2.

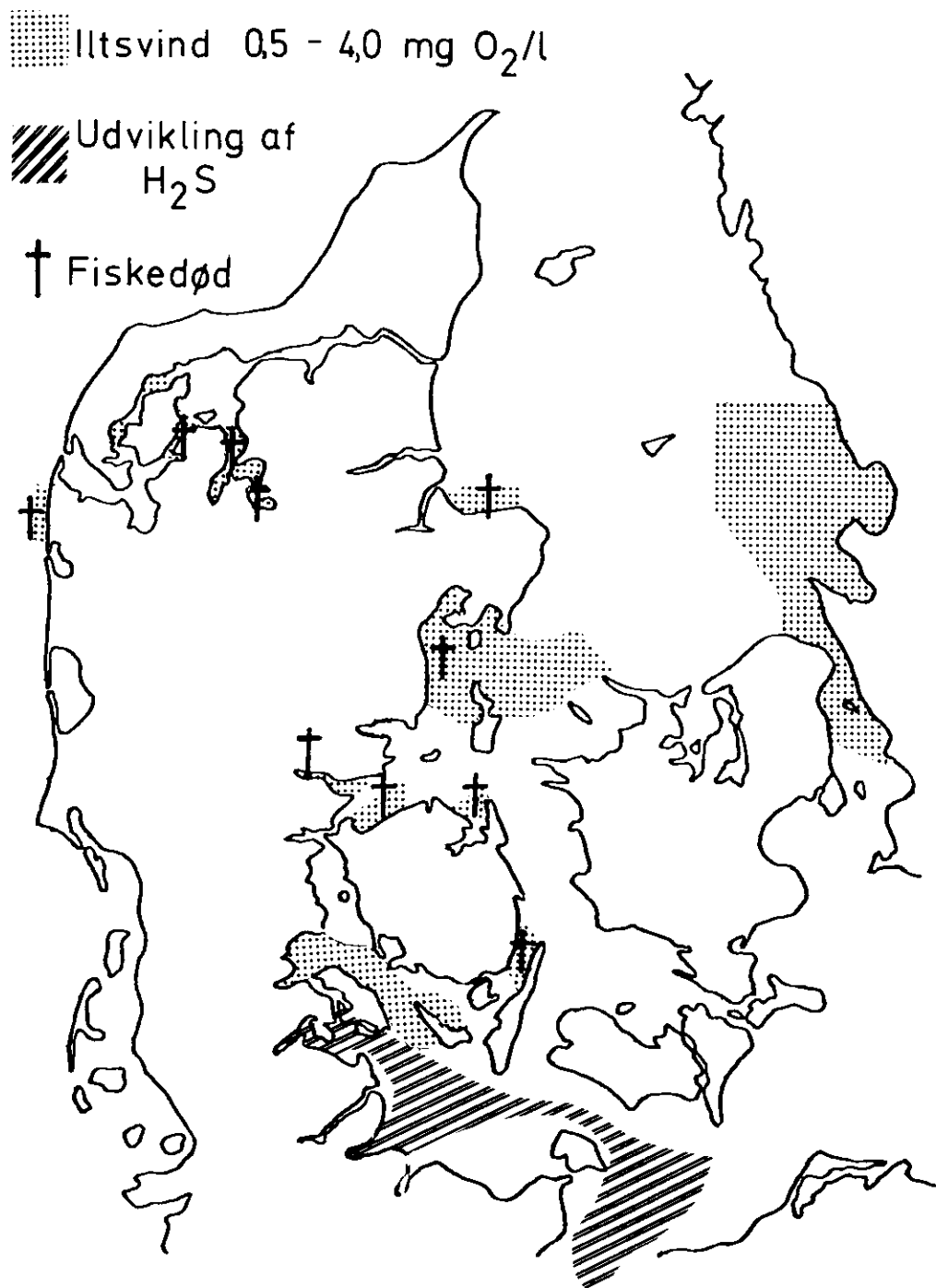


Fig. 2-1

Registreret minimumsudbredelse af iltsvindsområder, lokaliteter med tilfælde af fiskedød samt områder med svovlbrinteudvikling i 1981.

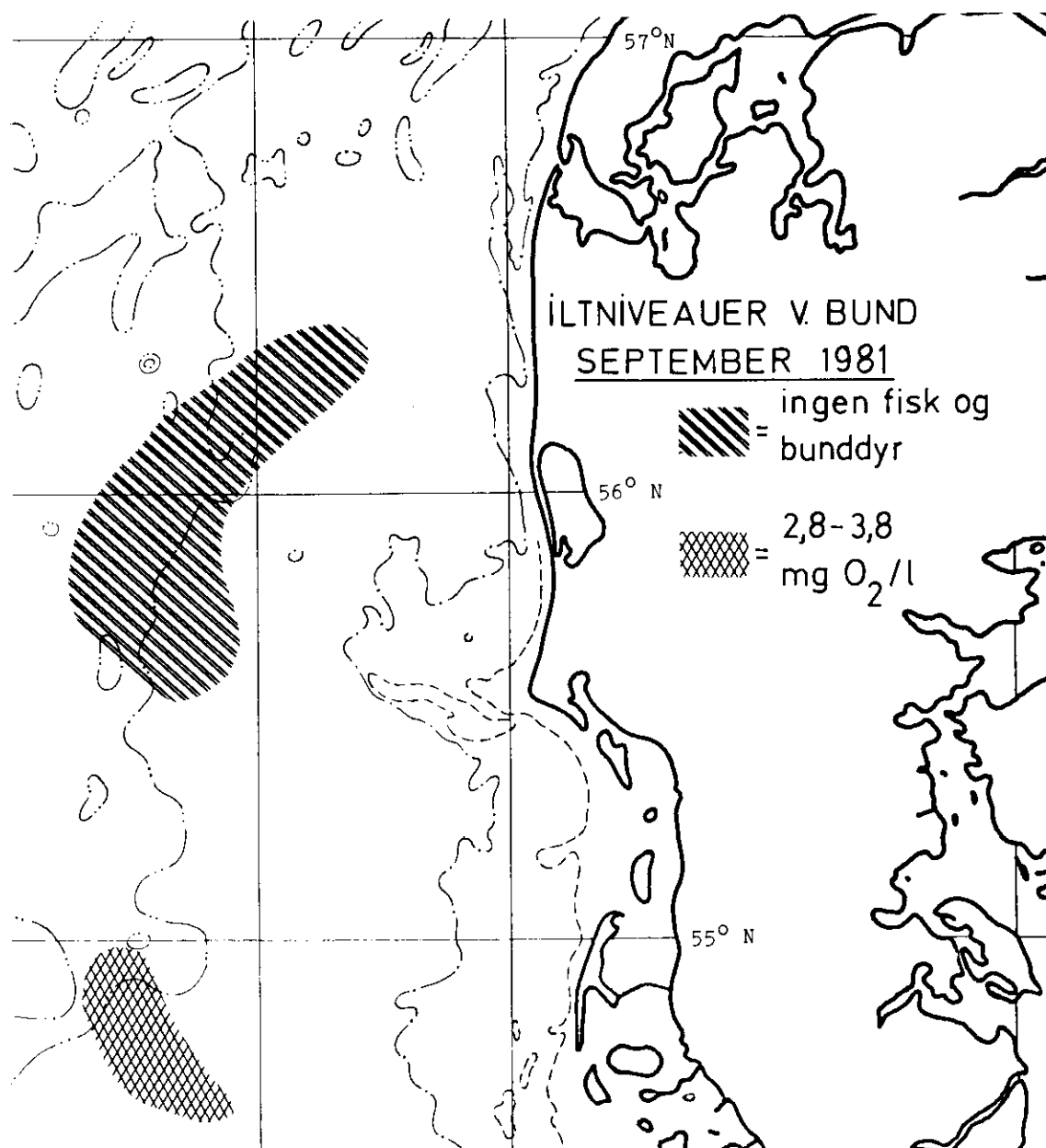


Fig. 2-2

Registreret udbredelse af områder med iltsvind og død bundfauna i Vesterhavet i 1981.

Det er karakteristisk for indberetningerne, at fiskedødstilfældene generelt er forekommet "uden varsel". Lave iltværdier ved et enkelt recipienttilsyn betød ikke nødvendigvis lave ilt-niveauer i en længerevarende periode eller fiskedød som konsekvens. Ofte er det derfor kun amtskommuner, hvor iltsvind m.m. er stadigt tilbagevendende hændelser, der har fulgt udviklingen i recipienten. Disse forhold præger indberetningerne, der resumeres i det følgende.

2.2 AMTSKOMMUNALE INDBERETNINGER OM ILTSVIND OG FISKEDØD

2.2.1 Århus amtskommune

Den 12. september 1981 observeredes tilfælde af fiskedød på Djurslands nordside. Blandt de døde fisk forekom flest almindelig ulk (Myoxocephalus scorpius), ålekvabbe (Zoarces viviparus), lidt fladfisk (Heterosomata) samt panserulk (Agonus cataphractus). Endvidere døde rejer (Natantia) og strandkrabbe (Carcinus maenas) på lavt vand. I opskyl på stranden sås levende fiskeyngel, rejer (Natantia) og andre krebsdyr (Crustacea). Endvidere sås hvide belægnin-ger af svovlbakterier, og der var lugt af svovlbrinte.

Undersøgelser af vandløb med udløb til området viste, at der ikke kunne være tale om toksiske udledninger, ligesom forgiftning fra toksiske alger ej heller kunne påvises.

Efterfølgende iltmålinger viste, at der var kritisk lave iltværdier på dybder større end 5-6 m.

Amtet konkluderede, at fiskedød skyldtes iltmangel i de bundnære vandmasser, hvorfor de bundlevende fisk var søgt ind på lavere vand. På grund af, at ilt-forbruget om natten var større end iltførslen om dagen (s. 14) blev fiskene kvalt.

Indberetninger fra fiskere i Århus viste, at der også var tale om fiskedød og bunddyrdrab i Århus Bugt, hvorfor Århus amtskommune iværksatte under-søgelser, som skulle klarlægge iltforholdene i bl.a. Århus Bugt og Kalø Vig.

Disse undersøgelser viste samstemmende iltniveauer på mindre end 2 mg O_2/l (1/2 - 1 m over bund) på stationer med vanddybder større end 10 m.

Faunaundersøgelser i den åbne del af Århus Bugten viste bl.a. døde molbo-østers (Cyprina islandica) (som er en af de mest hårdføre arter af lavere dyr, jf. s. 27), børsteorme (Polychaeta), slangestjerner (Ophiuroidea) samt slappe søstjerner (Asteroidea). Lokale fiskere oplyste til amtskommunen, at der gennem september og oktober var dårlige fangster i følgende variationer: Ingen fisk, slappe fisk, døde fisk, højtgående stimefisk, trawlet fyldt med døde børsteorme (Polychaeta) eller opsvulmede søpølser (Holothurioidea, senere bestemt til skælpølse (Psolus phantapus)).

Oplysninger fra fiskere i perioden omkring fiskedødshændelsen ved Norddjursland samt efterfølgende iltmålinger foretaget af amtskommunen viste at perioden med dårlige iltforskel i farvandene nord for Djursland samt Århus Bugt og Kalø Vig varede hele september til begyndelsen af oktober.

2.2.2 Fyns amtskommune

I perioden 26. september - 10. oktober 1981 modtog Fyns amtskommune 3 anmeldelser om fiskedød ved henholdsvis Pæregård Strand (Langelands vestkyst), Dalby Bugt og Båring Vig (Nordfyn).

I alle tre tilfælde fandtes døde fisk over flere km kyststrækning.

Blandt de døde fisk observeredes flest ising (Limanda limanda), rødspætte (Pleuronectes platessa), skrubbe (Platichthys flesus), ålekvabbe (Zoarces viviparus), alm. ulk (Myoxocephalus scorpius), endvidere sås døde torsk (Gadus morhua), havørred (Salmo trutta), tobis (Ammodytes lancea), firetrådet havkvabbe (Enchelyopus cimbrius) tangspræl (Pholis gunellus) og havkaruds (Ctenolabrus rupestris).

Der fandtes en del hesterejer (Crangon crangon) i opskyl ved Pæregaard Strand og ved Dalby Bugt mængder af mysider (Mysis spp.). På alle lokaliteter sås levende fisk på stranden.

Ved undersøgelse af de døde fisk kunne der ikke påvises spor af toksiske stoffer.

Amtet havde ved recipienttilsyn på de berørte lokaliteter umiddelbart før fiskedødshændelsen konstateret lave iltværdier.

Umiddelbart efter de indtrufne fiskedødshændelser foretog Fyns amtskommune undersøgelser af ilt, saltholdighed og temperatur de pågældende steder.

På to af lokaliteterne fandtes, at der var sket en vertikal forskydning i opadgående retning af vandmasser med kritisk lave iltniveauer.

Således blev der registreret iltværdier mindre end 4 mg/l på dybder større end 6-10 m. Tilsvarende forskydninger kunne ses for temperatur og saltholdighed. Ved Båring Vig skete der straks efter fiskedøden en opblanding af vandmasserne p.g.a. kraftigt blæsevejr, hvorfor amtskommunen ikke umiddelbart kunne påvise iltvind i overfladevandmasserne som årsag til fiskedøden i dette tilfælde, selv om saltholdigheds-målinger omkring hændelsen tyder herpå.

Amtets konklusion på de tre fiskedødshændelser var dels en unormal hydrografisk situation, som sammen med en ekstrem planktonproduktion medførte et fald i iltniveauet, og dels en forskydning af vandmasser med kritisk lave iltværdier i opadgående retning, der har tvunget fiskene ind mod og op på land.

2.2.3 Vejle amtskommune

Den 5. og 6. oktober 1981 fik Vejle amtskommune indberetning om fiskedød i Vejle Fjord og langs dennes strand. Umiddelbart efter indberetningerne foretog Vejle amtskommune undersøgelser i fjorden for indhold af ilt, svovlbrinte, toksiske alger og toksiske udledninger.

Resultater af disse undersøgelser viste, at fiskedøden ikke kunne være forårsaget af toksiske alger eller udledninger, ligesom svovlbrinte heller ikke var årsagen.

Iltmålingerne derimod viste, at der i fjorden var et meget udbredt lag af iltfattigt vand (mindre end 3-4 mg O_2 /l). Dette lag var trængt op inderst i fjorden, hvor det næsten nåede op til overfladen.

Amtskommunen pegede i sin konklusion på, at rigelige tilførsler af nærings-salte i forbindelse med godt vejr havde dannet store mængder alger.

Nedbrydningen af disse havde forbrugt store mængder ilt ved bunden. Samtidig havde indtrængning af saltholdigt bundvand fra Kattegat forskudt det iltfattige bundlag opad. Herved var fiskene blevet fanget i det iltfattige vand og kvalt af mangel på ilt.

2.2.4 Ringkjøbing amtskommune

Den 17. september 1981 fik Ringkjøbing amt indberetning om døde fisk og børsteorme ved Fjaltring Strand (den jyske Vestkyst). De opskyllede dyr var iagttaget første gang 3 dage tidligere. Helt dominerende var sandorm (Arenicola marina) og en del børsteorme (Nereis virens samt Nephtys ssp.). Imellem sås blåmusling (Mytilus edulis), strandkrabbe (Carcinus maenas), taskekrabbe (Cancer pagurus) og rejer (Natantia). Blandt fisk sås flere fladfisk (Heterosomata), enkelte ål (Anguilla anguilla) og torsk (Gadus morhua). De opskyllede dyr lå i et ca. 1/2 m bredt bælte over en indtil 500 m lang strækning.

Amtskommunen skønnede, at tidspunktet for analyser af iltforholdene var forpasset p.g.a. det sene anmeldelsestidspunkt.

Der blev analyseret for fosforpesticider (eventuelt stammende fra Cheminova-opgravningen) i fundne søtunger (Solea solea), men noget indhold kunne ikke påvises.

Undersøgelser af vandprøver for algebestemmelse viste klar dominans af furealgen, Gyrodinium aureolum. Denne art vides at kunne optræde i henholdsvis toksisk og ikke-toksisk form over for fisk og lavere dyr. Forsøg på at opformere en kultur med henblik på at fastslå, hvilken af disse to former, G. aureolum optrådte i ved Fjaltring Strand mislykkedes.

Amtet konkluderede derfor, at forekomsten af døde fisk og børsteorme ved Fjaltring Strand måtte tilskrives masseforekomst af Gyrodinium aureolum -

enten på grund af direkte toksisk effekt, på grund af lokalt iltsvind eller et samspil af begge fænomener.

2.3 BESVARELSER FRA AMTSKOMMUNER OM ILTSVINDS- OG FISKE- DØDSHÆNDELSER

Udover disse indberetninger fra Århus, Fyn, Ringkjøbing og Vejle amtskommuner modtog miljøstyrelsen i forbindelse med en rundspørge til de øvrige amtskommuner yderligere oplysninger om iltsvind og fiskedød i 1981. Således fremkom der følgende oplysninger fra Viborg og Sønderjyllands amtskommuner:

2.3.1 Viborg amtskommune

Der blev konstateret iltsvind i dele af Limfjorden, herunder Thisted Bredning, Visby Bredning, Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning.

Endvidere blev der konstateret fiskedød som følge af iltsvind nord for Virksunddæmningen og ved Hvalpsund.

Fiskedød som følge af toksiske alger blev konstateret i Glyngøre Havn.

Af disse hændelser var fiskedøden i Glyngøre Havn atypisk, idet iltsvind er regelmæssigt tilbagevendende hændelser på de øvrige omtalte lokaliteter.

I Glyngøre Havn skete der fra 9. oktober 1981 og 14 dage frem omfattende dødsfald blandt ål i hyttefade (20 tons).

Oplysninger fra Ringkjøbing amtskommune om fiskedød og masseforekomst af furealgen (Gyrodinium aureolum) ved Fjaltring Strand foranledigede Viborg amtskommune til at indsamle vandprøver til mikroskopi, iltbestemmelse samt vandkemiske forhold for at klarlægge, hvorvidt åledøden skyldtes iltsvind, toksiske alger eller ammoniakforgiftning i forbindelse med masseforekomst af alger.

Resultatet af undersøgelserne fra Glyngøre Havn viste, at iltsvind og/eller ammoniakforgiftning ikke kunne være årsag til åledøden.

Algebestemmelsen viste masseforekomst af furealgen Gyrodinium aureolum i overfladevandet. I bundlaget fandtes centriske kiselalger.

Ved undersøgelse af de døde ål sås dels tegn på forgiftning og dels ødelagt væv, hvilket indikerede, at ålene døde som følge af G. aureolum.

2.3.2 Sønderjyllands amtskommune

I farvandet omkring Als, Åbenrå Fjord, Flensborg Fjord og Haderslev Fjord blev der registreret iltmangel.

Iltmangel i disse områder er velkendte hændelser, men perioden med iltmangel i 1981 var af længere varighed end normalt.

Indtrængen af saltholdigt og dermed tungere vand i begyndelsen af juni medførte dannelsen af et stabilt springlag.

Iltindholdet i bundvandet blev hurtigt brugt op, og måleresultatet godtgjorde, at der havde været iltmangel i ca. 4 måneder, idet der først i begyndelsen af november kunne konstateres fuldstændig opblanding af vandmasserne.

2.4 SAMMENFATNING AF 1981-HÆNDELSERNE

2.4.1 Skadernes omfang

Beskadigelserne af dyrelivet er vurderet på grundlag af indberetningerne for de konstaterede skader og ud fra en viden om dyrelivets tolerance over for lave iltværdier. Sammenlignes udbredelsen af iltsvindsområderne (figur 2-1) med udbredelserne af dyresamfundene (s. 22), ses at lavtvandssamfundet og i særdeleshed fjordsamfundet blev berørt af iltsvindet.

Disse hændelser er sammenstillet i tabel 2-1 i en tidsrækkefølge.

Lavtvandssamfundet findes som regel fra strandkanten og ned til 8-10 meters dybde, i Østersøen dog helt ned til 140 meter. Samfundet omfatter bl.a. almindeligt kendte dyr som østersømusling, hjertemusling, sandmusling, sandorm og rejer. Lavtvandssamfundet omfatter hårdføre og tilpassede dyr, der kan klare det omskiftelige og dermed krævende miljø i kystzonen. Mange af dyrene i samfundet producerer larver i ufattelige mængder. En sandmusling gyder f.eks. op imod 3 millioner æg pr. sæson. Af disse overlever i gennemsnit kun 2 hvert 10. år svarende til, at sandmuslingen bliver ca. 10 år gammel. Resten bliver spist af bl.a. fiskenes yngel. Lavtvandssamfundet er fladfiskenes yngleopvækstplads.

Fjordsamfundet dækker i vore indre farvande et område, der svarer til det samlede areal af Fyn og Sjælland. Samfundet er udbredt fra omtrent 10 til omtrent 30 meters dybde. Samfundet er rigt på hurtigtvoksende muslinger og orme, der oftest kun bliver 1-2 år gamle. De fleste af de betydende dyr i samfundet har et frit-svømmende larvestadium, et forhold der har stor betydning for samfundets overlevelse. Fjordsamfundet er spisekammer for fladfisk som rødspætte, ising, skrubbe og tunge.

I den vestlige Østersø har de vesttyske myndigheder påvist, at ilten helt har været brugt op, og at der endog har været en udvikling af svovlbrinte. Dette betyder, at fjordsamfundet i dette område er lagt øde hen, da perioden med svovlbrinte varede mindst 1 måned.

I Århus Bugten har ilten også været brugt op. De lokale fiskere indberettede om døde orme i trawlene. Der må have været iltfrie forhold i mindst 4-5 døgn (jfr. s. 27), for at dette kunne ske. Fiskerne meldte om dårlige iltforhold i hele september måned. Der har tilsyneladende ikke været en udvikling af svovlbrinte i området. Udvikling af svovlbrinte finder sted efter ca. 14 dages totalt iltfrie forhold (jfr. s. 26).

Måned	Evt. dato	Lokalitet	Hændelse
Juni		Skive Fjord	Iltsvind
		Lovns Bredning	Iltsvind
		Åbenrå Fjord	Iltsvind
		Flensborg Fjord	Iltsvind
Juli		Åbenrå Fjord	Iltsvind
		Flensborg Fjord	Iltsvind
August		Skive Fjord	Iltsvind
		Lovns Bredning	Iltsvind
		Thisted Bredning	Iltsvind
		Åbenrå Fjord	Iltsvind
		Flensborg Fjord	Iltsvind
September		Skive Fjord	Iltsvind
		Lovns Bredning	Iltsvind
		Thisted Bredning	Iltsvind
		Åbenrå Fjord	Iltsvind
		Flensborg Fjord	Iltsvind
		Århus Bugt	Iltsvind
		Kalø Vig	Iltsvind
		Vesterhavet	Iltsvind
		Laholmbugten (Sv.)	Iltsvind
		dele af Øresund	Iltsvind
	12.	Djursland	Iltsvind efterfulgt af fiskedød
	14.	Virksund	- " -
	17.	Fjaltring Strand	Fiskedød p.g.a. giftige alger
	26.	Pæregård Strand	Iltsvind efterfulgt af fiskedød
Oktober		Åbenrå Fjord	Iltsvind
		Flensborg Fjord	Iltsvind
	3.	Dalby Strand	Iltsvind efterfulgt af fiskedød
	5-6	Vejle Fjord	- " -
	10.	Båring Vig	- " -
	9-23	Glyngøre	Fiskedød p.g.a. giftige alger

Tabel 2-1: Tidsserie af iltsvinds- og fiskedødshændelser i 1981

Iltsvindet indtraf, efter hovedparten af forplantningen var overstået og har antageligt lagt mere end halvdelen af fjordsamfundet øde hen. I Store Bælts centrale del er der ikke sket væsentlige skader, formentlig på grund af den specielle bundtopografi, som skaber en kraftig turbulens i området.

En rekolonisering af området må formodes at være begyndt i 1981, ved, at unge dyr er svævet ind i de øde områder med bundstrømmene. Den egentlige rekolonisering er først sket i forsommeren 1982 via fritsvømmende larver. Samfundet er formentlig blevet reetableret i normal udformning sommeren 1982.

Lavtvandssamfundet ramtes også, omend i meget mindre omfang. Strandzonens mere urolige vand fremmer iltens fordeling i hele vandsøjlen.

Fiskerierhvervets eventuelle tab er ikke forsøgt gjort op. Det er imidlertid sandsynligt, at fiskeriet efter bundlevende dyr, især fladfisk, har været stærkt berørt. Der blev i juli-august måned registreret et torskeeventyr i Åbenrå Fjord og på nord- og østsiden af Als. Der har formentlig været tale om fisk under flugt fra iltsvindsområder.

Det er også sandsynligt, at 1981-årgangen af faldfisk, der som 1-2 årige er søgt ud mod fjordsamfundets spisekammer i 1982, har fået dårlige vækstbetingelser.

2.4.2 Udbredelsen af giftige alger

Ud over iltsvind og fiskedød som følge af iltsvind forekom der i 1981 masseforekomst af toksiske alger, som i et par tilfælde forårsagede fiskedød - se tabel 2-1.

Miljøstyrelsens havforureningslaboratorium kortlagde på togter i september og oktober udbredelse og koncentration i de indre danske farvande af dels Gyrodinium aureolum og dels en for danske farvande ny art Prorocentrum minimum. (Figur 2-3 og 2-4).

G. aureolum forårsagede fiskedød ved Fjaltring Strand og i Glyngøre Havn. I samme periode (september/oktober) oplyste en fisker fra Hirtshals om mis-

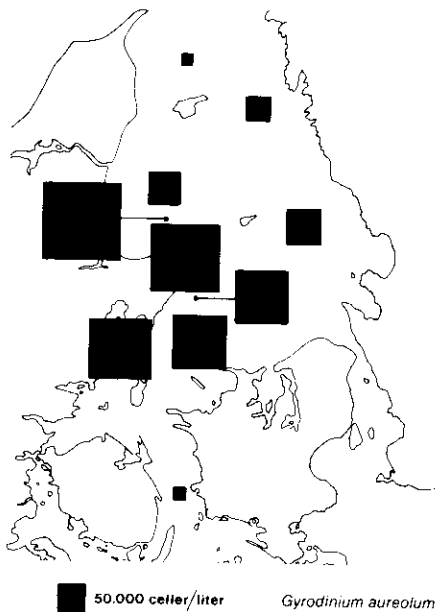


Fig. 2-3

Gyrodinium aureolum: Cellekoncentrationer

fundet i perioden 12.-14. oktober 1981.

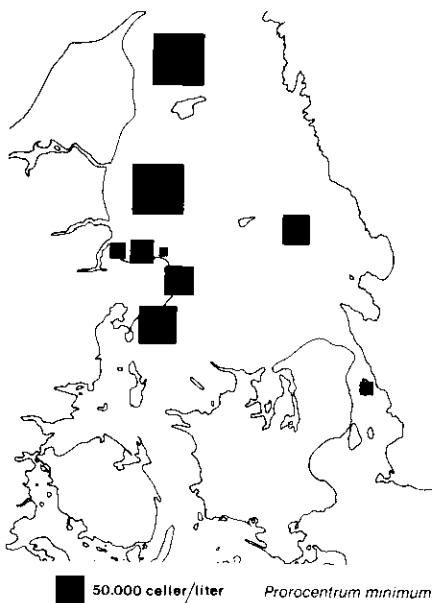


Fig. 2-4

Prorocentrum minimum: Cellekoncentrationer

fundet i perioden 12.-22. september 1981.

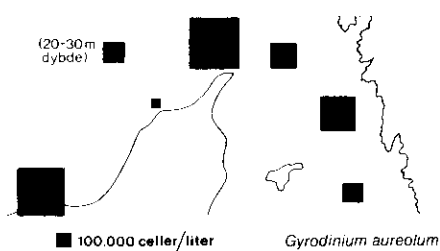


Fig. 2-5

Gennemsnitlig koncentration af den giftige planktonalge Gyrodinium aureolum i overfladelaget (0-15 m) 31. august-1. september 1982.

farvning af vandet i Skagerrak ligesom der i samme periode blev fanget døde fisk, torsk (Gadus morhua), ising (Limanda limanda) samt sårfyldte rødspætter (Pleuronectes platessa). Disse hændelser kan muligvis tilskrives forekomsten af G. aureolum.

I midten af oktober nåede G. aureolum maksimumkoncentration i Kattegat.

Fra Norge foreligger oplysninger om omfattende fiskedød som følge af G. aureolum i november (Tangen, 1983). Denne "tidsserie" for G. aureolum kunne således tyde på, at algen spredtes ved hjælp af overfladestrømme i Nordsøen og Skagerrak (Tangen, 1983) og bundstrømme i Kattegat.

Prorocentrum minimum fandtes for første gang i danske farvande i 1981. Denne alge vides at kunne forårsage muslingeforgiftning, men optrådte i Kattegat i så lave koncentrationer, at dette ikke nåede at udvikle sig til et problem.

Af figur 2-3 og 2-4 ses den maksimale koncentration af de to arter. Det kan bemærkes, at Gyrodinium aureolum nåede sit maksimum i Kattegat på samme tidspunkt, som den medførte fiskedød i Glyngøre Havn.

2.5 ILTSVIND OG MASSEFOREKOMST AF ALGER I 1982

I 1982 var der også tilfælde af iltsvind, og i et par tilfælde efterfulgtes disse af fiskedød: Nordsøen, Køge Bugt, Holckenhavn og Kalø Vig.

I forhold til tidligere blev der ikke registreret iltsvind på nye lokaliteter. Dog må et større iltsvindsområde i farvandet ud for den jyske vestkyst bemærkes, idet iltsvind i dette område alene er kendt fra 1981. Iltsvindsområdet i 1982 var her mere udbredt og mere kystnært end observeret i 1981.

Derudover ser det ud til, at iltsvindsområderne i Isefjorden breder sig ind mod land på lavere dybder end tidligere. Iltsvind blev observeret fra 4 meters dybde.

Mere bemærkelsesværdigt i 1982 var en række tilfælde af masseforekomster af alger.

Der var endvidere i flere tilfælde masseforekomster af ciliater (Mesodinium rubrum i Flensborg Fjord og Åbenrå Fjord, Eutimnus ssp. i dele af den vestlige Limfjord).

Ved Blokhus Strand var der masseforekomst af den giftige furealge, Gyrodinium aureolum, ligesom miljøstyrelsens havforureningslaboratorium registrerede masseforekomst af denne art i Skagerrak og desuden fandt den i Nordsøen og Kattegat (fig. 2-5). Koncentrationerne i 1982 af G. aureolum var væsentligt højere i det nordlige Kattegat end i 1981. Endvidere nåede algerne den maksimale koncentration i august/september 1982 i modsætning til oktober i 1981.

I dele af den vestlige Limfjord var der masseforekomst af flere arter af furealger. Blandt disse fandtes to arter, der vides at kunne forårsage fiskedød og/eller skaldyrsgiftning som følge af toksiner, Dinophysis acuminata samt Prorocentrum micans.

Endvidere var der i slutningen af juli 1982 ved at udvikles masseforekomst af blågrønalgen Nodularia spumigena i Køge Bugt og Øresund. Forekomsten nåede ikke at medføre problemer, således som det var tilfældet i Århus Bugt i 1975 og 1976. Dette forhold skyldes formentlig vejrskifte fra en varm og stille juli måned efterfulgt af en kølig og blæsende august måned.

2.6 ILTSVIND OG MASSEFOREKOMST AF ALGER I 1983

I slutningen af august 1983 (22.8 - 1.9) konstaterede havforureningslaboratoriet kraftigt iltsvind i næsten samtlige åbne danske farvande. I Nordsøen fandtes iltsvindet specielt i de samme områder, som også rantes i 1981 (se fig. 2-2). I de åbne indre farvande var der iltsvind i alle områder med undtagelse af Arkona Bækkenet.

Bundvandets iltindhold var lavere end på samme tidspunkt i 1981, og der var grund til at frygte større effekter på fisk og bunddyr end i 1981, hvis de rela-

tivt rolige vejrforhold i sidste halvdel af august fortsatte i september. Imidlertid blæste det kraftigt i første uge af september, og på et togt 8-12 september konstaterede havforureningslaboratoriet, at iltindholdet i de åbne indre farvande nu var normalt undtagen i det sydlige Lille Bælt og Kieler Bugt, hvor der også konstateredes døde bundområder men ikke svovlbrinte i bundvandet.

De urolige vejrforhold med kraftige vinde fortsatte i september og oktober, således at nye iltsvindssituationer ikke kunne opstå.

I fjorde og kystområder forekom færre iltsvindstilfælde end i de foregående år på grund af forårets og sommerens relativt urolige vindforhold. Specielt har en periode med kraftig vind omkring midten af juli blandet vandmasserne og tilført væsentlige mængder ilt til bundlaget, sandsynligvis også i de åbne havområder.

I maj 1983 optrådte planktonalgen Distephanus speculum i masseforekomst (op til 25 mio celler/l) i en form uden kiselskelet i Lille Bælt-området. Den var den sandsynlige årsag til fiskedød (regnbueørreder, Salmo gairdneri) i havbrug i Als Sund (13% dødelighed) og ved Skærbæk (1-2% dødelighed) samt død af hornfisk (Belone belone) i bundgarn i Langelands Sund. I de åbne farvande fandtes godt 2 mio celler/l i det sydvestlige Kattegat og Aalborg Bugt.

D. speculum er et gammelkendt indslag i den danske marine planktonflora, der ikke tidligere har skabt problemer. Den optræder normalt fra juli til januar med maksimum i oktober-november. Masseforekomsten i maj 1983 har muligvis relation til forårets ekstremt høje afstrømning og kvælstofbelastning fra land.

I slutningen af august 1983 dannede den potentielt giftige planktonalge Prorocentrum minimum masseforekomst med op til 53 mio celler/l i en række sydøstjyske fjorde og i Isefjorden, og der blev udstedt forbud mod indhandling af skaldyr fanget i disse områder. I de åbne farvande fandtes op til 25.000 celler/l i Store Bælt (Pedersen, 1983).

Efter udbredelsen til de indre danske farvande i efteråret 1981 har P. minimum tilsyneladende etableret sig i området og vil sandsynligvis fremover være en integreret del af den danske marine planktonflora.

KAPITEL 3

KORTLÆGNING OG BESKRIVELSE AF TILSVARENDE FÆNOMENER I
TIDLIGERE ÅR

3.1	INDLEDNING	60
3.2	ILTSVINDS- OG FISKEDØDSHÆNDELSER I TIDLIGERE ÅR	60
3.2.1	Limfjorden	60
3.2.2	Åbenrå Fjord	61
3.2.3	Isefjorden	62
3.2.4	Jyllands Vestkyst - Nordsøen	62
3.2.5	Vejle Fjord - dele af Lillebælt	63
3.2.6	Strækningen fra Frederikshavn til Sæby	63
3.2.7	Vestsjællands Store Bælt-kyst	63
3.3	INTERVIEW AF FISKERE PÅ FYN OM ILTSVINDS - OG/ELLER FISKEDØDSHÆNDELSER I TIDLIGERE ÅR	64
3.4	SAMMENFATNING	65
3.4.1	Iltsvind tæt under land	65
3.4.2	Iltsvind i åbne farvande	66
3.4.3	Masseforekomst af alger	66

3.1 INDLEDNING

Den ældste historiske optegnelse om fiskedød i danske farvande stammer fra kong Oluf Hunger's regeringstid (1086-95). Der fortælles om en periode på 7 år med misvækst og fiskedød i havet. Saxo siger herom, at den overmåde store varme og tørke i foråret og sommeren kombineret med hyppig, kraftig regn i august var skyld heri (Schytte, 1789).

For at belyse, hvorvidt omfanget af iltsvind og fiskedød i 1981 adskilte sig væsentligt fra tilsvarende hændelser i tidligere år, har miljøstyrelsen bedt amtskommunerne og videnskabelige institutioner om oplysninger vedrørende udbredelse af iltsvind og fiskedød i tidligere år.

Det har kun i begrænset omfang været muligt at få belyst omfanget af sådanne hændelser i tidligere år. Således foreligger oplysninger om iltsvind i dele af Limfjorden og Åbenrå Fjord, der begge er velkendte problemområder. Endvidere er der spredte oplysninger om iltp problemer i tidligere år fra Isefjorden, Vejle Fjord, strækningen fra Frederikshavn til Sæby og Nordsøen samt langs dele af Vestsjællands Store Bælt-kyst.

Som supplement til de forholdsvis få og spredte oplysninger om tidligere tilfælde af iltsvind og fiskedød foretog miljøstyrelsen sammen med Fyns amtskommune en interviewundersøgelse af fiskere på Fyn. Interview'ene skulle medvirke til en afklaring af, hvorvidt iltsvinds- og fiskedødshændelserne i 1981 var ekceptionelle i forhold til tidligere år.

3.2 ILTSVINDS- OG FISKEDØDSHÆNDELSER I TIDLIGERE ÅR

3.2.1 Limfjorden

Limfjorden hører til et af de bedst undersøgte vandområder, og der foreligger siden 1896 rapporter om iltsvind, fiskedød og døde bunddyr, f.eks. i rapporter fra Dansk Biologisk Station.

I perioden 1973-78 har bearbejdning af data, observationer samt interviews givet grundlag for en vurdering af hyppigheden og udbredelsen af iltsvindstilfælde i dele af fjordsystemet (Jørgensen, 1980).

Iltsvindshændelserne i Limfjorden kan karakteriseres på følgende måde:

- rådden lugt, fangst af døde fladfisk,
- trawl fyldes med børsteorme,
- fisk trækker væk fra området,
- iltmålinger viser iltniveauer, der ofte er mindre end 1 mg O_2/l .

Udbredelsen og hyppigheden af iltsvindshændelser i Limfjordssystemet fremgår af nedenstående fig. 3-1:

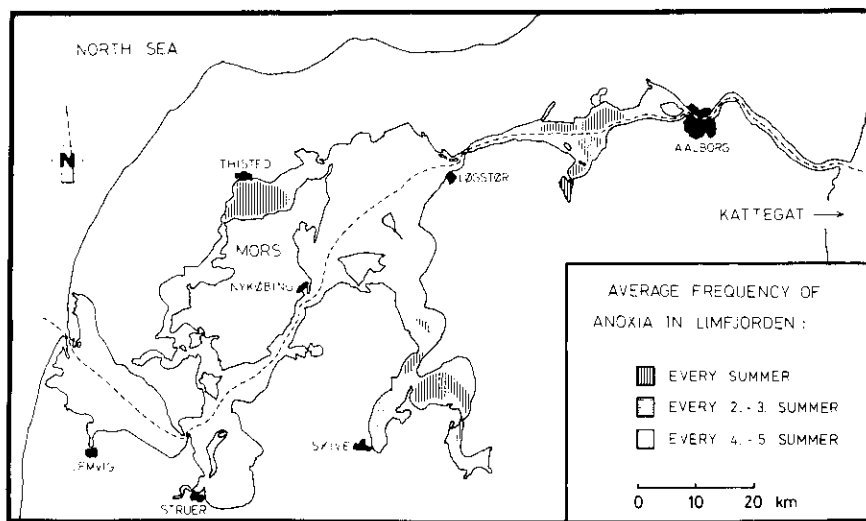


Fig. 3-1 Hyppighed og udbredelse af iltsvindsområder i Limfjorden (Jørgensen, 1980).

Limfjordens areal er på ca. 1500 km², og heraf er ca. 350 km² (svarende til 20%) i større eller mindre omfang ramt af iltsvind næsten årligt.

3.2.2 Åbenrå Fjord

Om Åbenrå Fjord vides, at indtrængen af saltvand ofte vil medføre et fald i iltindholdet i bundlagene på grund af manglende vertikal opblanding.

Hyppigheden og udbredelsen af sådanne perioder med iltsvind kendes ikke i detaljer i øjeblikket.

3.2.3 Isefjorden

Iltsvind er kendt i Isefjorden i hvert fald tilbage til 1911. Siden har der enkelte år (1934, 1954, 1970 og sidst 1982) været konstateret iltsvind med efterfølgende død af bunddyr og fisk (Steemann, 1951, Rasmussen, 1973).

3.2.4 Jyllands vestkyst - Nordsøen

I 1968 blev der det meste af sommeren indtil oktober observeret store algeforekomster langs det meste af Jyllands vestkyst. Sideløbende blev der rapporteret om fiskedød på forskellige lokaliteter med kulmination i oktober ved Vendsyssel og Skagen, hvor store mængder døde fisk, især torsk (Gadus morhua), samt forskellige døde bunddyr blev skyllet i land (Hansen et al., 1969).

Den mulige sammenhæng mellem masseforekomst af alger og de døde fisk og bunddyr førte til undersøgelser af planktonsammensætningen.

Denne viste en kraftig dominans af en furealge, der foreløbig bestemtes til Gymnodinium breve Davis (Hansen et al., 1969), men som efterfølgende er blevet bestemt til Gyrodinium aureolum (Olrik og Christensen, 1983). G. aureolum udgjorde indtil 99% af planteplanktonet (svarende til 8 millioner celler/l).

Mulig toksisk effekt over for fisk blev undersøgt, men kunne ikke påvises, hvorfor det var nærliggende at konkludere, at fisk og bunddyr døde som følge af algernes iltforbrug til ånding (Hansen et al., 1969).

Nyere undersøgelser indikerer, at Gyrodinium aureolum i masseforekomst ikke forårsager fiskedød i form af kvælning som følge af iltmangel. Derimod forekommer der vævsødelæggelser bl.a. i gællerne, hvorfor fiskenes iltoptagelse svækkes (Tangen, 1983, Olrik og Christensen, 1983).

3.2.5 Vejle Fjord - dele af Lillebælt

I perioden 1971-1980 er der lejlighedsvis målt iltniveauer mindre end 4 mg O_2 /l.

Den største udbredelse af områder med lave iltniveauer blev konstateret i 1975, hvor store dele af Lillebælt havde iltkoncentrationer fra 1,2 - 2,9 mg/l på dybder fra 12,5 til 17,5 m.

3.2.6 Strækningen fra Frederikshavn til Sæby

Der har været registreret to tilfælde af fiskedød i farvandet ud for Frederikshavn - Sæby, henholdsvis i 1977 og i 1979.

Tilfældet i 1977 blev ikke undersøgt tidligt nok til at afgøre, om iltsvind var årsagen til fiskedøden.

Fiskedøden i 1979 skyldtes iltsvind muligvis kombineret med efterfølgende frigivelse af svovlbrinte.

Området ud for Sæby, hvor fiskedøden indtraf i 1979, er kraftigt spildevandsbelastet. En stor nedbørsmængde i forårs månederne medførte en øget afstrømning fra land, og området tilførtes således yderligere næringssalte. En opmudring af havnebassinet i Sæby tilførte vandmasserne svovlbrinteholdigt og iltforbrugende stof.

Der har således været gode betingelser for en forøget planktonproduktion og derigennem et øget iltforbrug. Tilførslen af iltforbrugende stof fra havnebassinet har yderligere reduceret vandets iltindhold med fiskedøden til følge.

3.2.7 Vestsjællands Store Bælt kyst

Fiskere langs Vestsjællands Store Bælt kyst har meddelt Vestsjællands amtskommune, at de periodisk har konstateret iltsvind i dele af Jammerland Bugt, i farvandet nord for Røsnæs samt i farvandet nord for Agersø indtil Korsør.

Iltsvindshændelserne falder næsten altid sammen med perioder med stille og varmt vejr. Lejlighedsvis dør fiskene i bundgarn.

3.3 INTERVIEW AF FISKERE PÅ FYN OM ILTSVINDS- OG/ELLER FISKEDØDS- HÆNDELSER I TIDLIGERE ÅR

Interview af fiskere på Fyn viste, at iltsvindsområder (surbund) altid har været velkendte problemer i varme sommerperioder med stille vejr.

Iltsvindsområder har været hyppigt forekommende i mindre bugter og vige, men er også registreret på dybere vand med hård bund.

Fiskerne oplever iltproblemer på dybere vand - d.v.s. fra ca. 8 m og dybere - ved at fiskene trækker op på kanterne, og at der i en forholdsvis kort periode (vindafhængigt) kan trawles ret intensivt i det berørte område.

De områder, der er kendt af de interviewede fiskere som iltsvindsområder gennem længere tid, fremgår af fig. 3-2 nedenfor

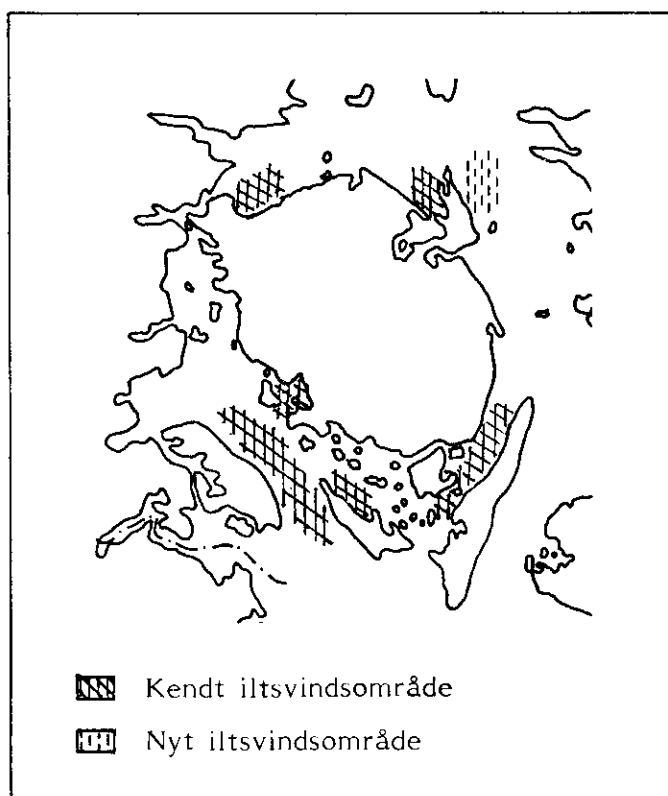


Fig. 3-2 Kendte og nye iltsvindsområder i kystnære områder omkring Fyn.

Udover disse iltsvindsområder fremkom der ved interviewene oplysninger om nyere områder med tilsyneladende iltsvind. Disse områder er ligeledes markeret på fig. 3-2.

Det ses, at der muligvis har været problemer i den vestlige del af farvandet mellem Fynshoved og Sjælland. Det er især i de seneste år og formentlig også i 1981, at dette område har givet problemer for fiskerne. Området er nyt - både i forhold til de områder, fiskerne har kendt gennem længere tid og i forhold til de indberetninger, der foreligger for 1981 og 1982. Fiskerne blev opmærksomme på iltproblemerne i dette område, idet farvandet her er fiskeplads for bl.a. trawlere fra Kerteminde.

Interviewene med de fynske fiskere har vist, at iltsvindsområder altid har været kendt. Men det er fiskernes oplevelse, at hyppigheden af iltsvindhændelser er øget, ligesom udbredelsen af iltsvindsramte områder synes øget gennem de seneste 10-20 år.

3.4 SAMMENFATNING

3.4.1 Iltsvind tæt under land

I løbet af de sidste 10 år er der årligt registreret områder med lave iltværdier fortrinsvis i varme sommerperioder med stille vejr. De berørte områder er typisk bugter og vige med stillestående vand.

Fra Limfjorden, jfr. figur 3-1, er tilfældene almindeligt kendte. Det samme gælder for Flensborg Fjord og Åbenrå Fjord (s. 131).

En interview-undersøgelse af fynske fiskere i 1982 pegede på tilstedeværelsen af gammelkendte problemområder, men også på, at der er sket en forværring (figur 3-2).

Der er også sket en forværring i Limfjorden, idet iltsvindstilfældene er blevet hyppigere ikke kun i Lovns Bredning, hvor hyppigheden er øget stærkt efter bygningen af Virk-sunddæmningen.

3.4.2 Iltsvind i åbne farvande

I den vestlige Østersø registreres årligt lave iltniveauer, men i 1981 var det første gang, at omfattende udvikling af svovlbrinte blev registreret.

Ved den svenske kyst ved Skälderviken og Laholmbugten er der sket en forværring af iltforholdene.

I Århus Bugten er der ikke tidligere registreret så omfattende iltsvind.

Den vestlige Østersø, Århus Bugt og det sydøstlige Kattegat er alle åbentvandsområder med vanddybder op til eller over 15 m. Der er jævnligt målt lave iltværdier i efterårsperioden, men ikke så alarmerende lave som i 1981.

En række områder, især kystnære, ramtes også af iltsvind i 1982, og i 1983 forekom igen omfattende iltsvind i de åbne farvande. Det vil sige, at dyresamfundene 3 år i træk er blevet beskadiget i større eller mindre grad.

Sammenfattende kan det siges, at iltsvind altid har været et kendt problem i stillestående vand. Med de informationer, der foreligger om iltsvind og fiskedød i tidligere år og i 1981 og 1982, kan det konstateres, at områder med iltsvind dels har bredt sig også til ikke tidligere kendte områder, f.eks. den sydlige del af Vesterhavet, dels forekommer hyppigere.

3.4.3 Masseforekomst af alger

Ligesom der tidligere har været konstateret iltsvind og lejlighedsvis fiskedød, har der også været tilfælde af masseforekomst af alger, der i visse situationer har forårsaget dels døde fisk og lavere dyr, dels døde hunde. Disse tilfælde resumeres kort nedenfor.

	Tid og sted	Art	Effekt
Blågrøn- alger	1971 Århus Bugt	Nodularia spumigena	døde hunde
	1975 Århus Bugt	"	"
	1976 Århus Bugt	"	"
Fure- alger	1968 Vesterhavet	Gyrodinium aureolum	døde fisk og lavere dyr
	1973 Horn Sø v/ Lemvig	Oxyrrhis marina	døde fisk *)
Hapto- phyceer	1939 Ketting Nor, Als	Prymnesium parvum	døde fisk
	1939 Selsø Sø, Hornsherred	"	"
	1978 Ringkøbing Fj.	"	"

Tabel 3-1: Oversigt over forekomst og effekt af giftige alger i marine og brak-
ke vandområder.

(Olrik og Christensen, 1983 - *) Kristensen, 1974).

Masseforekomsten af alger og herunder forekomsten af toksiske alger er inden
for en 10-års periode blevet hyppigere med foreløbig kulmination i 1981 og 1982.

Det er endvidere bemærkelsesværdigt, at nye algearter tilsyneladende er ved
at etablere sig i danske farvande, som f.eks. Prorocentrum minimum.

KAPITEL 4

NÆRINGSSALTBELASTNING FRA LAND OG FRA ATMOSFÆREN

4.1	INDLEDNING	69
4.2	METODE	71
4.2.1	Belastning fra land	71
4.2.1.1	Belastningen fra dansk land	71
4.2.1.2	Belastningen fra svensk land	74
4.2.2	Belastning til det åbne farvand	78
4.2.3	Belastning fra atmosfæren	79
4.3	RESULTATER	83
4.3.1	Belastning fra land	83
4.3.2	Belastning fra atmosfæren	84
4.3.3	Samlede belastning	85
4.4	BELASTNINGENS UDVIKLING	85
4.4.1	Udviklingen i transporten af nitratkvælstof i danske vandløb	85
4.4.2	Perioden 1975-81	89
4.4.3	Forhold af betydning for udviklingen i næringssaltbelastningen i dette århundrede	93
4.5	KONKLUSION	95

4.1 INDLEDNING

Nærværende kapitel omhandler næringssaltbelastningen af Kattegat og Bælthavet i perioden 1975-81.

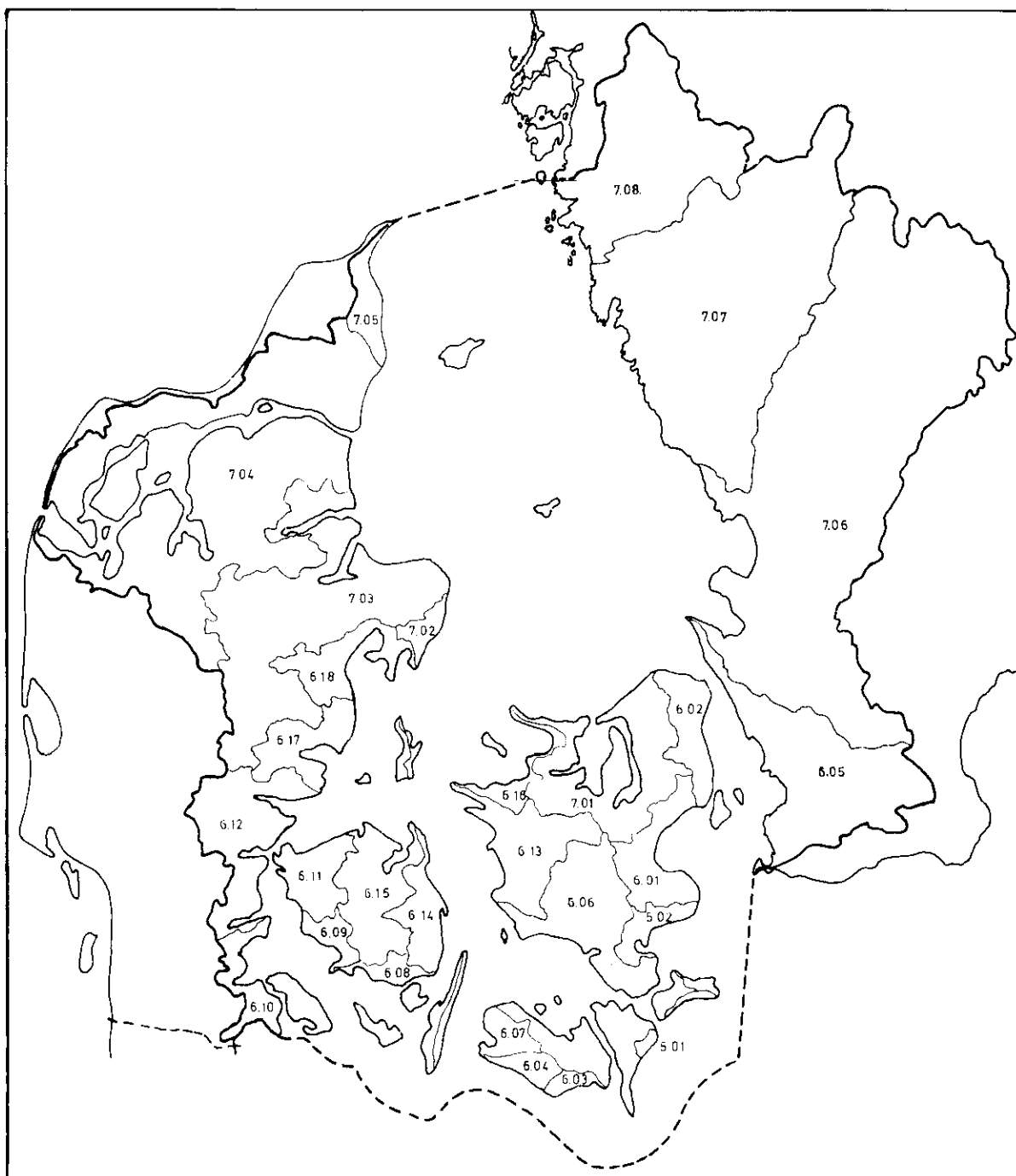
Belastningen fra dansk land er tidligere beskrevet i en rapport fra miljøstyrelsen "Opgørelse af belastningen fra land af de indre danske farvande med organisk stof, total-N og total-P" (Miljøstyrelsen, 1983). Beskrivelsen af denne del af belastningen er derfor summarisk, idet der henvises til ovennævnte rapport.

Opgørelsen af belastningen fra svensk land er baseret på oplysninger stillet til rådighed af svenske myndigheder samt fra Øresundskommissionen.

Opgørelsen af belastningen af Kattegat fra atmosfæren er baseret på danske, svenske og norske data, som er sammenstillet af miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium.

Med hensyn til fordeling af belastningen på kildetyper er der i opgørelsen af belastning fra dansk land foretaget en detaljeret beskrivelse, mens der for belastningen fra svensk land og for atmosfærelastninger ikke har kunnet foretages en tilsvarende detaljeret beskrivelse inden for undersøgelsens rammer.

Afslutningsvis er foretaget en vurdering af udviklingen i belastningen af indre danske farvande med næringssalte med henblik på at belyse, hvorvidt forholdene i 1981 har afvejet fra forholdene i tidligere år, herunder er der opstillet en tidsserie for kvælstoftransporten i Odense Å (1967/68-1974/75) samt Gudenåen (1967/68-1975/76).



Figur 4-1: Områdefægrænsning for belastningsopgørelsen.

4.2 METODE

Vurderingen af belastningen med næringssalte er foretaget på grundlag af foreliggende oplysninger, som er indsamlet og systematiseret.

Det farvandsområde, belastningen vurderes for, er afgrænset ved (figur 4-1):

Mod nord:	Skagen-Pater Noster (Marstrand)
Mod Østersøen:	Falsterbo-Darsser Ort
Mod Øst-/Vest-tyskland:	Grænsen for det danske koncessionsområde

Havoverfladen inden for det således afgrænsede område udgør 38.000 km^2 , hvoraf Kattegat (til Sjællands Odde-Hasenøre) udgør 21.000 km^2 .

Afstrømningsoplandet til dette farvandsområde udgør i alt 57.200 km^2 (eksklusive Vänern med opland, der udgør ekstra ca. 45.000 km^2).

4.2.1 Belastning fra land

4.2.1.1 Belastningen fra dansk land

Grundlaget for opgørelsen har været oplysninger vedrørende stoftransporter i vandløb, fra rensningsanlæg og fra industrier indhentet hos amtskommunerne via miljøstyrelsen, samt forureningskilder indhentet fra miljøstyrelsens database for spildevandplaner (Miljøstyrelsen, 1980). Til vurdering af belastningen fra landbrugsjorder og skov har landbrugsministeriets arealdatakontor og Statens Planteavlfsforsøg bidraget med forudsætningerne til beregningsgrundlaget (Landbrugsministeriet, 1982).

Hedeselskabets hydrometriske Undersøgelser har beregnet afstrømningen fra de danske landområder i perioden 1975-81 (Det danske Hedeselskab, 1982). Endelig er erfaringer og målinger fra tidligere belastningsopgørelser indgået i vurderingerne.

For at kunne vurdere, i hvilket omfang belastningen kan kontrolleres, er det nødvendigt at opdele den samlede belastning efter de kilder, der bidrager til denne. Denne opdeling beskrives ved:

Punktkilder:	Udledninger fra rensningsanlæg Særskilte udledninger fra industrier Særskilte udledninger fra dambrug
Diffuse kilder:	Urban afstrømning Bidrag fra det åbne land: - arealbelastning . bidrag fra dyrkede arealer . bidrag fra skov- og hedearealer m.m. - spredt bebyggelse - afledning af møddingvand, ajle, ensilagesaft, gylle m.v.

Det generelle princip ved beregninger består af en vurdering af belastningerne fra hver enkelt kildetype i oplandet.

En del af disse belastninger når farvandsområdet gennem fjorde eller vandløb og søer og vil dermed især for organisk stofs vedkommende blive reduceret, det vil sige formindsket, ved biologisk omsætning, sedimentation m.v.

Med henblik på en arealmæssig fordeling af belastningerne er de indre danske farvande opdelt i en række farvandsområder (bokse).

Svarende til denne opdeling af farvandet er det samlede opland til dette opdelt i oplande, hvoraf belastningen beregnes.

Punktkilder

Opgørelsen over de enkelte kildebelastninger er foretaget som følger:

Rensningsanlæg:

- data fra recipientundersøgelser
- data fra amtskommunerne
- miljøstyrelsens database for spildevandsplaner.

Særskilte udledninger (industrier):

- miljøstyrelsens rundspørge til amtskommunerne
- miljøstyrelsens database for spildevandsplaner.

Særskilte udledninger (dambrug):

- miljøstyrelsens database for spildevandsplaner.

Til beregning af udledning fra dambrug er anvendt følgende enhedsudledninger:

0,12 tons total-kvælstof/dam/år

0,01 tons total-fosfor/dam/år

1 tons O_2 /dam/år

Diffuse kilder

Urban afstrømning:

Den urbane belastning er beregnet ved for 80% af byzonearealet at regne med følgende belastning i middel for perioden 1975-81:

total-N:	1,2 tons N/km^2 pr. år
total-P:	0,1 tons P/km^2 pr. år
COD:	10 tons O_2/km^2 pr. år

Den urbane belastning antages at variere svarende til variation i afstrømningen fra land.

Bidrag fra det åbne land:

Arealbelastningens tidsmæssige variation afhænger af en lang række forhold, hvoraf et af de væsentligste er afstrømningen. Da belastningsopgørelsen er foretaget for en forholdsvis kort årrække og for store afstrømningsområder, er det vurderet, at en variation i arealbelastningen svarende til variationen i afstrømningen er en rimelig antagelse.

Belastningen fra spredt bebyggelse og fra møddingsvand, ajle, ensilage-saft m.v. er vurderet ved for en række afstrømningsområder at sammenligne belastningen fra alle andre kilder med den samlede belastning fra området. På basis af de herved beregnede restled er belastningen fra spredt bebyggelse og ajle m.m. skønnet som middel at udgøre:

total-N:	0,8 tons N/km ² pr. år
total-P:	0,03 tons P/km ² pr. år
COD:	3,5 tons O ₂ /km ² pr. år.

Belastningen antages at variere svarende til afstrømningen.

Den samlede belastning til farvandsområdet beregnes som summen af punktkilder og diffuse kilder i oplandet. En del af denne belastning strømmer til kysten via vandløb og søer og vil dermed blive reduceret.

Det er imidlertid vurderet, at denne reduktion i forhold til den samlede belastning - og usikkerheden på denne - er uden væsentlig betydning. Specielt for organisk stof må der dog regnes med en vis overvurdering af belastningen.

4.2.1.2 Belastningen fra svensk land

Opgørelsen baseres på oplysninger stillet til rådighed af følgende myndigheder:

- Statens Naturvårdsverk, Tekniska avdelingen

- Länsstyrelsen, Göteborg og Bohus Län, Planeringsavdelingen
- Länsstyrelsen, Hallands Län
- Länsstyrelsen, Kristianstads Län, Planeringsavdelingen
- Öresundskommissionen.

I tabel 4-1 er der oversigtsmæssigt vist omfanget af de data, der er til rådighed for belastningsopgørelsen. Der er endvidere beskrevet, hvorledes belastningsfordeling sted- og tidsmæssigt er vurderet på eksisterende grundlag. De pågældende data beskrives nærmere i det følgende.

Opland	Belastning fra	Oplysninger Q + koncentrationer eller transporter	Frekvens pr. år	Periode	Beregningsmetode for transporter 1975 - 1981
7.08	Götaälv Göteborg spildevand	Q, IN, TP 21 Transport TP	Q: 12, IN: 4 —	1975 + 1977-81	1976 beregnes ud fra 75 og belastningsforhold 4 TN:75 i Laholmsbugten, TP: 1,57 - IN. TN:TP= 6:1. Konstant belastning.
7.02	B vandløb i Halland 1) Diffus kystzone Spildevand og industri med direkte udløbning	Transport TN,TP Transport TN,TP Transport TN,TP	Årsverdier (baseret på månedsværdier) Årsværdi Årsværdi	1975-77 1980 1980	1978-81 beregnes ud fra gns. belastningsforhold mellem de 8 vandløb og Laholmsbugten i perioden 1975-77. Årsvariation svarende til Laholmsbugten Konstant 50% af denne belastningstype fra Hallands Län Konstant. Er vurderet til 50% af denne belastningstype fra Hallands Län
7.06	Laholmsbugtens vandløb Pannån Vegnen Diffus kystzone Spildevand og industri med direkte udløbning	Transport TN,TP Q, TN, TP Q, TN, TP Transport TN,TP Transport TN,TP	12 12 4 Årsværdi Årsværdi	1972-73 1975-81 1981 1980 1980	— 1975-80 beregnes ud fra belastningsforhold mellem vandløbene og Laholmsbugten i 1981. Konstant. Kristianstads Län + 50% af Hallands Län Konstant. Kristianstads Län + 50% af Hallands Län
6.05	5 vandløb 3) Diffus kystzone Spildevand og industri med direkte udløbninger	Transport TN,TP Transport TN,TP Transport TN,TP	Årsverdier Årsverdier Årsverdier	1977 1977 1977	Analogt til de 8 vandløb i Halland. Konstant Konstant

1) Kungälvskålen, Rolfsån, Låftåsen, Viskan, Nisjöån, Tvåker kanal, Åtran, Suseån.

2) Q: vandføring, TN: tor-N, EN: uorganisk-N, TP: tot-P.

3) Plån, Sidsån, Kärtingebån, Hålsån, Segån.

Tabel 4-1: Datagrundlag og beregningsmetode for belastningen fra svensk land.

Belastning fra Göteborg og Bohus Län

Belastningen fra Götaelven i område 7.08 opstrøms udledningen fra selve Göteborg by er målt i elvens to grene ved henholdsvis Lärjeholm og Ormo.

Til belastningsopgørelsen er anvendt følgende målte variable:

- vandføring
- koncentration af uorganisk kvælstof (ammonium og nitrat)
- koncentration af total-fosfor.

Målingerne af vandføringen er foretaget på månedsbasis, mens koncentrationerne er kvartalsværdier. Ud fra koncentrationerne af uorganisk kvælstof beregnes koncentrationen af total-kvælstof, idet der forudsættes at være et konstant forhold mellem totalmængden og den uorganiske fraktion.

Forholdet skønnes ud fra målinger i Götaelven ved Trollhättan at udgøre:

$$\frac{\text{tot-N}}{\text{uorg-N}} = 1,57$$

Belastningen fra Göteborg by er oplyst at være følgende:

4,8 tons total-N/døgn

0,8 tons total-P/døgn.

Disse værdier er omtrentlige. Mængden af kvælstof er beregnet ud fra fosformængden og erfaring for et forhold mellem kvælstof og fosfor på 6:1.

Udover belastningen fra Götaelven og Göteborg by regnes der ikke med belastningen i øvrigt fra Göteborg Län, idet der ikke strømmes andre vandløb af betydning ud fra lenet til Kattegat.

Belastning fra Hallands Län

Belastningen fra Laholmbugten i område 7.06, som er beliggende i Hallands Län, er godt belyst, idet der fra svensk side foregår en opgørelse på månedsbasis af belastningen med total-N og total-P for undersøgelsesårene 1975-81 (Fleischer, et al., 1982).

For de øvrige større vandløb i lenet (område 7.06 og 7.07), som ikke munder ud i Laholmbugten, er belastningen som årstotaler af total-N og total-P i årene 1975-77 oplyst af Hallands Län. Belastningernes fordeling på månedsbasis er foretaget på baggrund af fordelingen i Laholmbugten. Belastningernes totale størrelse i årene 1978-81, som ikke er oplyst, er skønnet ud fra variationen i årsbelastningen fra vandløbene til Laholmbugten.

Udledningen fra rensningsanlæg i kystbyerne og fra industri antages at have været konstant i perioden 1975-81 og lig med de opgjorte mængder for 1980. Diffus belastning fra kystzonen er størrelsesmæssigt af underordnet betydning og regnes i denne sammenhæng for konstant.

Belastning fra Kristiansstads Län

Belastningen fra Skälderviken i område 7.06 fra Rønneåen og Vegeåen, som er de betydeligste vandløb i lenet, er målt i 1981 på henholdsvis måneds- og kvartalsbasis. Der er målt både total-N og total-P. Med hensyn til belastningen i de forudgående år foreligger der ikke målinger. Belastningens størrelse og fordeling i disse år er bestemt ud fra målingerne fra Laholmbugten.

Belastningen fra rensningsanlæg i kystbyerne, fra industri og fra den diffuse udledning i kystzonerne antages - som for Hallands Läns vedkommende - at være konstant og lig med de oplyste mængder for 1980 i hele perioden fra 1975 til 1981.

Öresundskommissionen

Oplysninger om belastningen fra svensk side i Øresund i område 6.05 er tidligere beskrevet i "Öresund. Tilstand-effekter av närsalter" (Öresundskommissionen, 1980).

De direkte spildevandsudledninger til Øresund fra kommunale rensningsanlæg og industri antages at være konstante i perioden 1975-81 og svarer til de for 1977 målte.

Den samlede belastning fra vandløb og diffus belastning fra kystzonen er opgjort for 1977. Belastningerne for de øvrige år skønnes ud fra belastningsvariationen til Laholmbugten.

4.2.2 Belastning til det åbne farvand

En del af belastningen til fjorde med ringe vandskifte når ikke ud til det åbne farvand, idet der ved nettosedimentation og denitrifikation tilbageholdes eller fjernes næringssalte. Disse mekanismer vil især for fjorde med lang opholdstid som f.eks. Limfjorden og Roskilde Fjord/Isefjorden væsentligt kunne reducere belastningen til det åbne farvand.

I forbindelse med belastningsopgørelsen for de indre danske farvande (Miljøstyrelsen, 1983) blev der foretaget en vurdering af stoftilbageholdelsen i Limfjorden. Det skønnedes her, at 85% af kvælstoffet og 80% af fosforen tilbageholdtes, således at dette ikke strømmede ud fra fjorden.

Ved nærværende opgørelse anvendes disse tilbageholdelsesprocenter, for så vidt angår, Limfjorden og Roskilde Fjord/Isefjorden, mens det for de øvrige fjorde skønnes, at tilbageholdelsen er uden væsentlig betydning.

4.2.3 Belastning fra atmosfæren

Havområder tilføres næringssalte direkte fra atmosfæren ad to principielt forskellige veje - våd og tør afsætning eller deposition.

Bestemmelse af depositionen

Den våde deposition sker udelukkende gennem nedbøren, og såvel nærings-saltets koncentration i nedbøren som nedbørsmængden er bestemmende for, hvor store mængder der deponeres. Sædvanligvis opfattes den våde deposition som uafhængig af udslip fra lokale kilder. På grund af ammoniaks (NH_3) store reaktivitet med vand kan det imidlertid være problematisk at overføre data for ammonium-kvælstofdepositionen for landbaserede stationer til havområder.

Våddepositionen bestemmes ideelt set ved at bestemme næringssaltkoncentrationen i nedbørsprøver fra en nedbørsopsamler, der kun er åben, når det regner. Derefter multipliceres med nedbørsmængden bestemt med en nedbørsmåler.

$$\begin{array}{ccccc} \text{Våddeposition} & = & \text{koncentration i nedbør} & \times & \text{nedbørsmængde} \\ (\text{mg}/\text{m}^2) & & (\text{mg}/\text{l}) & & (\text{mm}) \end{array}$$

Indtil for nylig er de kemiske analyser foretaget på nedbørsprøver opsamlet med en konstant åben opsamler. Dette indebærer en risiko for forurening af nedbørsprøven på grund af støvfald, især hvis perioden mellem tømning af opsamlere er lang.

Da der i dag kun er to stationer i drift i Danmark for måling af våddepositionen, og der tidligere har været et større antal stationer i drift, er der for at sikre den nødvendige repræsentativitet foretaget en grov sammenligning:

	kg/km ² /år	
	<u>NO₃⁻-N</u>	<u>NH₄⁺-N</u>
Statens Planteavlfsforsøg, 1957-61, gms. af 10 stationer	230	460
Statens Planteavlfsforsøg, 1970-77, gms. af 15 stationer	490	710
Miljøstyrelsen, 1978-81, gms. af 2 stationer	377	550

Konklusionen er, at der fra 1957-61 til 1970-77 er tale om en reel stigning i depositionen. Under hensyntagen til forskelle i opsamlingsmetode af nedbøren og beregningsmetode i middelværdier er der ikke grundlag for at antage nogen forskel i depositionen mellem perioderne 1970-77 og 1978-81.

En analyse af dataene for ammoniakkvælstof fra de to danske stationer, Tange i Midtjylland og Keldsnor på Langeland, viser, at der er så store tidsmæssige variationer i dataene fra Tange, at disse ikke kunne anses for at være repræsentative for et havområde. I stedet er der anvendt depositionsdata fra en station (Rörvik) på den svenske vestkyst. Data fra denne station anses for at være repræsentative for farvandet nord for en linie mellem Sjællands Odde og Hasenøre, syd for Æbeltoft. Syd for linien er data fra Keldsnor anvendt.

Dataene er angivet i afsnit 4.3.2.

Fosfortilførselens størrelse er kun i begrænset omfang belyst ved tidligere undersøgelser. Ved nedbørsundersøgelser omkring Århus Bugt er der målt 28-37 kg/km² pr. år med faldende værdier ved stigende afstand til bebyggede områder (Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1979). For Laholmbugten på den svenske vestkyst anføres ca. 13 kg/km² pr. år (Fleischer, et al., 1982). På baggrund af dette anvendes en konstant værdi på 15 kg P/km² pr. år ved beregning af atmosfærens bidrag til belastningerne af havområdet.

Ved tørdeposition forstås afsætning af f.eks. næringssalte på gas- eller partikelform på den pågældende overflade. De vigtigste processer er:

1. Sedimentation eller støvfald, der er den væsentligste proces

for partikler større end 10 μm .

2. Impaktion, det vil sige, partiklerne fæstner sig på overfladen, når de med luftstrømmen føres mod denne. Denne proces har størst betydning for partikler med diameter mellem 0,1 og 10 μm .
3. Diffusion, det vil sige, partiklerne bevæges mod overfladen ved hjælp af luftens molekyllære bevægelser og har kun betydning for partikler mindre end 0,1 μm .
4. Absorption af gasser i våde overflader.

Sedimentationen anses ikke at have nogen betydning for tilførsel af næringssalte til havområder, idet de store partikler har så stor faldhastighed, at de kun kan transporteres over små afstande.

Tørdeposition. En direkte bestemmelse af tørdepositionen af gasser og partikler på f.eks. en vandoverflade er rent teknisk så vanskelig at udføre, at tørdepositionen ofte bestemmes indirekte ud fra en koncentrationsangivelse i luften og et udtryk for den nedadrettede flux, depositions-hastigheden.

$$\begin{array}{lll} \text{Tørdeposition} = & \text{luftkoncentration} \times & \text{dep.hastighed} \times 315,36. \\ (\text{kg/m}^2/\text{år}) & (\mu\text{g/m}^3) & (\text{cm/sek.}) \end{array}$$

Koncentrationen i luften af de væsentligste gasformige kvælstofforbindelser, NO_2^- og HNO_3^- , er ikke målt i Danmark uden for byområderne. Det har derfor været nødvendigt at anvende svenske og tyske data.

Der hersker stor usikkerhed omkring depositions-hastigheden for NO_2^- og HNO_3^- over vandoverflader. De i tabel 4-5 anvendte værdier må anses for at være de p.t. bedste.

Depositionen af partikulært NH_4^+ -N og NO_3^- -N over havområder er vanskelig at opgøre. Inden for studier af langtransport af luftforurening tillægges denne deposition så lille betydning, at der ikke tages hensyn hertil i transportberegningerne. Det er ligeledes vanskeligt at overføre aerosol-

Samlet byzone		Rensningsanlæg				Særskilte udløbninger				Diffus belastning				Totalbelastning	
Box Nr.	areal km ²	Særskilte data	Spildevandsplaner	Ialt	Industri direkte	Dambrug	Areallbidrag	Urban afstrømning	Spredt bebyggelse + udløbninger af alle m.						
		tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N tot-P COD	tot-N	tot-P	tot-N	tot-P	tot-N	tot-P
5.01	91,4	1,0	-	-	-	-	136	0,9	0,96	0,08	8	75	2,8	212	4
5.02	363	9,7	342	120	1180	342	548	3,7	9,3	0,8	75	298	11,2	1197	136
6.01	647	165	-	-	-	1378	1064	7,2	158	13,2	1300	577	21,7	3399	465
6.02	815	306	-	-	-	5620	422	5,1	294	24,5	2450	407	15,3	6743	1493
6.03	120	2,0	19	6	119	19	161	1,2	1,9	0,2	16	94	3,5	276	11
6.04	252	11,4	86	27	541	86	371	2,4	11	0,9	91	192	7,2	660	39
6.06	2812	133	1441	446	6995	1614	3835	26,8	128	10,6	1060	2143	83,4	8008	658
6.07	450	12,2	66	15	110	45	682	4,4	11,7	1,0	95	350	13,1	1229	51
6.08	54	38,5	210	48	2440	335	751	5,6	37	3,1	308	444	16,7	1777	185
6.09	267	12,0	33	12	291	67	339	2,6	11,5	1,0	96	204	7,6	822	60
6.10	822	59,8	230	78	1770	758	1106	7,6	57	4,8	478	610	22,9	2883	378
6.11	603	29,4	421	141	2659	421	876	6,3	28	2,4	240	504	18,9	1829	169
6.12	1597	121	726	198	6020	717	2028	14,7	116	9,7	970	1173	44,0	6462	1553
6.13	1176	67,9	759	261	3618	759	1625	11,1	65	5,4	540	896	33,2	3531	362
6.14	619	25,6	60	19	324	389	1409	10,7	25	2,0	200	474	17,8	1798	179
6.15	1155	125	452	164	2650	405	850	5,9	120	10	1000	854	32,0	3245	359
6.16	350	45,2	594	198	3737	594	404	3,1	43	3,6	360	244	9,1	1377	224
6.17	775	50,3	304	52	2600	297	1043	7,3	48	4,0	400	580	21,7	2294	191
6.18	770	123	848	279	6642	848	847	6,5	118	9,8	980	518	19,4	2343	316
7.01	2660	264	1618	305	12869	1618	2369	18,0	253	21,1	2110	1443	54,1	5683	398
7.02	198	2,8	19	6	115	19	172	1,8	2,7	0,2	22	148	5,5	343	14
7.03	4617	166	548	124	2920	1850	4869	44,5	159	13,3	1330	3561	133,5	11621	974
7.04	8308	276	2829	988	12905	2829	8157	80,6	265	22,0	2210	6506	241,0	18019	1354
7.05	646	56	1140	325	4240	232	634	5,9	54	4,5	450	472	17,7	2734	456
I ALT			25031	7450	263151	3092	34690	284	2017	168	16800	22757	853	88485	10024
			29	74	53	3	35	3	2	2	3	26	8	100	100

ALLE VÆRDIER I TONS/ÅR.

* indtil 1978, herefter værdier i ()
Tabel 4-2: Middelbelastning fra dansk land i perioden 1975-1981.

målinger på land til store vandområder. Den kemiske sammensætning vil på grund af deposition af forureningsholdige partikler og tilførsel af hav-aerosoler ikke holde sig konstant. Hvor hurtig ændringen vil ske, vides ikke. Det må imidlertid antages, at depositionen af kvælstofforbindelser over havområder på partikulær form er mindst én størrelsesorden mindre end våddepositionen.

4.3 RESULTATER

4.3.1 Belastning fra land

De beregnede belastninger fra dansk land fordelt på kildetyper og som gennemsnit for perioden 1975-81 fremgår af tabel 4-2.

Det fremgår, at for kvælstofs vedkommende udgør punktkilder 25% af belastningen, mens diffuse kilder udgør 75%. For fosforbelastningen udgør punktkilderne ca. 80%, mens diffuse kilder udgør de øvrige 20%.

Belastningen fra svensk land som gennemsnit for perioden 1975-81 fremgår af tabel 4-3. For henholdsvis kvælstof- og fosforbelastningens vedkommende udgør direkte industri og spildevandsudledninger til havområder 10% og ca. 75%, mens belastningen fra vandløb og diffus belastning fra kystzoner udgør den resterende del. Der foreligger ingen opgørelse af, hvor stor en del af vandløbsbelastningen, der kan henføres til punktkilder.

Område nr.	Arealt km. ²	Spildevand direkte til havområde tot-N tot-P	Industri direkte til havområde tot-N tot-P	Vandløb tot-N tot-P	Diffus kystzone tot-N tot-P	Totalt tot-N tot-P
6.05	2800	1849 232	460 3060	8497 214	761 10	11567 3516
7.06	12700	588 31	44 17	8444 286	703 22	9779 356
7.07	7800	369 27	44 17	5229 178	393 15	6035 237
7.08	3500	1752 290	— —	20005 360	— —	23757 559
I ALT	26800	4558 580	548 3094	44175 947	1857 47	51138 4668

Tabel 4-3: Middelbelastning fra svensk land i perioden 1975-81. Enhed t/år.

4.3.2 Belastning fra atmosfæren

	1978	1979	1980	1981
Keldsnor	437	542	325	363
Rörvik	309	534	451	375

Tabel 4-4: Årlig våddeposition af NO_3^- -N, 1978-81, kg/km^2 .

	1978	1979	1980	1981
Keldsnor	451	755	364	389
Rörvik	335*	558*	412	509

*: Værdier for perioden juli 1978-juni 1979 er beregnet ved en sammenligning med målinger fra Birkenæs i Norge.

Tabel 4-5: Årlig våddeposition af NH_4^+ -N, 1978-81, kg/km^2 .

	Baggrunds- koncentration $\mu\text{g-N}/\text{m}^3$	Depositions- hastighed over vand $\text{cm}/\text{sek.}$	Deposition kg/km^2
NO_2^-	2.5^4 - 7^1	0.015^2	12-33
HNO_3^-	0.4^1	1.0^3	125

1: Grenfeldt, og Sjøden, 1982

2: Gravenhorst, Böttger, 1982

3: Eliassen, A. et al., 1982

4: Norsk institutt for luftforskning, 1977-81

Tabel 4-6: Årlig deposition af gasformige kvælstofforbindelser.

For fosfor anvendes $15 \text{ kg P}/\text{km}^2 \times \text{år}$.

4.3.3 Samlede belastning

Den samlede belastning til det betragtede farvandsområde opgjort på års-basis fremgår af tabel 4-7.

Den samlede kvælstofbelastning til farvandsområdet er vurderet til ca. 150.000 t/år, hvoraf atmosfærebidraget udgør ca. 20%, belastningen fra dansk land ca. 45% og belastningen fra svensk land ca. 35%.

Den samlede fosforbelastning er vurderet til ca. 14.000 t/år, hvoraf atmosfærebidraget udgør ca. 5%, belastningen fra dansk land ca. 60% og belastningen fra svensk land ca. 35%.

	TOTAL-N (ton/år)				TOTAL-P (ton/år)			
	Danmark*	Sverige	Atmosfæren	I ALT	Danmark*	Sverige	Atmosfæren	I ALT
1975	59810	41868			8467	4444	570	13481
1976	47506	30005			8194	4252	570	13016
1977	59622	63959			8462	5017	570	14049
1978	67206	50914	33564	151684	8625	4671	570	13866
1979	69470	46913	50765	167148	8676	4589	570	13835
1980	84654	61077	35536	181267	9009	5004	570	14583
1981	90435	63228	37048	190711	9139	4759	570	14468

*: Under hensyntagen til stoftilbageholdelse i Limfjord, Roskilde Fjord/Isefjord.

Tabel 4-7: Samlede årlige belastninger.

4.4 BELASTNINGENS UDVIKLING

4.4.1 Udviklingen i transporten af nitratkvælstof i danske vandløb

Med henblik på at belyse udviklingen i transporten af nitratkvælstof i danske vandløb, som fører til Kattegat, er der indsamlet og bearbejdet data for Gudenåen og Odense Å for perioden 1967-82.

Gudenå og Odense Å anses som værende repræsentative for danske vandløb med afstrømning til Kattegat og Bælthavet. Data fra de to åløb er tidligere benyttet i forbindelse med den Internationale hydrologiske Dekade, og de 2 vandløb benyttes nu i forbindelse med et EF-direktiv om indførelse af en fælles procedure for udveksling af oplysninger vedrørende kvaliteten af fersk overfladevand i Fællesskabet (EØF, 1982).

Datagrundlaget for beregningerne stammer fra følgende kilder:

- IHD-data for 1967-74
- DGU-data for 1974-77
- amtskommunernes EF-data for 1977-82
- vandføringsdata fra Det danske Hedeselskabs hydrometriske Undersøgelser (DDH).

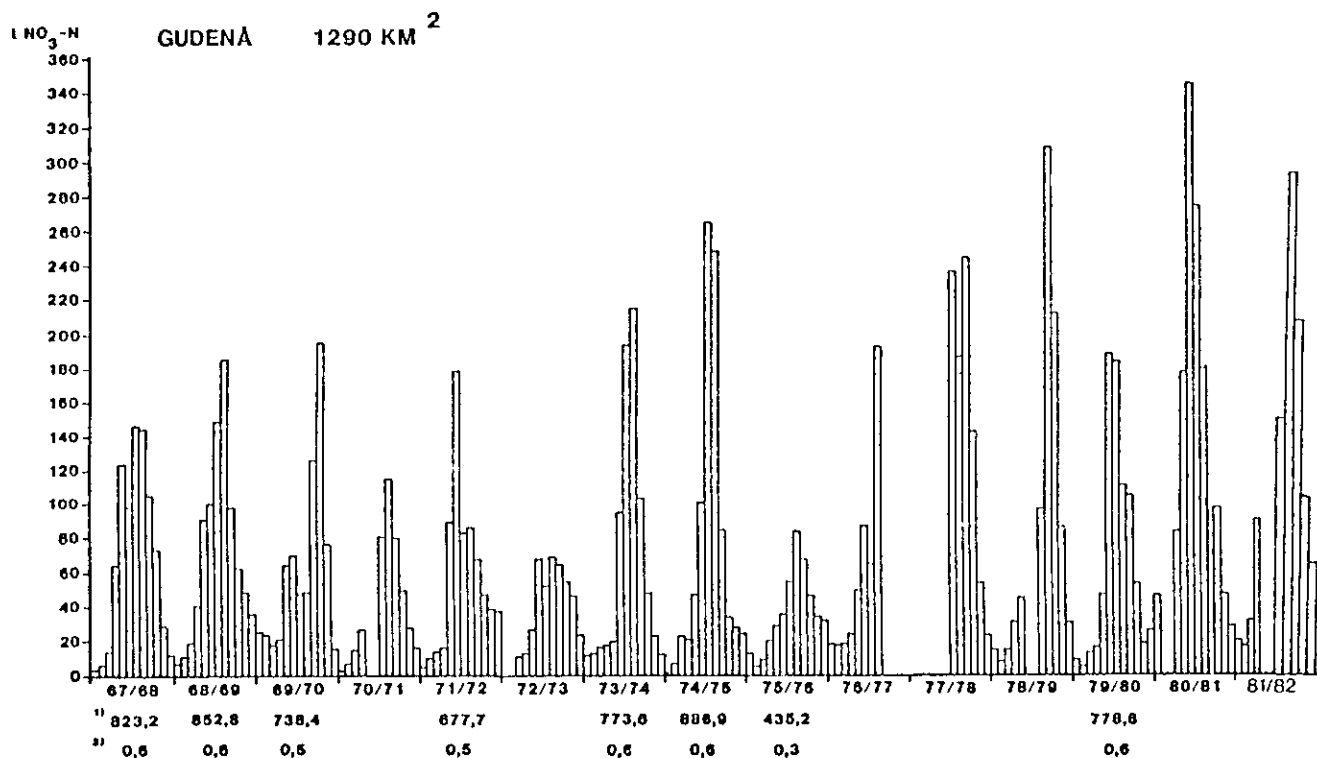
Der er beregnet stoftransporter på månedsbasis og årsbasis (hydrologiske år).

Som grundlag for transportberegningerne er der beregnet en månedlig middelkoncentration af NO_3^- -N (midling af målinger). Den månedlige vandføring er fremkommet som produktet af månedsmiddelværdien af vandføringen Q l/s og antal dage (30 dage). Herefter er månedstransporten af NO_3^- -N fundet således:

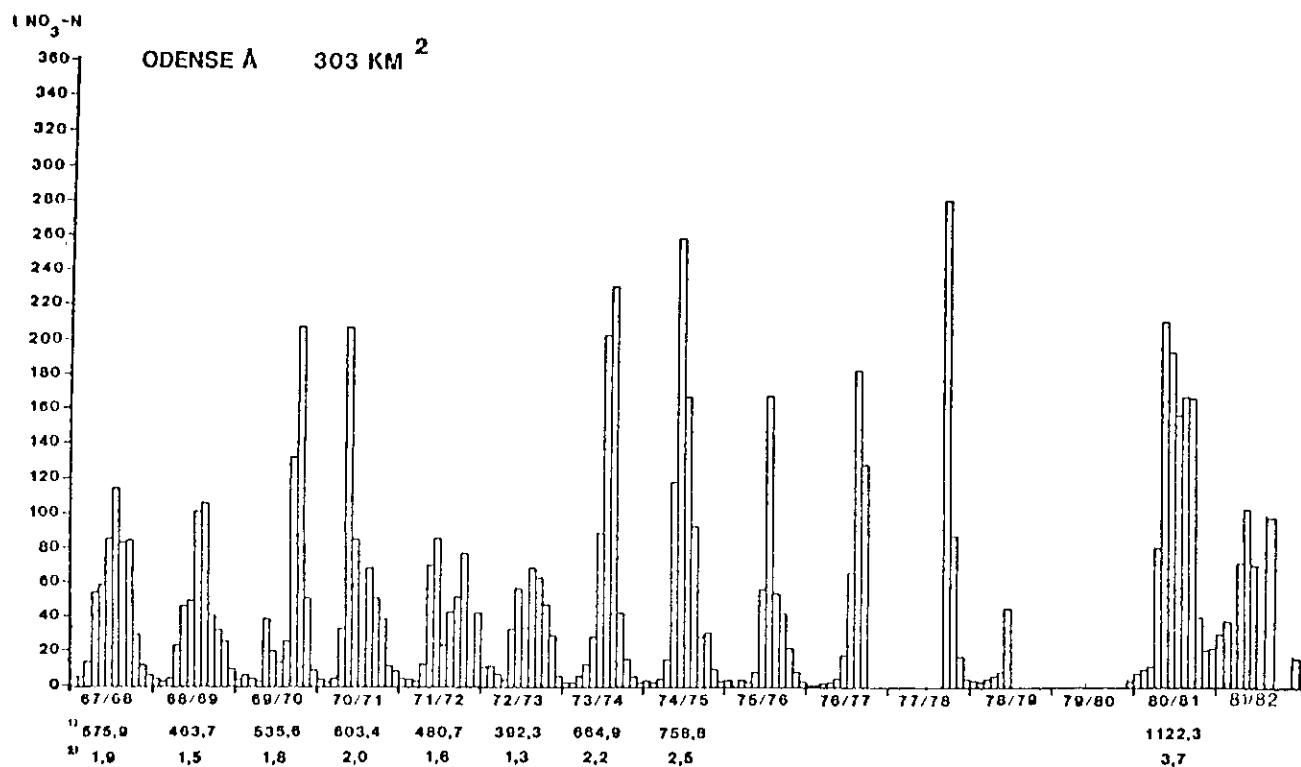
$$60 \times 60 \times 24 \times 30 \times 10^{-6} \times Q_m^2/s \times \text{mg N/l} = t \text{ N/måned.}$$

De månedlige nitratkvælstoftransporter fremgår af figur 4-2 og 4-3. Desuden er angivet de årlige transport (beregnet på hydrologiske år fra juli til juni) og desuden transporten beregnet pr. kvadratkilometer opland.

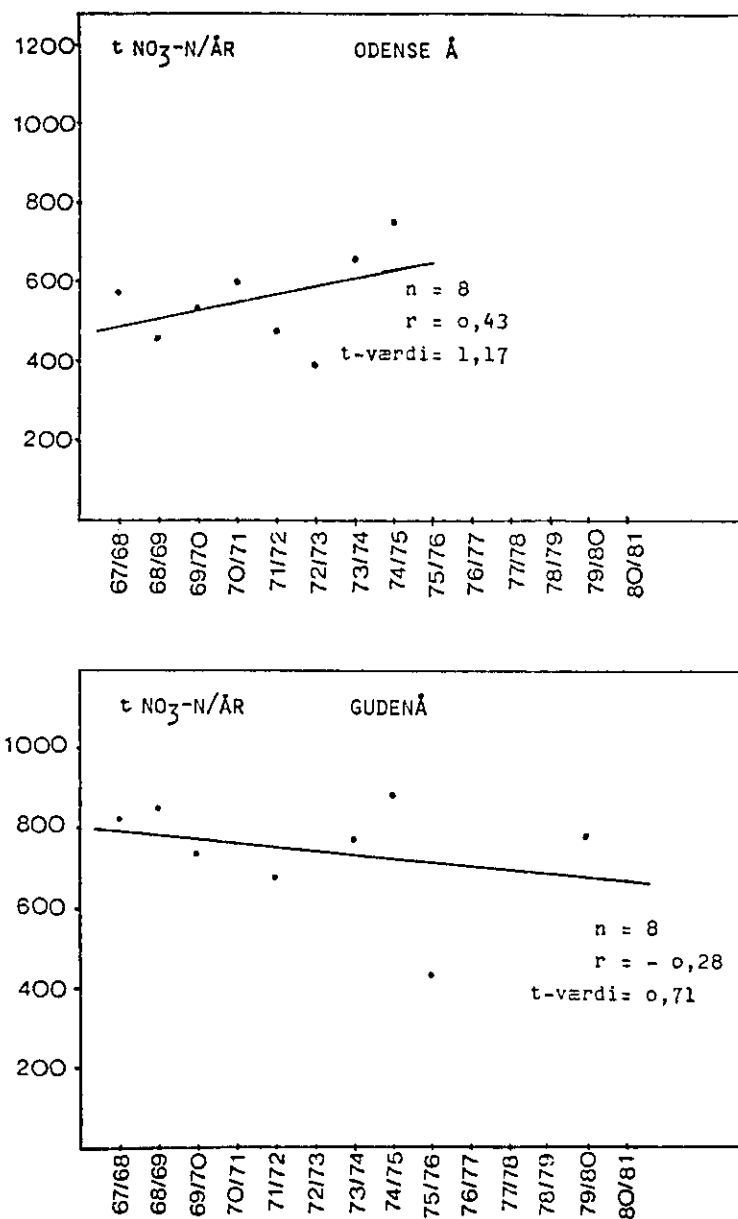
I et forsøg på at vurdere udviklingen i de årlige nitrattransporter er der foretaget en lineær regressionsanalyse på årstransporten af NO_3^- -N som funktion af de hydrologiske år (figur 4-4). Kun år med beregning af månedstransporten på grundlag af aktuelle målinger for alle årets måneder er medtaget.



Figur 4-2: Den månedlige transport af nitratkvælstof (NO₃⁻-N). Under akse er angivet: 1) årstransporten af NO₃⁻-N og 2) årstransporten beregnet pr. kvadratkilometer opland.



Figur 4-3: Den månedlige transport af nitratkvælstof (NO₃⁻-N). Under akse er angivet 1) og 2) som i figur 4-2.



Figur 4-4: Undersøgelse af udviklingen af de årlige nitrattransporter beregnet på hydrologiske år.

Det er på baggrund af den foretagne regressionsanalyse ikke muligt at påvise en signifikant ændring i nitrattransporten i de to åløb i perioden fra 1967 frem til midten af 1970'erne.

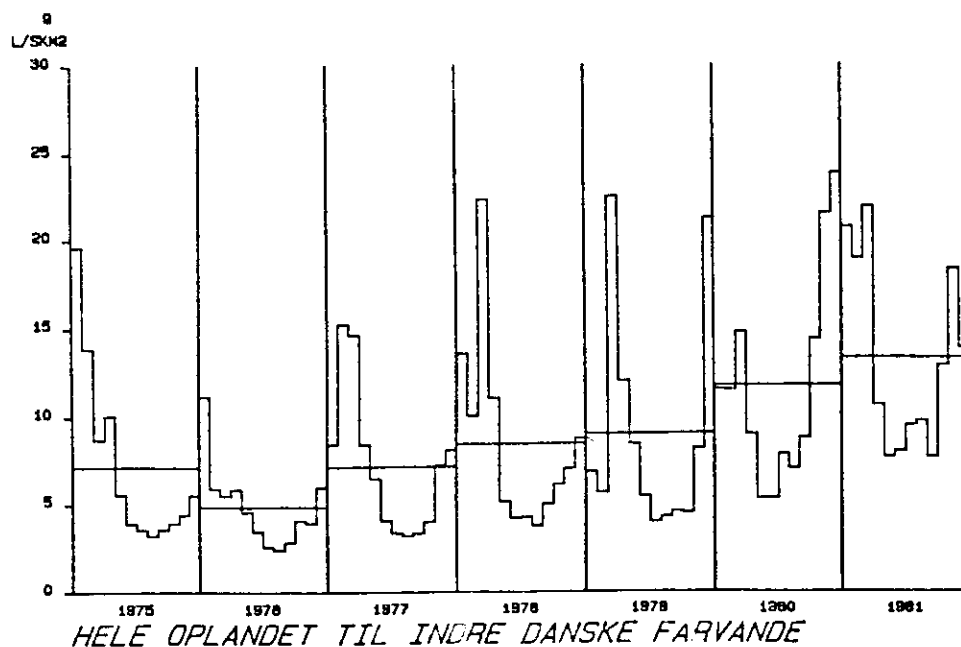
4.4.2 Perioden 1975-81

Det fremgår af tabel 4-7, at der i perioden 1975-81 er sket en stigning i belastningen med kvælstof til farvandsområdet, mens belastningen med fosfor i samme periode har været nogenlunde konstant.

Stigningen i perioden tilskrives de ekstreme nedbørsforhold, der er forekommet i perioden. Der er tidligere vist, at for det danske område er kvælstofbidraget fra de åbne landområder via vandløb tilnærmelsesvis lineært afhængigt af afstrømningen i perioden (Miljøstyrelsen, 1983).

Vandafstrømningen fra dansk land er vist i figur 4-5.

Hvad angår belastningen fra svensk land er der foretaget en lignende vurdering for område 7.06.



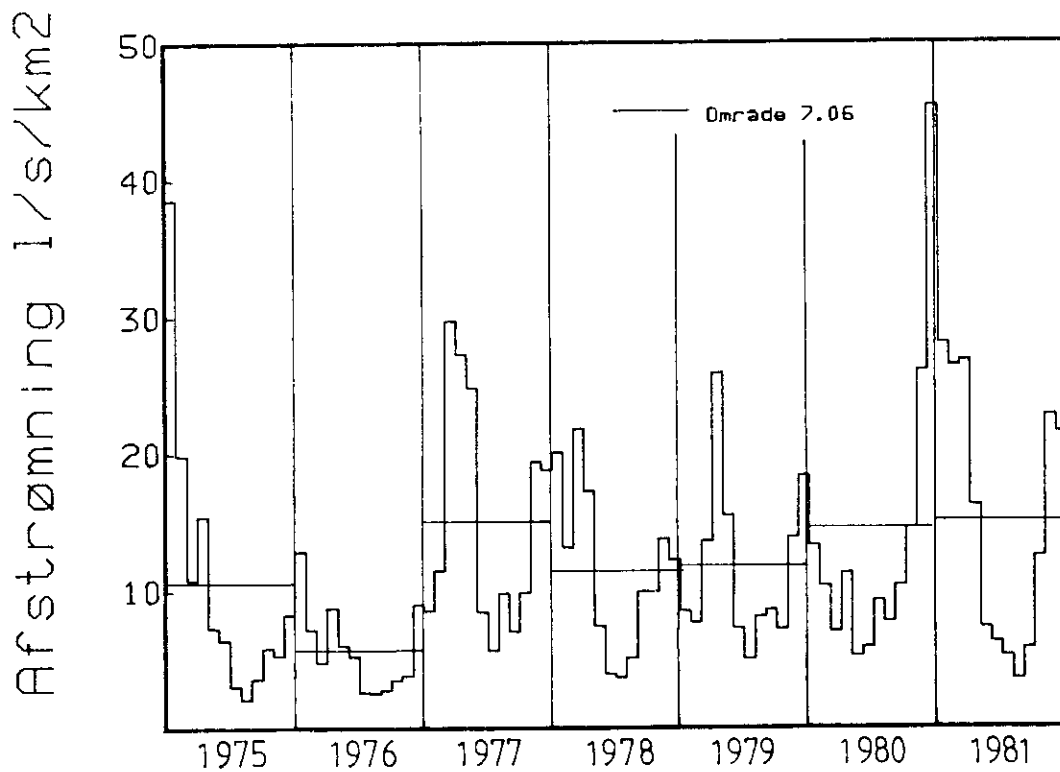
Figur 4-5: Afstrømning (l/s pr. km²) fra det samlede danske opland (30.450 km²).

Der foreligger fra Naturvårdsverket oplysninger om vandføringer og tot-N og tot-P transporter på månedsbasis for vandløbene Nissan (station Halmstad), Lagan (station Laholm) og Rønneåen (station Klippan). Vandløbenes oplande ved målestationerne udgør i alt 9.757 km^2 ud af område 7.06's samlede areal på ca. 12.700 km^2 (det vil sige 77%).

Afstrømningen fremgår af tabel 4-8 og figur 4-6

År	Middel afstrømning m^3/s			I alt		
	Lagan	Nissan	Rønneåen	m^3/s	l/s/km^2	%
1975	64.6	29.3	8.5	102.4	10.5	88
1976	33.3	18.6	4.0	55.9	5.7	48
1977	88.1	47.3	12.9	148.3	15.2	127
1978	70.4	32.4	9.3	112.1	11.5	96
1979	68.5	36.1	8.6	113.2	11.6	97
1980	81.8	40.8	12.6	135.2	13.9	117
1981	90.6	41.3	16.0	147.9	15.2	127
Middel 1975-81				116.4	11.9	100

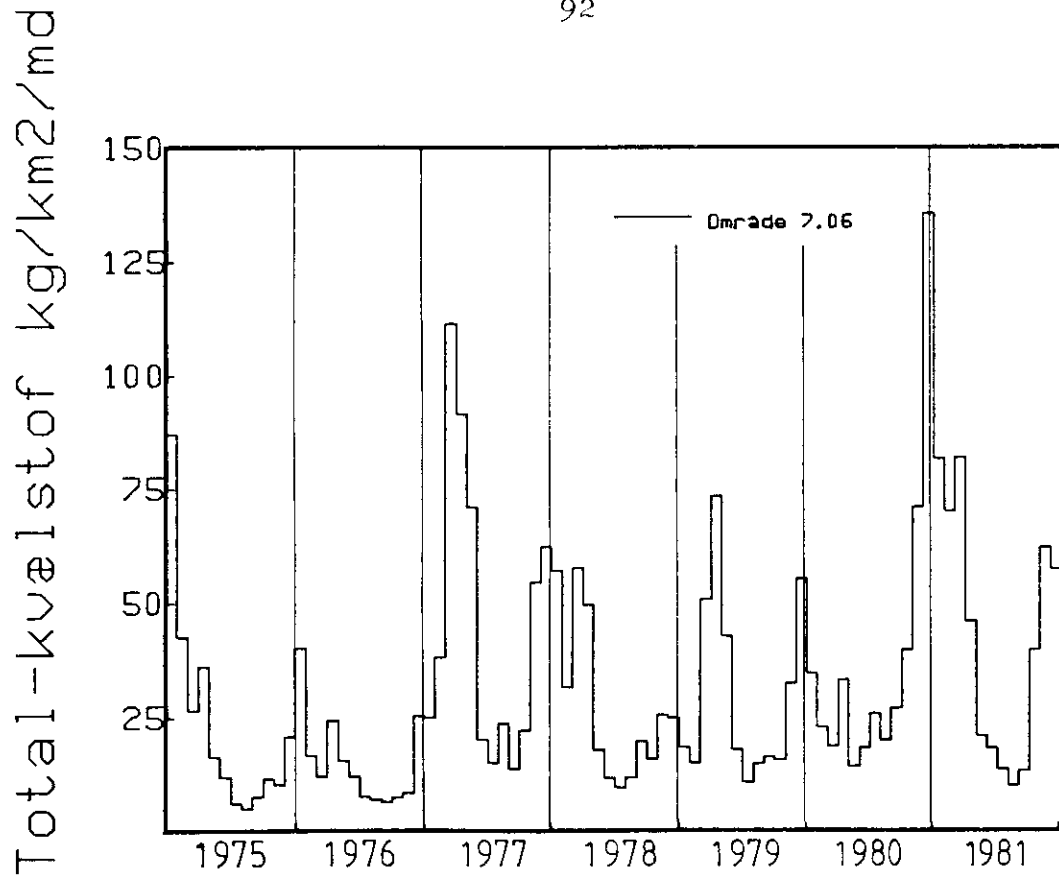
Tabel 4-8: Afstrømning fra Lagan, Nissan og Rønneåen i område 7.06.



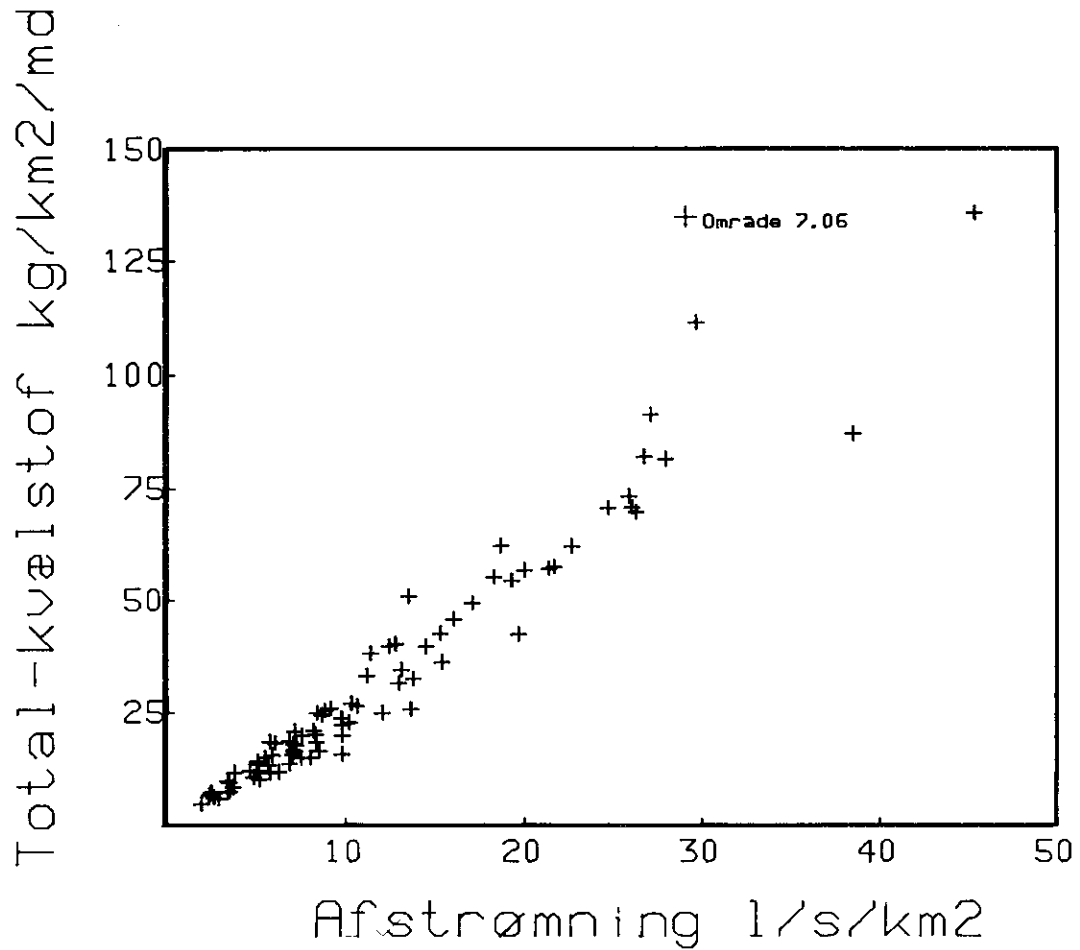
Figur 4-6: Afstrømning fra område 7.06.

Det fremgår, at afstrømningen fra område 7.06 udviser nogenlunde samme variation som afstrømningen fra dansk land med undtagelse af året 1977, hvor den svenske afstrømning er relativt større og sommeren 1981, hvor den er relativt mindre.

I figur 4-7 er vist kvælstoftransporterne, og i figur 4-8 er der vist sammenhæng mellem kvælstoftransporter og vandafstrømning på månedsbasis. Det fremgår af figurerne, at kvælstoftransporterne i perioden 1975-81 tilnærmelsesvis er lineært afhængig af vandtransporterne svarende til forholdene i Danmark.



Figur 4-7: Kvælstoftransporter i 3 vandløb i område 7.06.



Figur 4-8: Sammenhæng mellem kvælstoftransporter og afstrømning i 3 vandløb i område 7.06.

4.4.3 Forhold af betydning for udviklingen i næringssaltbelastningen i dette århundrede

Udviklingen i næringssaltbelastningen kan ikke opgøres kvantitativt, men en række forhold, der har haft indflydelse på denne i dette århundrede, nævnes i det følgende.

Atmosfærens bidrag

Som omtalt i afsnit 4.2.3 ved sammenligning mellem danske depositions-målinger er der siden 1950'erne sket en stigning i depositionen af såvel nitrat- som ammoniumkvælstof. I figur 4-9 er vist udviklingen i depositionen af de to kvælstofkomponenter ved Statens Forsøgsstation, Askov, i Sønderjylland. I løbet af perioden 1955-77 viser målingerne en stigning fra ca. 6 kg N/ha/år til ca. 15 kg N/ha/år, svarende til en relativ stigning på knap 150%.

Følgende forhold har eller kan have bevirket denne stigning:

- | | |
|------------------|--|
| Nitratkvælstof | - stigende forbrug af fossile brændsler, herunder øget forbrug af benzin og dieselolie |
| Ammoniumkvælstof | - ændring i gødskningspraksis |
| | - kvæg og svinehold (Söderlund, 1977) |

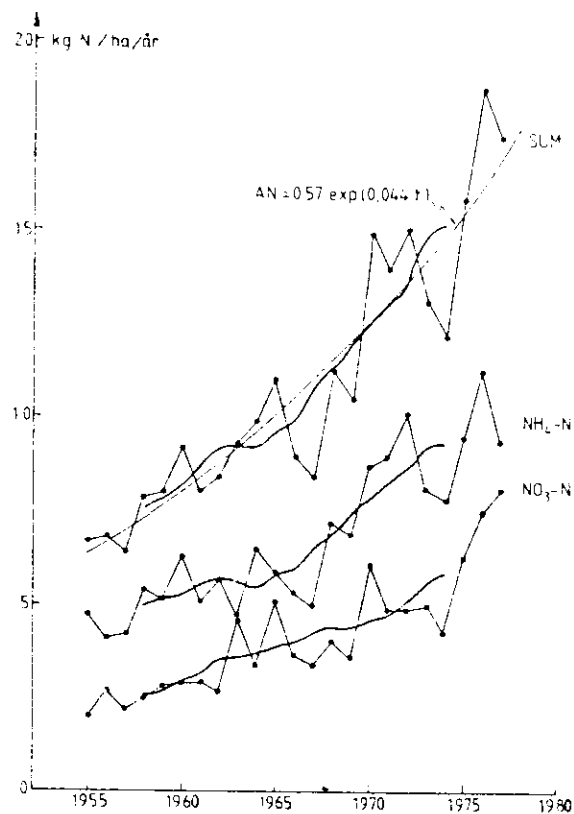
Kilderne til det menneskeskabte kvælstofudslip til atmosfæren og dermed nedbørens kvælstofindhold i Danmark er spredt ud over det europæiske kontinent med hovedvægten lagt på landene syd for Danmark. Det kan p. t. ikke vurderes, hvor stort det danske bidrag er til den stigende kvælstof-deposition.

Kommunalt spildevand

Følgende forhold har bevirket en stigende belastning:

- befolkningstilvæksten
- stigende tilslutning til fælleskloakering
- voksende befæstede arealer
- stigende forbrug af vaskemidler indeholdende fosfater.

Det stigende antal rensningsanlæg virker i modsat retning. Rensningen i disse anlæg er imidlertid oftest rettet mod fjernelse af organisk stof.



Figur 4-9: Det atmosfæriske nedfald af nitrat- og ammoniakkvælstof målt ved Askov Forsøgsstation i perioden 1955-77 (Odén, 1976, Jørgensen, 1979). De udglattede kurver er 7 års glidende middelværdier. Den tynde kurve øverst er tilpasningsfunktionens afbildning: $AN = 0,57 \exp(0,044 t)$, hvor t er årstallet minus 1900.

Industriudledninger

Følgende forhold har påvirket belastningen:

- en voksende industriel bearbejdning af animalske og vegetabiliske produkter
- forøget produktion af kvælstof- og fosforholdige produkter
- forøget forbrug af fosforholdige produkter i industrien, især metalindustrien.

Miljøreformen har medført skarpere krav til spildevandsrensning. Kravene vedrører dog især fjernelse af organisk stof for industrier med udledning til vandløb og søer.

Bidrag fra det åbne land

Følgende forhold har påvirket belastningen:

- øget tilslutning af spredt bebyggelse til fælles kloakering
- kvælstofgødskningen har pr. arealenhed været kraftigt stigende
- ændret afgrødefordeling, således at der dyrkes korn (især vårbyg) på et langt større areal end tidligere, hvilket har medført, at et stort areal henligger ubevokset fra efterår til forår, og derfor er særligt eksponeret for udvaskning. I de senere år er der dog sket en udvidelse af arealet med vintersæd
- en koncentration af den stigende animalske produktion på færre og større enheder har medført en ændret håndtering af den animalske gødning medførende større risiko for udslip fra møddinger m.v.

4.5 KONKLUSION

Opgørelsen af belastningen fra svensk land er baseret på oplysninger stil-

let til rådighed af svenske myndigheder samt fra Öresundskommissionen.

Opgørelsen af belastningen af Kattegat fra atmosfæren er baseret på danske, svenske og norske data, som er sammenstillet af miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium.

Med hensyn til fordeling af belastningen på kildetyper er der i opgørelsen af belastning fra dansk land foretaget en detaljeret beskrivelse, mens der for belastningen for svensk land og for atmosfærebelastningen ikke har kunnet foretages en tilsvarende detaljeret beskrivelse inden for undersøgelsens rammer.

Usikkerheden på belastningen fra dansk land er diskuteret i "Belastning fra land af de indre danske farvande med organisk stof, total-N og total-P" (Miljøstyrelsen, 1983). Usikkerheden knytter sig især til størrelsen af den diffuse belastning og dennes tids- og arealmæssige fordeling.

Den tidsmæssige variation af belastningen fra svensk land (eksklusive Götaälven og direkte spildevandsudledninger) er vurderet ud fra den tidsmæssige variation i belastningen til Laholmbugten, hvis opland udgør ca. 35% af det samlede svenske opland.

Den samlede kvælstofbelastning til farvandsområdet er i 1978 opgjort til ca. 150.000 t/år og i 1981 til 190.000 t/år. Atmosfærebidraget udgør ca. 20%, belastningen fra dansk land ca. 45% og belastningen fra svensk land ca. 35%.

Den samlede fosforbelastning er vurderet til ca. 14.000 t/år, hvoraf atmosfærebidraget udgør ca. 5%, belastningen fra dansk land ca. 60% og belastningen fra svensk land ca. 35%.

Undersøgelsesperioden 1975-81 har været præget af stærkt varierende afstrømningsforhold med ekstremt ringe afstrømning i 1975-76 og ekstremt stor afstrømning i 1980-81. Periodens gennemsnitlige afstrømning har dog omtrent samme værdi som langtidsgennemsnittet.

Dette har bevirket en stadigt stigende, diffus belastning i undersøgelsesperioden især med kvælstof til de indre danske farvande. For 1980 og især 1981 har belastningen i sommerperioden været flere gange større end i de tidligere år inden for perioden.

KAPITEL 5

FYSISKE FORHOLD I 1981 SAMMENLIGNET MED TIDLIGERE ÅR

5.1	INDLEDNING	99
5.2	FYSISKE FORHOLD I 1981	99
5.2.1	Meteorologien	100
5.2.1.1	Vinden	100
5.2.1.2	Nedbøren	104
5.2.1.3	Indstrålingen	105
5.2.2	Hydrologien	107
5.2.2.1	Afstrømning fra danske områder	107
5.2.2.2	Total afstrømning til Østersøen	109
5.2.3	Hydrografien	111
5.2.3.1	Oversigt	111
5.2.3.2	Kilder til information og stationsnet	114
5.2.3.3	Fyrskibe og kyststationer	117
5.2.3.4	HFL's og D.F.&H.'s observationer	123
5.2.3.5	Amternes observationer	129
5.2.3.6	Svenske observationer	140
5.2.3.7	Vesttyske observationer	141
5.2.3.8	Satellitbilleder	146
5.3	KONKLUSION	147

5.1 INDLEDNING

De fysiske forhold i Kattegat kan være direkte bestemmende for udviklingen af iltsvind ved at nedsætte tilførslen af ilt, og de kan være indirekte bestemmende gennem de vækstbetingelser, de giver den primære produktion og den fordeling og sedimentation, der finder sted af udledt organisk materiale og næringssalte.

Formålet med kapitlet er at undersøge, om der alene ud fra rent fysiske forhold kan gives en forklaring på iltsvind og fiskedød i Kattegat i 1981. En opdeling er nødvendig, for mens iltsvindet var markant over hele Kattegat - omend ikke kritisk alle steder - og havde en betydelig varighed i tid, så var fiskedøds-hændelserne ganske kortvarige fænomener, antagelig med en ret begrænset geografisk udstrækning.

5.2 FYSISKE FORHOLD I 1981

Iltsvindet i Kattegat var udbredt over så stort et område, at det er nærliggende at lede efter årsager ved en analyse af det overordnede vindfelt og de overordnede strømninger og opblandinger (tilførselsproblematikken). Fiskedøds-hændelserne må analyseres med den baggrundsviden, der er opnået om den generelle situation, men yderligere viden om lokale hændelser, muligvis med yderst begrænset udstrækning og meget kort varighed, er nødvendig.

Fyns amts observationer synes at tillade en formodning om en fælles årsag til de tre tilfælde af fiskedød rundt om Fyn (26/9, 3/10 og 10/10). Årsagen synes at have været, at et tungt, iltfattigt lag af bundvand hurtigt er blevet løftet adskillige meter. Det kan derved have fanget fiskene. Derimod er data mere sparsomme hvad angår fiskedøden ved Fjellerup Strand på Norddjursland. Satellitbilleder af Kattegats overfladetemperatur tyder på, at der netop i dette område sker en tilførsel af bundvand til overfladelaget, hvilket giver mulighed for en stor primærproduktion. Det har dog ikke været muligt at pege på en di-

rekte udløsende årsag, medmindre man vil se den i den meget kraftige nedbør, der faldt i løbet af et døgn omtrent 3 uger før hændelsen, og som havde maksimum over det nordlige Djursland.

Det er nyttigt for hele diskussionen at have en oversigt over Kattegats fysiske forhold, og der præsenteres derfor materiale, der kan belyse meteorologien, hydrologien og hydrografien. Dette omfatter også amternes observationer.

5.2.1 Meteorologien

De meteorologiske faktorer, som her skal diskuteres, er kortbølget indstråling, nedbør og vind. Indstrålingen er med til at bestemme luft- og vandtemperatur. Nedbøren er væsentlig for afstrømningen fra land. Vinden tilfører energi, som muliggør blanding mellem overflade- og bundvand, og den forårsager opstuvninger, som fører til strømninger og vipning af skillefladen mellem overflade- og bundvand.

5.2.1.1 Vinden

Vinden fremkalder ændringer i den stadige udstrømning af baltisk vand, der sker gennem Bælthavet. Ved kraftige vestenvinde presses vand fra Nordsøen gennem Skagerrak ind i Kattegat og forårsager højvande, mens der opstår lavvande i den vestlige Østersø og højvande i den nordlige og østlige Østersø. Vandet strømmer da mod syd gennem bælteerne og Øresund. Under sådanne forhold forskydes Kattegatfronten mod syd. Ved svage vestlige og ved østlige vinde er strømmen i Bælthavet og Øresund nordgående - den estuarine cirkulation, det vil sige Østersøens ferskvandsoverskud, dominerer.

Vinden har også en anden virkning end den, der medfører forskellig opstuvning og transport af vandmasser. Vinden tilfører vandet energi, og dette øger muligheden for vertikal blanding. Den tilførte energi er proportional med 3. potens af vindhastigheden.



Fig. 5-1

Nedbørsfordeling ved lavtrykspassagen 20-21 august 1981. Nedbøren faldt i løbet af 1 døgn (Rasmussen, 1981).

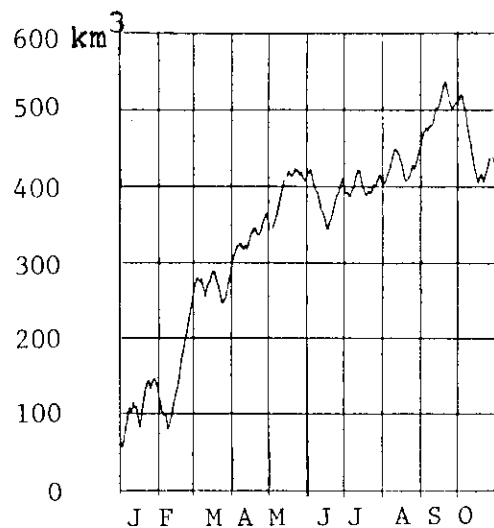


Fig. 5-2

Kumuleret nettotransport gennem Bælthavet i 1981, baseret på en simpel barotrop model (Vandstandsforskel mellem Hornbæk og Gedser). En stigning betyder udstrømning.

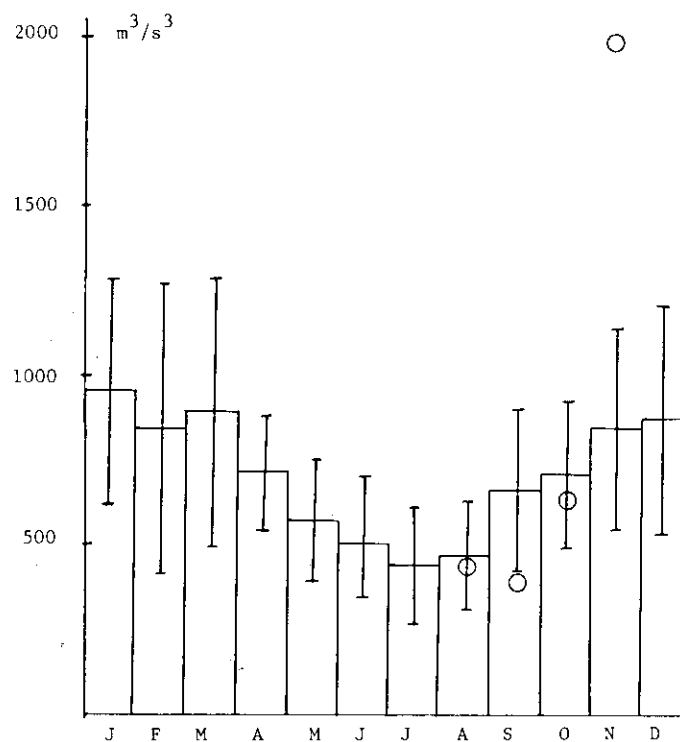


Fig. 5-3

Månedsmidler 1958-78 af vindhastigheden i 3. potens, Risø, 70 m over jorden. Standardafvigelser er vist, og værdier august-november 1981 markeret med cirkler.

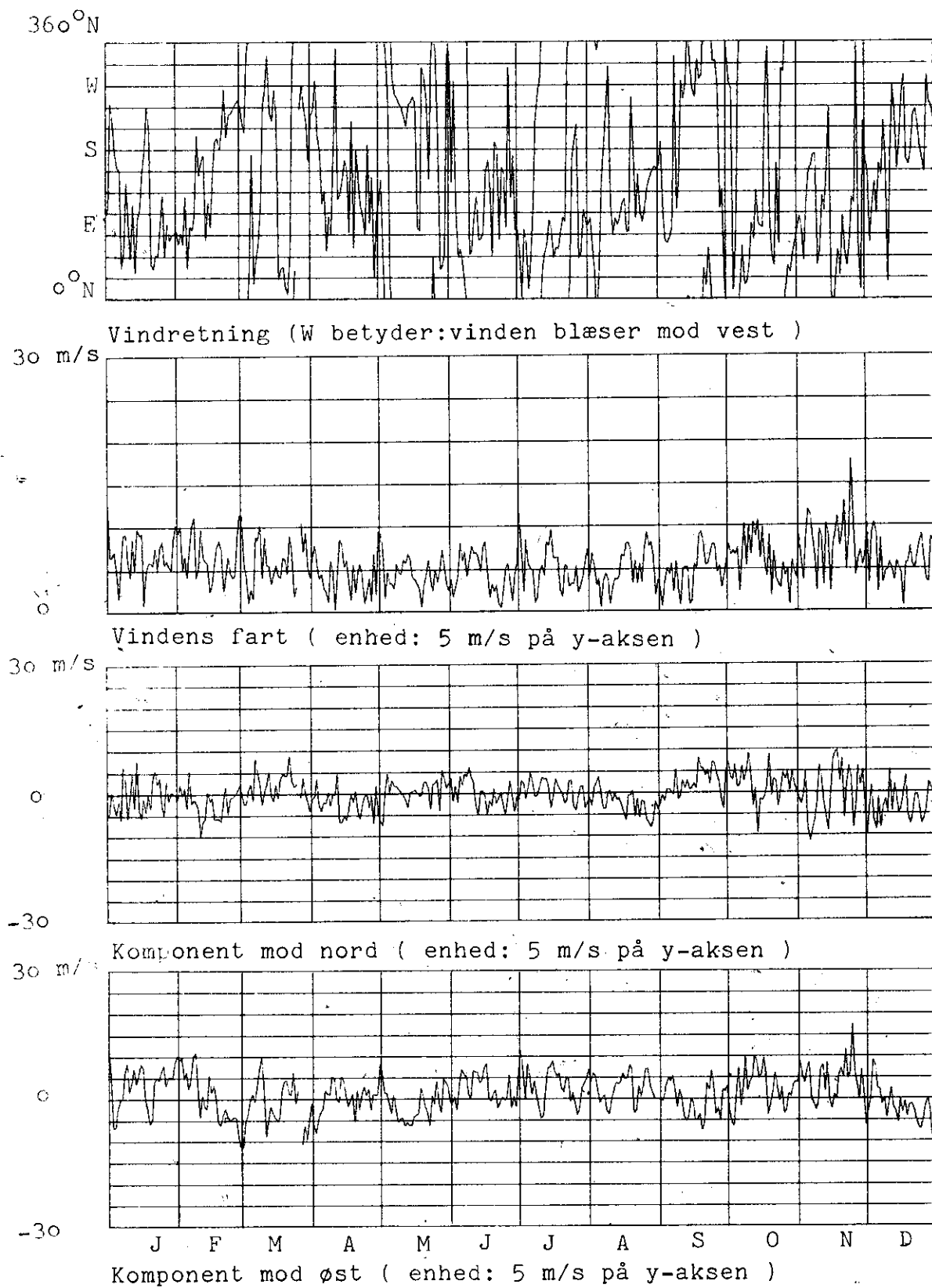


Fig. 5-4

Vinden ved Anholt Knob fyrskib i 1981.

De fremherskende vindretninger er i juli 1981 SW-W *), i august overvejende W, i september SE og S, og i oktober SW. Som det fremgår af figur 5-2, var september også netop domineret af en langvarig udstrømning fra Østersøen.

For at belyse, om den energi fra vinden, der er til rådighed for opblanding i havet, var forskellig i 1981 fra tidligere år, er anvendt statistik fra den meteorologiske mast i Risø ved Roskilde Fjord. Vinden er her målt siden 1958 i forskellige niveauer. Figur 5-3 viser den gennemsnitlige årsvariation 1958-78 i 70 m højde, og standardafvigelser på månedsmidlerne. Endvidere er resultater for august-november 1981 markeret. Det fremgår, at alle 3 måneder, august-oktober, var svagere end gennemsnittet, men september var specielt svag, kun godt halvdelen af langtidsmidlen og under standardafvigelsen. November markerer sig som meget stormfuld, det skyldes stormen 23-24 november.

Der må tages et vist forbehold over for anvendelse af resultaterne som repræsentative for forholdene nær havets overflade, især i roligt vejr med atmosfærisk stratifikation, men det skønnes dog, at september var usædvanlig stille.

Den observerede vind ved Anholt Knob fyrskip er vist i figur 5-4, dels retning (mod) og fart, dels som komponenter.

5.2.1.2 Nedbøren

Store mængder nedbør faldt over Jylland i de sidste dage i juni, nogle steder op til 90 mm på et døgn, hvilket er 2 gange juni måneds normalnedbør. Over hele landet faldt der i gennemsnit 92 mm mod normalt 48 mm.

*) I modsætning til figur 5-4: W-vind kommer fra vest. (Meteorologisk konvention, som er modsat den oceanografiske)

Næste større nedbør faldt 10-11 juli, da en koldfront kom ind over landet fra syd-vest. Flere fronter fulgte efter, og især de sydvestlige egne havde ustadigt vejr. Omkring 25-26 juli passerede et lavtryk landet fra syd, og der faldt store regnmængder mange steder. Først ved månedsskiftet stabiliseredes vejret.

August var tør indtil midt i måneden, da fronter og lavtryk kom fra Norskehavet til Sydsandinavien. Især 20-21 august faldt der store nedbørsmængder. Maximum nåedes på det nordlige Djursland med op til 100 mm (figur 5-1). I den sidste uge var vejret tørt. Regn af betydning forekom i perioden 15-20 august, og halvdelen af månedens normalnedbør faldt ved en enkelt lavtrykspassage.

I den første uge af september var vejret tørt, men omkring den 12. blev vejret mere ustadigt, og der faldt nogen nedbør. Hele landet fik regnfuldt vejr omkring den 20.

Henimod oktober blev det regnfuldt i de østlige egne, mens det forblev tørt i Jylland. De første par dage af oktober var tørre, men derefter optrådte der regn, og især i Nordvestjylland var der byger ledsaget af torden. Vejret var regnfuldt og blæsende hen til midten af måneden.

Alt i alt var sommeren karakteriseret ved, at store nedbørsmængder faldt på ganske få dage. Som eksempel er nedbøren ved Fornæs vist i figur 5-5. En oversigt over nedbøren i sommeren 1981 er vist i tabel 5-1.

Tabel 5-1

Nedbør i mm	Juni	Juli	August	September
1981	92	92	62	48
Normal nedbør	48	74	81	72

5.2.1.3 Indstrålingen

Netto kortbølget indstråling måles ved Landbohøjskolen i København. Ved an-

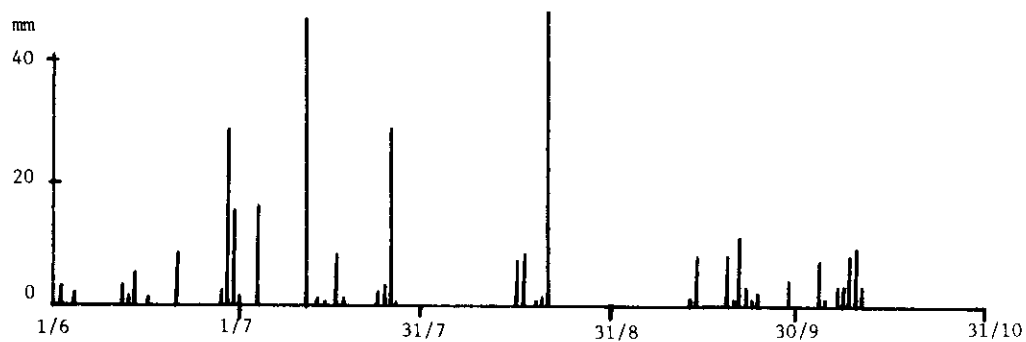


Fig. 5-5

Døgnedbør ved Fornæs, juni-oktober 1981.

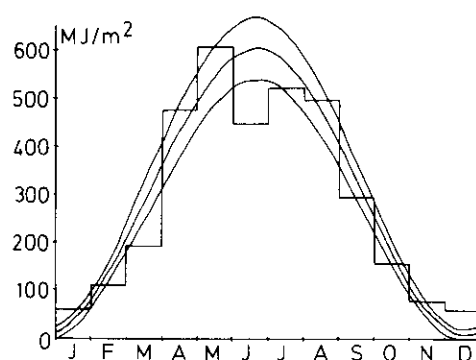


Fig. 5-6

Månedsmidler af global indstråling MJ/m^2 i området $0.3\text{-}2.5\ \mu\text{m}$ ved Landbohøjskolen 1955-79 med standardafvigelser (bløde kurver) samt i 1981 (histogram).

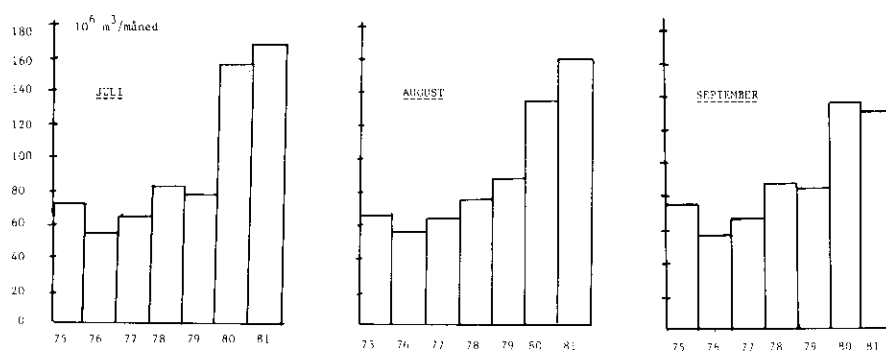


Fig. 5-7

Afstømning i område 7.03 Midtjylland (se s. 70).

vendelse af disse tal forudsættes således, at skydækket ved København er repræsentativt for hele landet, hvilket ikke altid er tilfældet.

1981-indstrålingen afviger fra langtidsgennemsnittet 1955-79 ved at have ret lav indstråling i marts, juni, juli og september (figur 5-6).

5.2.2 Hydrologien

5.2.2.1 Afstrømning fra danske områder

Afstrømningen fra danske landområder har betydning lokalt i kystnære områder, mens afstrømningen til hele Østersøen er bestemmende for den strøm af saltfattigt vand, der flyder ud gennem vore farvande (Ærtebjerg et al., 1981). En opgørelse af afstrømningen fra danske landområder er blevet foretaget af Det danske Hedeselskab og er anvendt til beregning af tilførslen af næringssalte og organisk stof (Det danske Hedeselskab, 1982). Disse resultater er omtalt i kapitel 4, s. 89.

Årsafstrømningen har i det store hele været jævnt stigende i perioden 1975-81, med 1975-76 som noget af det laveste der er registreret, og 1981-82 som noget af det højeste. Middelaflstrømningen over hele perioden svarer dog godt til langtidsmidlen. Udviklingen for område 7.03 (s. 70) - nordlige Djursland m. m. - er vist i figur 5-7 for månederne juli, august og september i perioden 1975-81. Gudenåen løber gennem dette område, og dens årlige afstrømning for årene 1917-80 er vist i figur 5-8 sammen med andre vandløb. Årsfordelingen af afstrømningen for Gudenåen og Tryggevejle Å for 1980 er sammenlignet med middelværdien for 1917-80 i figur 5-9.

Det fremgår af figur 5-8, at afstrømningen i 1980 var den højeste i perioden for nogle vandløbs vedkommende, og at der tidligere også er forekommet år med meget høje værdier (eks. 1925-26, midt i 50'erne etc.). Den ekstremt store afstrømning foregik i efteråret 1980, og foråret 1981 bidrog med en stor afstrømning til at gøre vinteren 1980/81 til et rekordår.

Fig. 5-8
Månedssafstrømning $l/s \text{ km}^2$ for
Gudenå og Tryggevælde Å 1980 sam-
menlignet med middelværdi 1917-80.
(Det Danske Hedeselskab nr. 7, 1981).

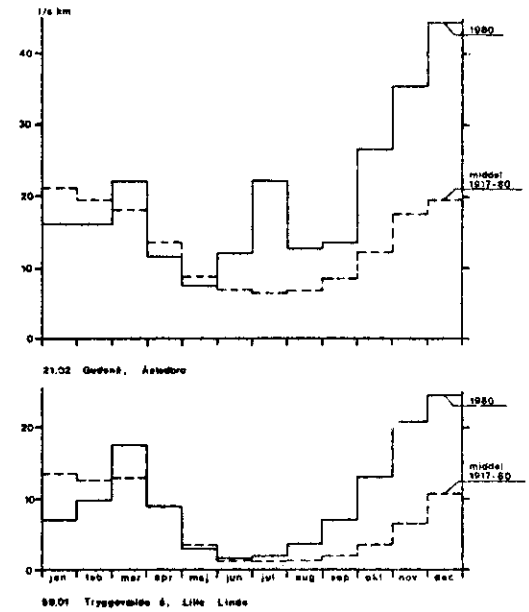
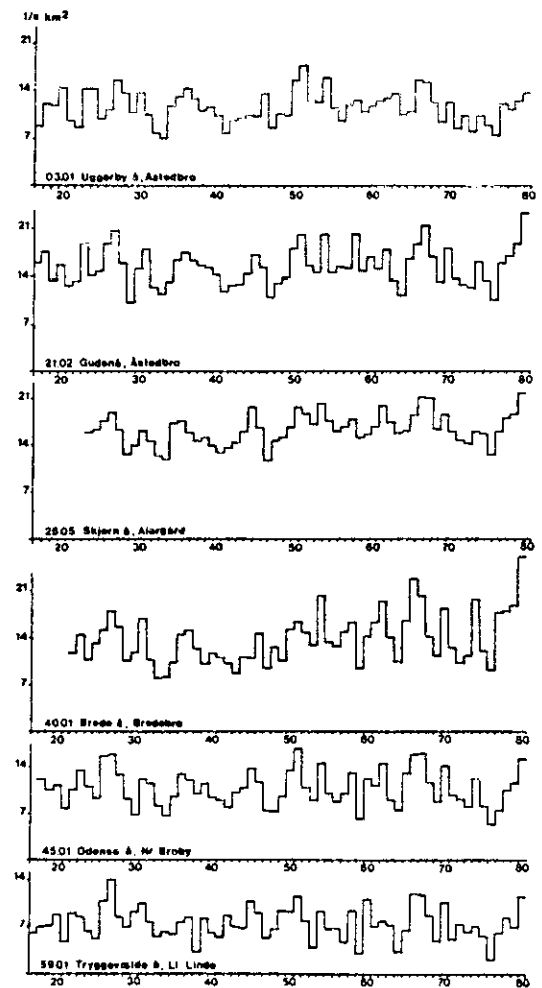


Fig. 5-9
Årsafstrømning $l/s \text{ km}^2$ 1917-80 for
Uggby Å, Gudenå, Skjern Å, Brede
Å, Odense Å og Tryggevælde Å. (Det
Danske Hedeselskab nr. 7, 1981).



Når område 7.03 er behandlet så indgående, er det fordi, det omfatter nordsiden af Djursland, hvor en omfattende fiskedød fandt sted den 12. september 1981 (Fjellerup Strand). Det fremgår af figur 4-1, (s. 70) at det formentlig er det område, der har den korteste kystlængde i forhold til oplandsarealet, og det kan medføre, at kystzonen ud for denne kyst i særlig høj grad udsættes for belastninger fra land.

5.2.2.2 Total afstrømning til Østersøen

Den netto-vandmængde, der på et år føres ud gennem Kattegat, er i middel lig Østersøens ferskvandsoverskud. Der foreligger ikke en opgørelse for hele Østersøen for 1981, men afstrømningen - der kan tages som et groft mål for ferskvandsoverskuddet - synes også her at have været betydeligt over middel. Ifølge Launiainen (pers. medd., 1982) findes der en rimelig god korrelation mellem den totale afstrømning til Østersøen og den finske flod Vuoksi.

Middelvandføringen for Vuoksi var $750 \text{ m}^3/\text{s}$ i 1981 mod en normal på $560 \text{ m}^3/\text{s}$. Den øgede vandføring (34%) kan dog tilsyneladende ikke uden videre overføres på den samlede Østersø, idet Launiainens regressionsligning er:

$$Q_{\text{Østersø}} = Q_{\text{Vuoksi}} \times 10.45 + 8924 \text{ m}^3/\text{s}$$

og beregnet med denne formel er stigningen kun 13%. Sammenhængen mellem årsvandføringen i Vuoksi og ferskvandstilstrømningen til hele Østersøen er vist i figur 5-10.

Østersøens ferskvandsoverskud bestemmes som overskuddet af afstrømning og nedbør over fordampningen. Nedbør og fordampning over Østersøen ophæver stort set hinanden på årsbasis, og ferskvandsoverskuddet bestemmes derfor groft taget af afstrømningen. Dette er praktisk, da afstrømningen er kendt for en længere årrække, mens nedbør og fordampning kun kendes som langtidsmiddelværdier.

Afstrømningen 1921-70 er vist i figur 5-11, hvor også en løbende 5-års middel

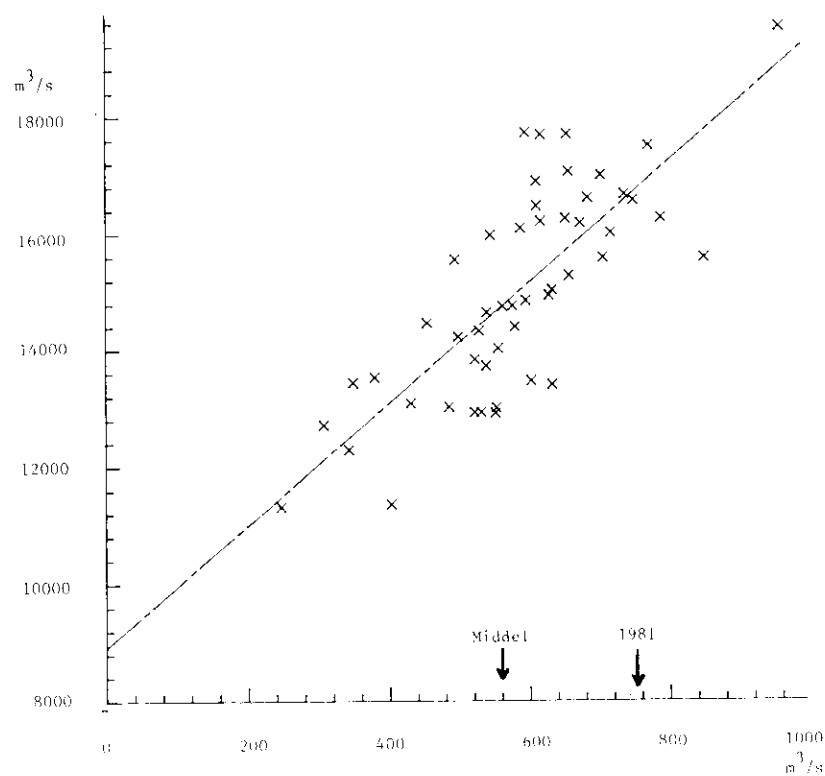


Fig. 5-10

Middelaflstrømning til Østersøen som funktion af middelvandføring i den finske flod Vuoksi. Årsværdier 1921-70. Bemærk forskudt nulpunkt for ordinat. (Launiainen pers. medd., 1982).

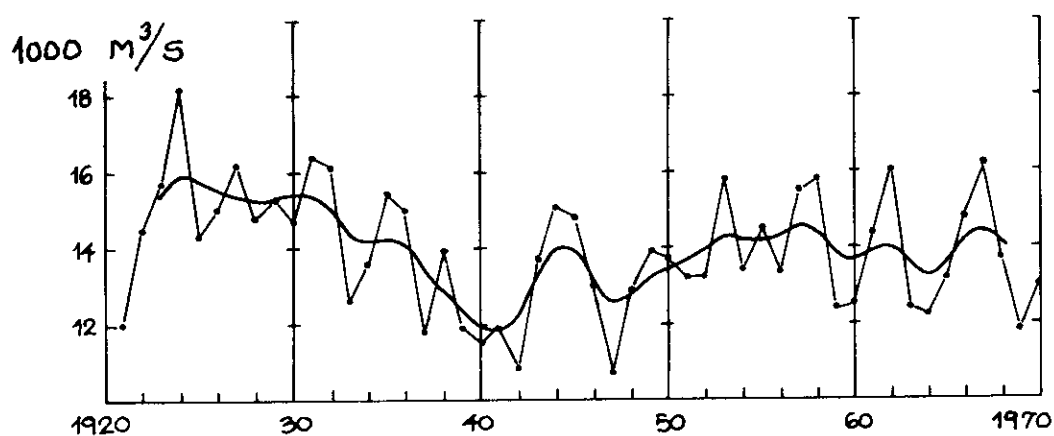


Fig. 5-11

Årsafstrømning til Østersøen 1921-70. En glidende 5-års middel er indtegnet.

er indtegnet. Beregningen er baseret på et stort antal floder, og en sådan afgørelse foreligger ikke fra 1981, hvor man må støtte sig til en enkelt flod. Det fremgår, at afstrømningen har været faldende indtil først i 40-erne, og at den dernæst atter har været stigende. Denne langtidsændring udgør ca. 15% af middelaflstrømningen, mens variationerne over nogle ganske få år kan være større, 20-25%. I 1976 var afstrømningen $11,1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ mod $13,8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ som middel 1931-60, altså 20% under normalen.

Taget under eet kan der ikke påvises en trend (stigende eller faldende tendens) i perioden 1921-70, men det fremgår af kurven, at hvis man udtager f.eks. 1921-40, vil man kunne påvise en faldende tendens.

5.2.3 Hydrografien

5.2.3.1 Oversigt

Farvandene, Øresund, Bælthavet og Kattegat, som tilsammen udgør overgangsområdet mellem den kontinentalt påvirkede Østersø og det oceanisk påvirkede Skagerrak, er udprægede fladvandsområder, hvor bundtopografien har en betydelig indflydelse på strømfeltet. Vanddybden er i store dele af området mindre end 20 m. De maksimale dybder ved indgangene til Østersøen, det vil sige Drogden og Gedser-Darss, er henholdsvis 8 m og 18 m. Vanddybder større end 20 m forekommer kun i den østlige del af Kattegat og de smalle uregelmæssigt løbende fordybninger i Øresund og Bælthavet.

Forholdene i Øresund, Bælthavet og Kattegat er i stor udstrækning påvirket af, at de forbinder to i hydrografisk henseende meget forskellige havområder. Vandmassen i området er i almindelighed opdelt i mindst to lag.

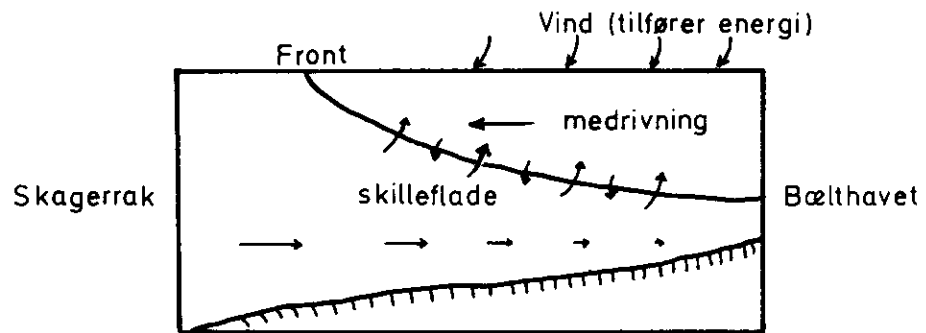


Fig. 5-12

Principskitse af de hydrauliske forhold i 2-lagsstrømningen i Kattegat.

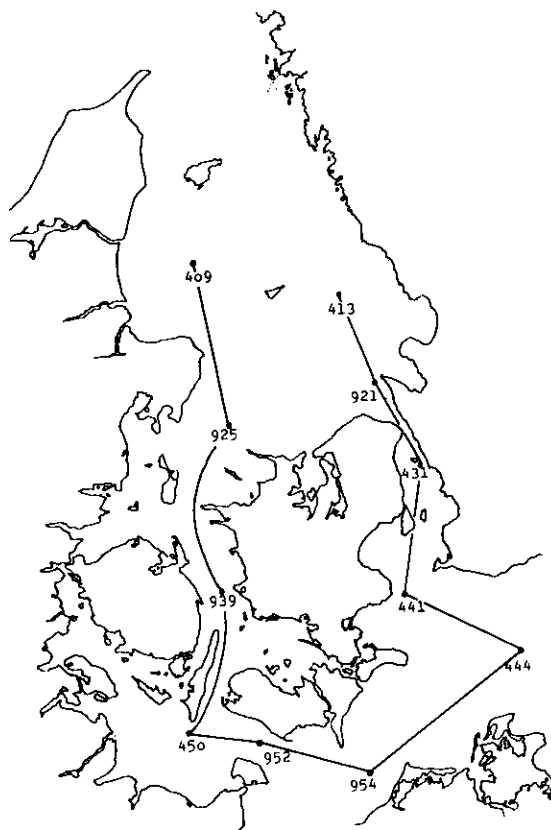


Fig. 5-13

Havforureningslaboratoriets målestationer. På figur 5-19 er vist et vestligt snit gennem Store Bælt (409-444) og et østligt gennem Øresund (413-444).

Grænsefladen mellem det brakke Østersøvand og det salte Skagerrakvand kaldes springlaget, og det befinder sig i det sydlige Kattegat normalt i ca. 10 m dybde, mens det når overfladen ved Kattegats nordgrænse i en såkaldt front. Ved en kraftig indstrømning til Østersøen (vestenvind) ^{hvilket de - er udfaldet i} skubbes fronten mod syd ned gennem Kattegat. Springlaget virker som et låg, der hæmmer udveksling mellem det øvre og det nedre lag. Om sommeren dannes der ofte et temperaturspringlag (en termoklin) i det øvre lag, som yderligere nedsætter tilførslen af ilt til bundlaget. Forholdet er illustreret i figur 5-12.

I forbindelse med den sidste efterårsstorm presses fronten ned i det sydlige Kattegat, og ilt kan nu uhindret blandes fra overfladevandet ned i bundvandet nord for fronten. Når stormen er overstået, får den estuarine cirkulation (effekten af Østersøens ferskvandsoverskud) overtaget, og fronten bevæger sig til det nordlige Kattegat. Tilførslen af ilt fra overfladelaget til bundlaget er nu stærkt nedsat på grund af tæthedsforskellen, men der foregår en stadig indstrømning af bundvand til det nordlige Kattegat, hvilket resulterer i en svag sydgående middelstrøm. Denne strøm fører iltrigt vand til Kattegats bundlag. Strømmen drives af 2 mekanismer: Dels erstatning af den vandmængde, som fra bundlaget rives med op i det mere turbulente overfladelag, og dels af den kompensationsstrøm, der foregår til Østersøen gennem Bælthavet.

Medrivningen af bundvand til overfladevandet skyldes turbulens i overfladevandet, som i Kattegat i nogen grad forårsages af strømmen, men i endnu højere grad af vindens arbejde på overfladen. Medrivningshastigheden kan sættes proportionalt med vindens hastighed i 3. potens og omvendt proportionalt med tæthedsforskellen mellem overflade- og bundvandet.

Turbulens i bundvandet forårsager medrivning af overfladevand til bundvandet og skabes især ved friktion mod bunden, når der forekommer strømninger i bundvandet. Det er ikke den sydgående middelstrøm, der har størst interesse, men den øjeblikkelige strøm, som kan være en del større, og som især har bidrag fra tidevandsstrømmen (amplitude ≈ 10 cm/s). Den nedadrettede medrivning kan sættes proportionalt med bundstrømmen i 3. potens og omvendt proportionalt med tæthedsforskellen mellem det øvre og nedre lag. Den er endvidere omvendt proportional med tykkelsen af det nedre lag.

Opadrettet medrivning bringer bundvand til overfladen og om sommeren dermed også næringssalte, der på dette tidspunkt forekommer i størst mængde i bundlaget. Tabet af bundvand bevirker, at der sker en indstrømning af bundvand fra nord - og dermed en ilttilførsel.

Nedadrettet medrivning bringer ilt fra overfladelaget ned til bundvandet. I Kattegat er den nedadrettede medrivning betydeligt mindre end den opadrettede.

For at belyse disse fysiske forhold kan man derfor se på tidsudviklingen af vinden i 3. potens (figur 5-3) og på tæthedsforskellen (figur 5-14). På grundlag af disse data kan man fremsætte nogle kvalitative vurderinger, men en egentlig kvantitativ vurdering vil kræve, at disse mekanismer sammensættes i en matematisk model for Kattegat. Et sådant arbejde er blevet iværksat, men på grund af vanskeligheder ved at beregne modellens løsning, er arbejdet endnu ikke afsluttet, og den foreliggende udredning må derfor undvære disse mere eksakte resultater.

5.2.3.2 Kilder til information og stationsnet

De hydrografiske forhold i vore farvande i 1981 kan især belyses ved følgende sæt af målinger:

- meteorologisk instituts kyststationer og fyrskibe samt vandstandsmålere
- havforureningslaboratoriets monitoreringstogter, (HFL)
- amternes monitorering
- Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser (D.F. & H.) togter med "DANA"
- vesttyske observationer i den vestlige Østersø
- satellitmålinger af overfladetemperatur
- svenskernes togter.

I det følgende præsenteres en del af materialet, som dermed danner basis for den efterfølgende diskussion af de hydrografiske forhold.

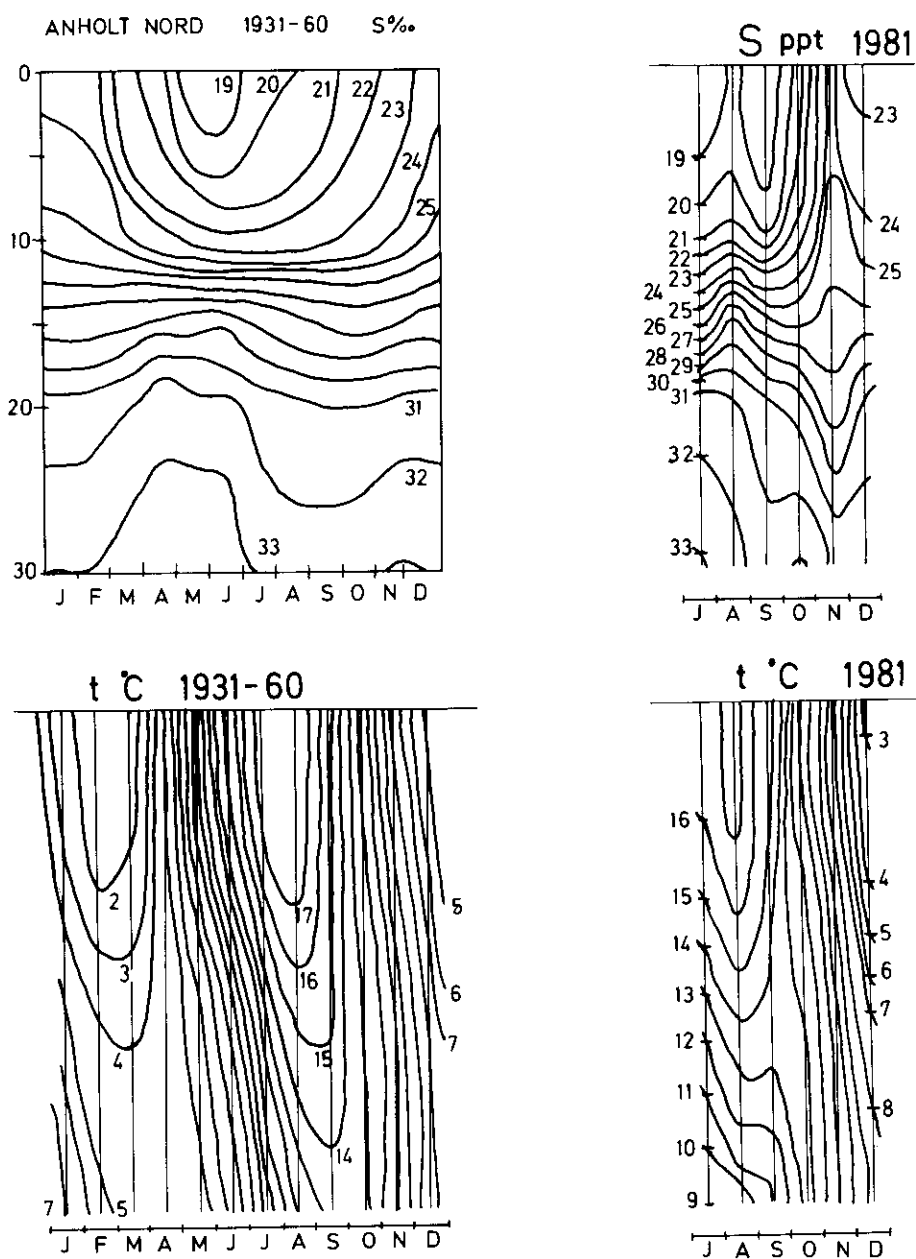


Fig. 5-14

Tidsvariationen af isohaliner og isotermer ved Anholt Nord/Knob fyrskib 1931-60 (hele året) og i 1981 (juli-december).

Det skal nævnes, at der eksisterer relevante hydrografiske beskrivelser af Kattegat og Bælthavet for 1981. Det drejer sig om amternes indberetninger til miljøstyrelsen, hvori der i flere tilfælde er draget konklusioner, samt en rapport om forekomst af svovlbrinte i usædvanlig mængde i den vestlige Østersø (Erhardt og Wenck, 1982).

Endvidere bringer ICES i "Annales Biologiques" en hydrografisk oversigt for Havundersøgelsesrådets interesseområder, men bindet for 1981, vol. 38, påregnes først at udkomme i begyndelsen af 1984. Efter aftale med ICES (ICES, 1981) kan følgende oplyses:

Jens Smed skriver i introduktionen til hydrografiafsnittet om de hydrografiske forhold i ICES-undersøgelsesområdet blandt andet:

- Ved Bornø i Gullmarfjorden målt store negative anomalier af salinitet i marts og september-oktober, hvilket viser en forøget indflydelse af baltisk vand (en øget udstrømning fra Østersøen). Iltindholdet er målt ved stationen Fladen, og viser store negative anomalier i perioden august-oktober.
- Ved Fehmarnbælt fyrskib var overfladevandet 1-2 grader varmere end normalt i april og maj, bundvandet var kun varmere i april. I alle andre måneder var bundvandet koldere end normalt. Overfladesaliniteten var 3 ppt*lavere end normalt i marts og september, og 2-3 ppt højere end normalt i oktober-november. Bundvandet viste 2-3 ppt lavere salinitet end normalt i perioden januar-marts.
- I de dybe bassiner i Østersøen var de dårlige iltforhold, som var blevet observeret i efteråret 1980, forbedret noget i løbet af vinteren. De hyppige storme har fået den termohaline konvektion til at trænge dybere ned end normalt, hvilket har forbedret iltforholdene og øget transporten til overfladelaget af næringsrigt vand. Situationen ændredes ikke meget i foråret 1981 (marts), men i løbet af sommer og efterår forværedes forholdene i hele den centrale Østersø, hvilket blev observeret i november.

*ppt = part per thousand eller promille

5.2.3.3 Fyrskibe og kyststationer

Salinitet og temperatur måles hver dag fra en række kyststationer og fyrskibe, og de her anvendte er vist i figur 5-18. Salinitet og temperatur kan bruges til at spore de forskellige vandmasser, herunder til at skelne mellem det brakke Østersøvand og det saltholdige bundvand fra Kattegat. Billeder af de variables fordeling og ændring i overfladen (kyststationer) - eller endnu bedre i dybet (fyrskibe og togter) - kan derfor give information om vandmassernes fordeling og bevægelser.

Isohaliner og isotermer ved Anholt Knob fyrskib er optegnet for sidste halvdel af 1981 (figur 5-14). Salinitetsforskellen mellem 10 og 20 m dybde var i september 1981 2 ppt højere end langtidsmiddelværdien for september. Dette betyder en højere vertikal stabilitet og dermed en nedsat udveksling mellem bund- og overfladelag (Meteorologisk Instituts årbøger, 1962-76).

Salinitet og temperatur i overfladen for en række af kyststationerne er optegnet som funktion af tiden i figur 5-16 for perioden 1. marts - 1. november 1981.

Temperaturen i overfladevandet stiger hurtigt gennem marts, april og maj, men i midten af juni forekommer der et markant dyk, især på stationerne i det sydlige Kattegat og Store Bælt-området. En maksimumtemperatur nås omkring 10. juli, hvorefter temperaturen falder brat med 3-5 grader, for igen at nå et maksimum i første halvdel af august. I første halvdel af september findes der på nogle stationer en beskeden top, hvorefter temperaturen falder jævnt alle steder.

Saliniteten i overfladevandet har ikke en så udpræget årstidsvariation. Man bemærker flere steder et lokalt maksimum midt i juni (samtidig med, at temperaturen falder). Det er særlig markant ved Middelfart. I øvrigt ses en tydelig sammenhæng med retningen af vandtransporten (figur 5-2): Indadgående transport fører til højere salinitet og omvendt.

Overfladesaliniteten er afbildet på kort i figur 5-17 for dage med fiskedød, samt for 9. juli, hvor der foreligger et satellitbillede af god kvalitet af overflade-temperaturen (figur 5-15).



Fig. 5-15

Overfladetemperaturer som set af satellit d. 9 juli 1981 kl. 18.11 GMT. Absolute værdier kan være flere grader forkerte, det er forskellene, der er interessante. Sammenlign med fig. 5-17 for 9. juli, og se beskrivelse afsnit 5.2.3.8. Bemærk kolde områder ved Nordfyn og Norddjursland. (T. Rye Nielsen, Rude Skov Observatoriet).

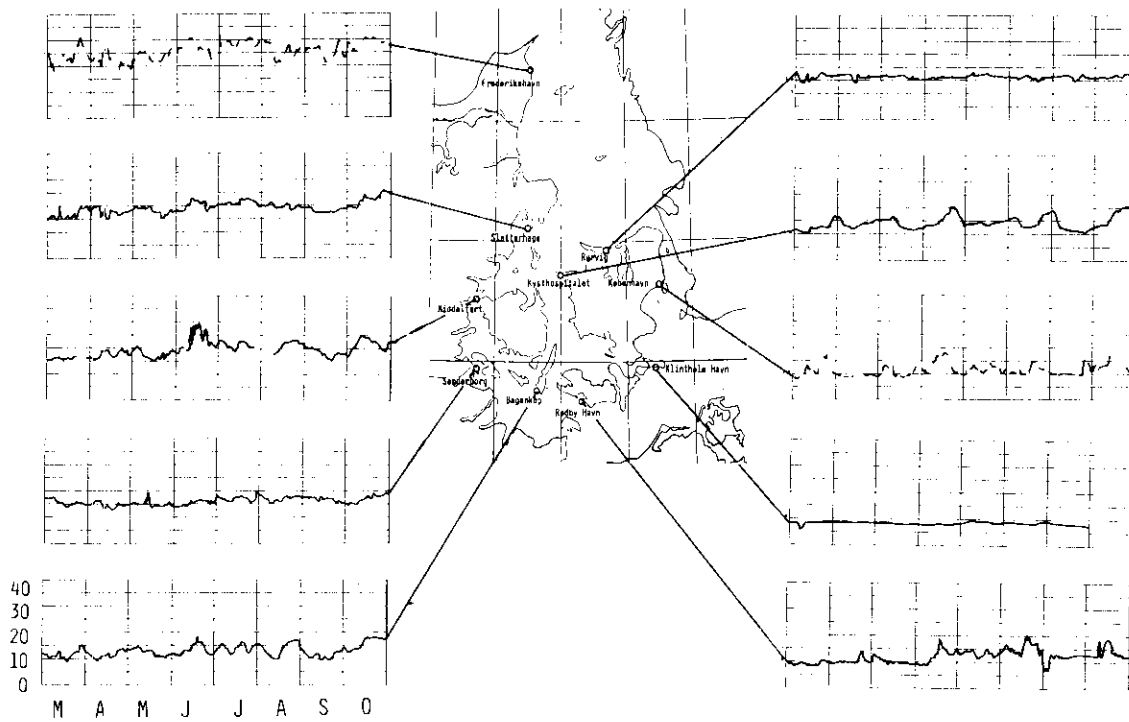
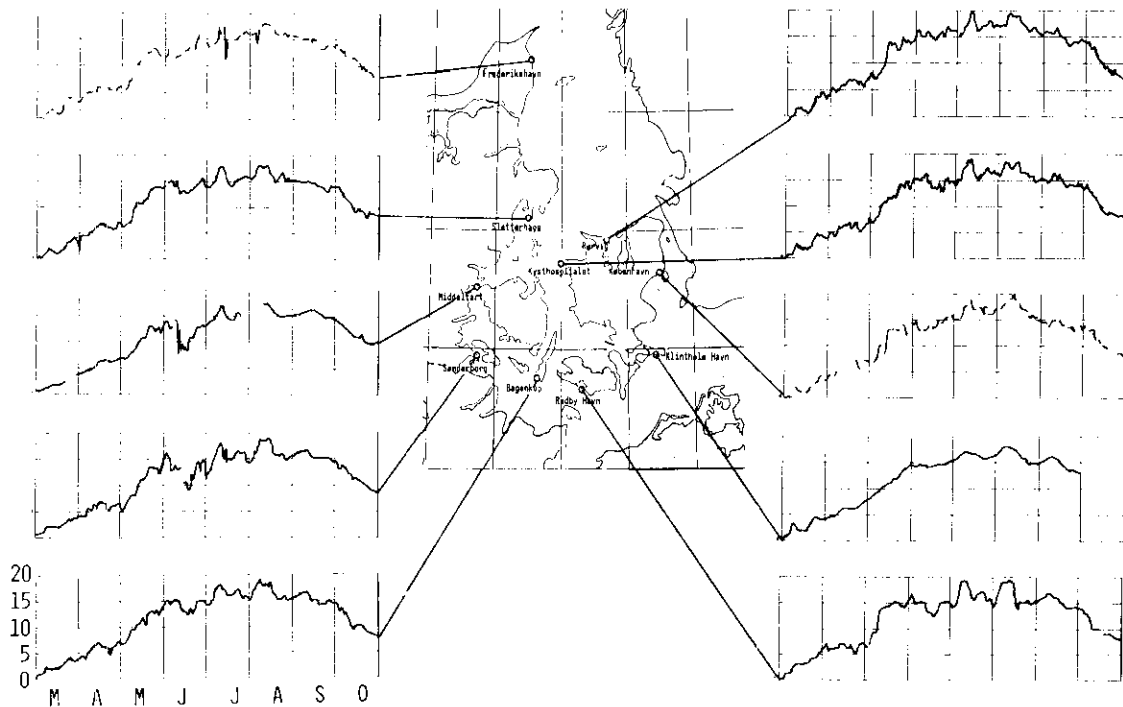


Fig. 5-16a
Overfladesaliniteter marts-oktober 1981.



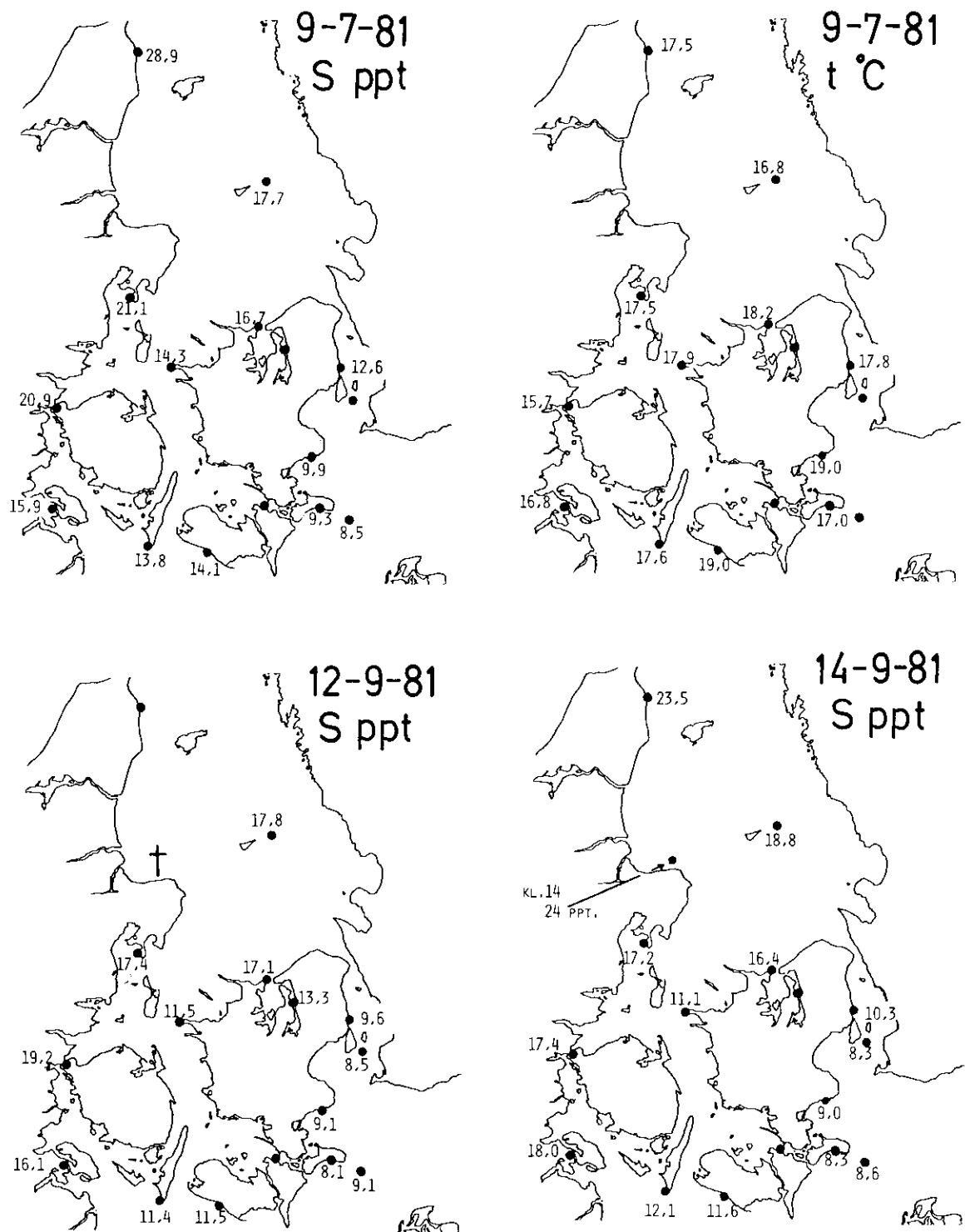


Fig. 5-17

Øverst: Overfladesalinitet og temperatur d. 9-7-1981 kl. 8 (Dato for satellitfoto fig. 5-15). Nederst: Overfladesalinitet d. 12-9 og 14-9-1981 kl. 8 (Fiskedød ved Fjellerup Strand).

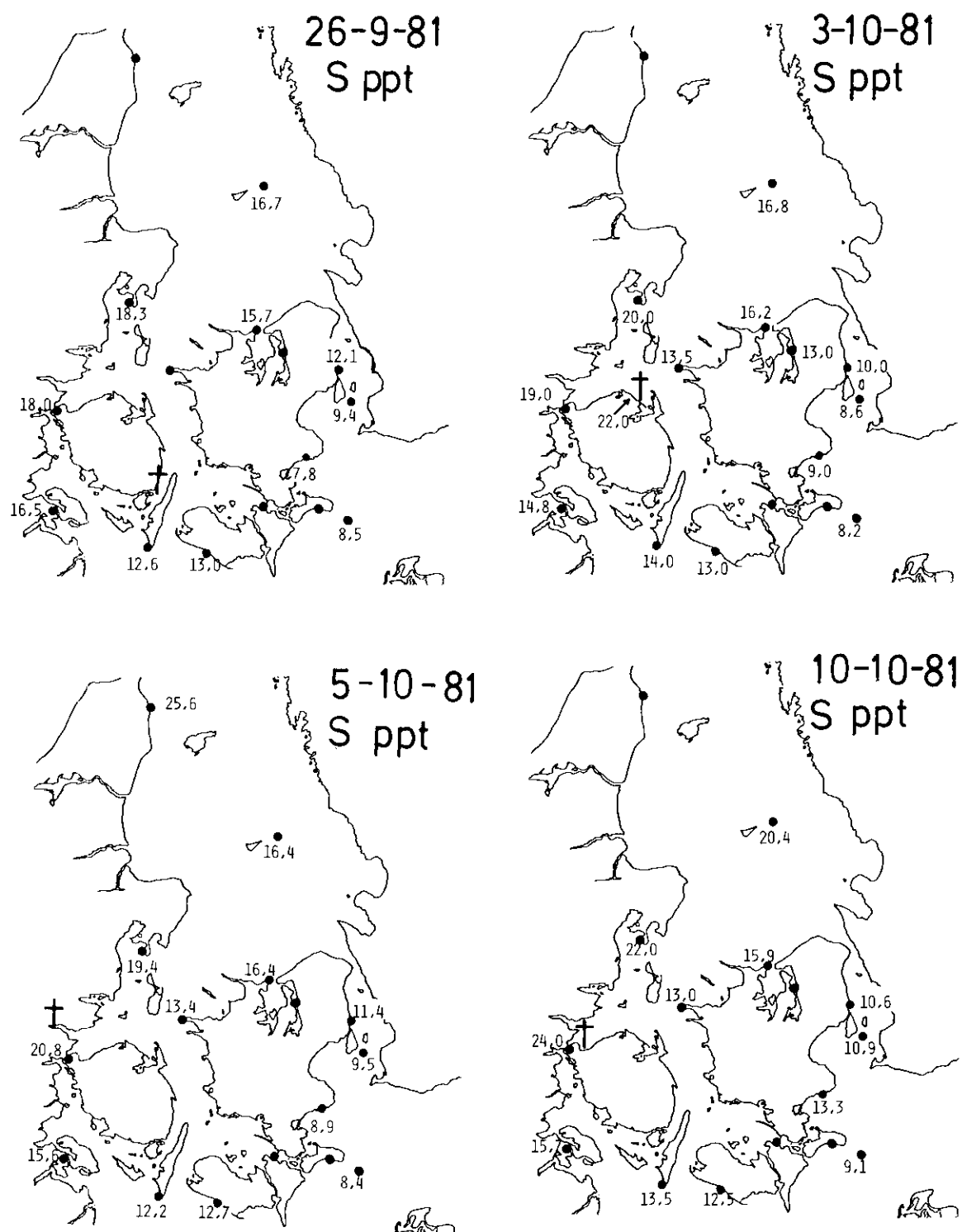


Fig. 5-17 (fortsat)

Øverst: Overfladesalinitet d. 26-9 og 3-10-1981 kl. 8 (Fiskedød Pæregaard Strand og Dalby Bugt). Nederst: Overfladesalinitet d. 5-10 og 10-10-1981 kl. 8 (Fiskedød Vejle Fjord og Båring Vig).

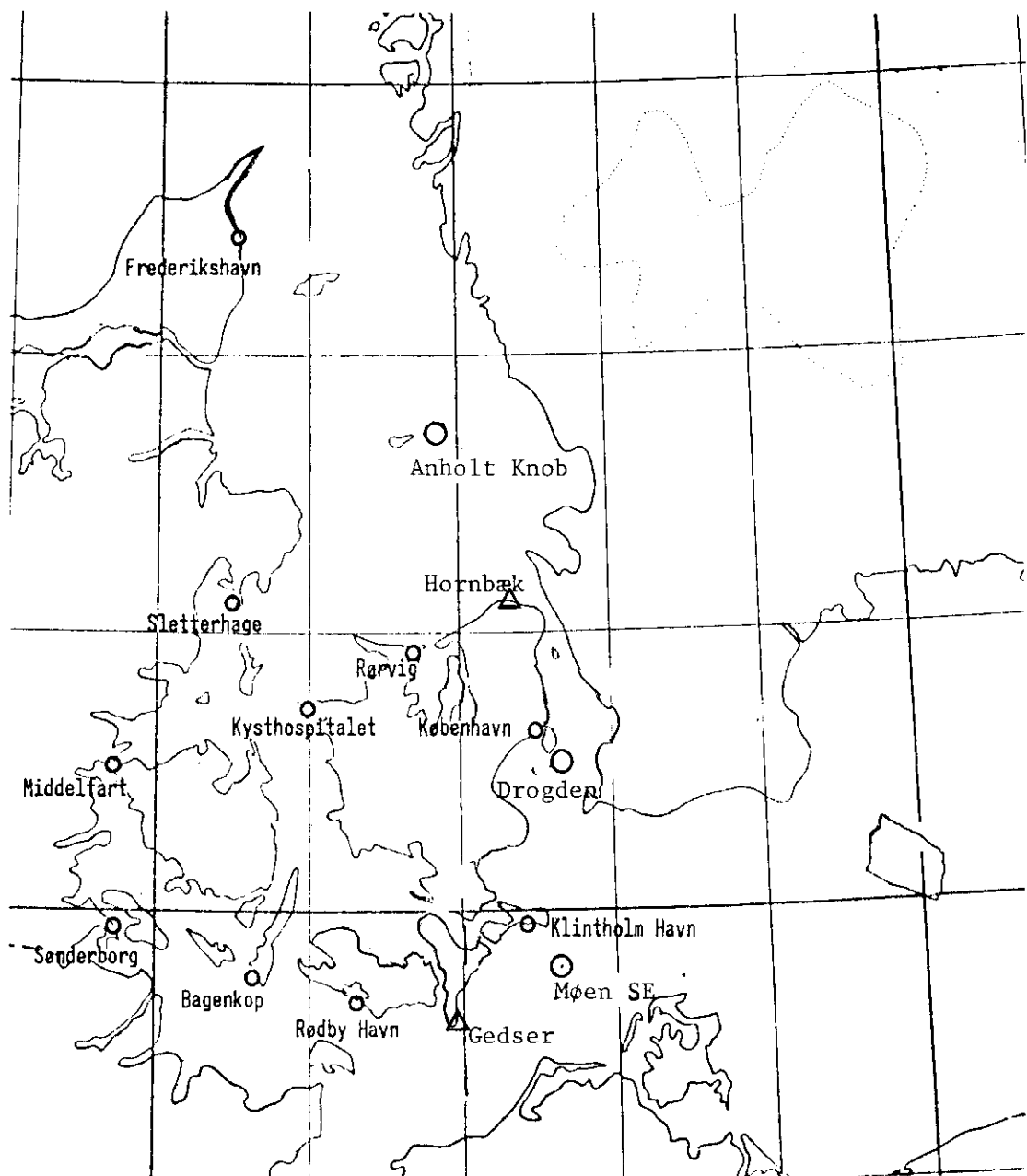


Fig. 5-18

Beliggenheden af meteorologisk instituts kyststationer, fyrskibe og vandstandsmålere, som er anvendt ved udredningen.

Vandstanden registreres hvert 15. minut ved en række vandstandsmålere, se figur 5-18. Vandstandsforskellen mellem Kattegat og den vestlige Østersø er bestemmende for strømningen gennem bæltterne, og der blev allerede i Bæltprojektet udviklet en model, der udnytter dette princip. En beregning af vandudvekslingen baseret på vandstanden i Gedser og Hornbæk er vist i figur 5-2.

Der ses at have været en kraftig og langvarig udstrømning fra ca. 10. februar til 1. marts. Marts var præget af mindre fluktuationer, og fra slutningen af marts til midt i maj strømmede vandet atter ud det meste af tiden, især kraftigt i første halvdel af maj. I sidste halvdel af maj var der rolige strømningsforhold, og der fulgte en indstrømning i første del af juni og en udstrømning i sidste del. Efter rolige forhold med mindre pulsationer kommer så en langvarig udstrømning fra ca. 20. august til 20. september, mens kraftig indstrømning sker fra 2. oktober til 15. oktober.

Fiskedøden ved Fjellerup skete altså midt i en langvarig, rolig udstrømnings-situation, fiskedøden ved Langeland den 26. september skete samtidig med, at en indstrømning havde en kortvarig afbrydelse (se figur 5-2), og de resterende tilfælde af fiskedød skete under en kraftig indstrømning. Det skal dog bemærkes, at denne simple strømningsmodel giver de sikreste resultater ved kraftige strømninger.

5.2.3.4 Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser og havforureningslaboratoriets observationer

Havforureningslaboratoriets togter 180, 182, 1 og 3, i 1981 skal omtales her. De optegnede snit er vist i figur 5-19. Salinitet, temperatur og oxygen er optegnet for et østligt og et vestligt snit, idet situationen, mens togtet varer, betragtes som fastfrosset. Disse snit udgør figur 5-19. Endvidere har "DANA" 22-23 august opmålt et snit ned gennem Kattegat (figur 5-19).

Togt 180, 20-22 januar: Udstrømning, salinitet ca. 15 ppt i Store Bælts overfladelag, ringe lagdeling. Temperaturen 1-2 grader i overfladen, omkring 2 grader ved bunden, 8-9 ml/l (11-13 mg/l) ilt overalt.

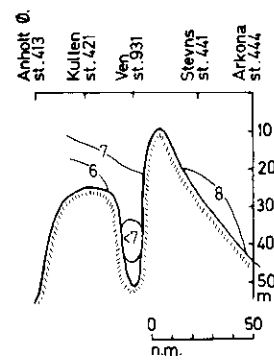
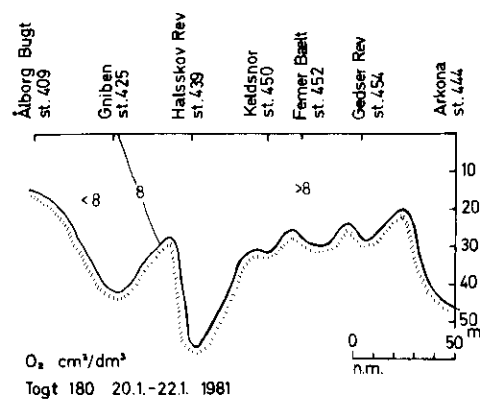
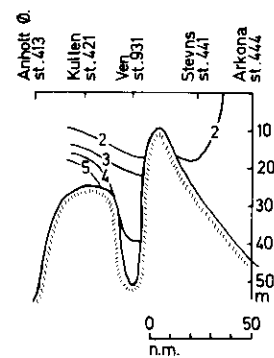
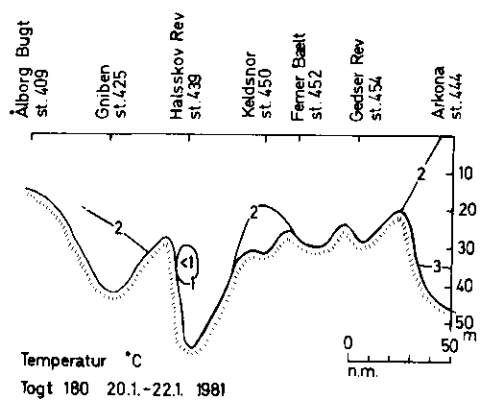
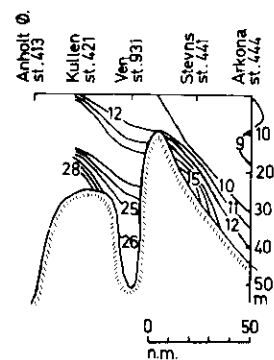
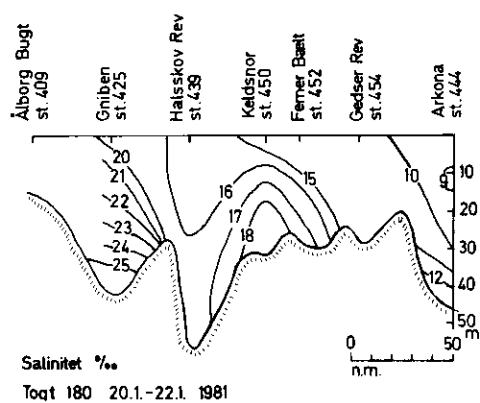


Fig. 5-19a

Havforureningslaboratoriets togt 180 i januar 1981.

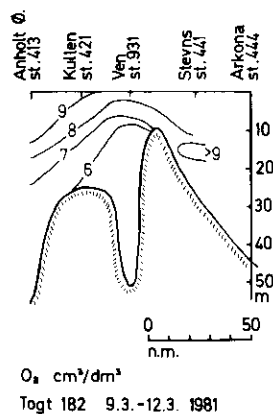
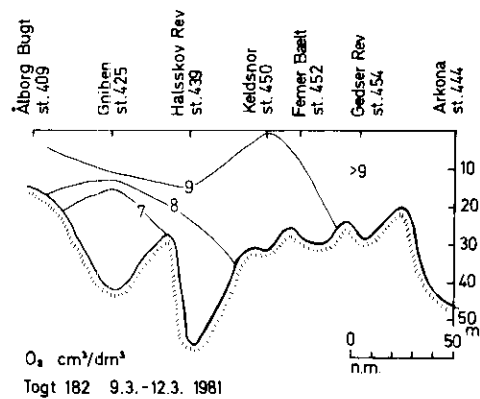
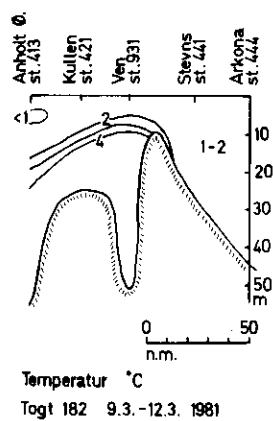
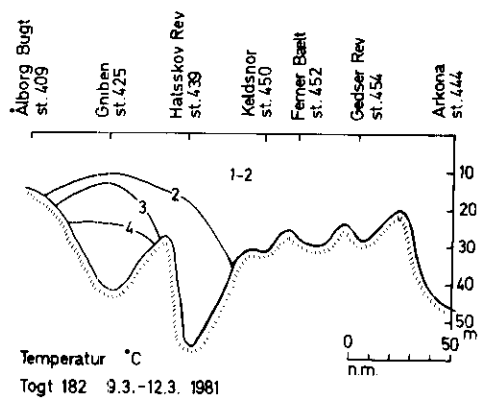
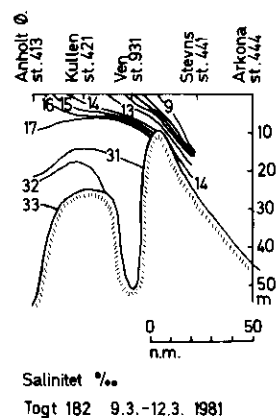
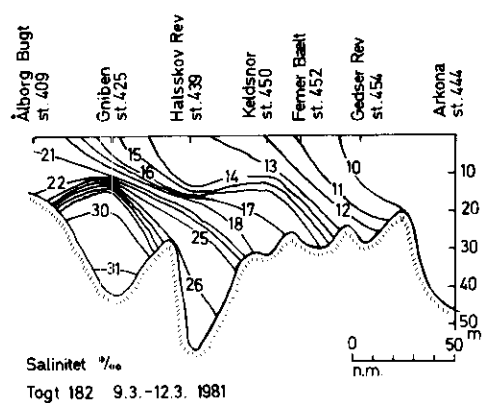


Fig. 5-19b

Havforureningslaboratoriets tøgt 182 i marts 1981.

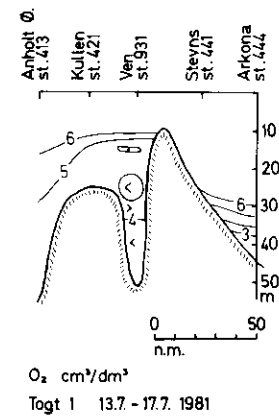
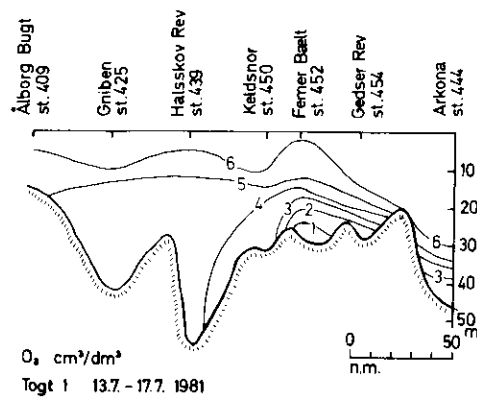
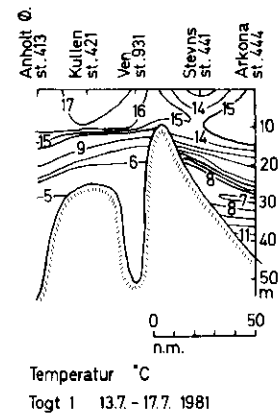
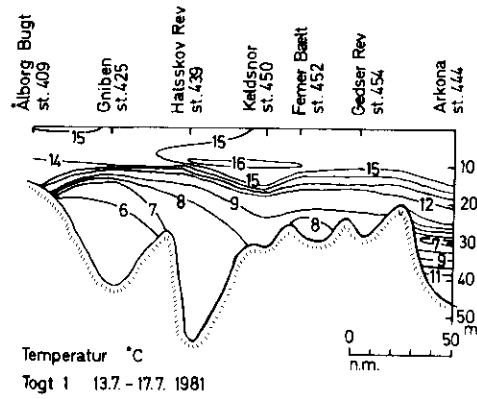
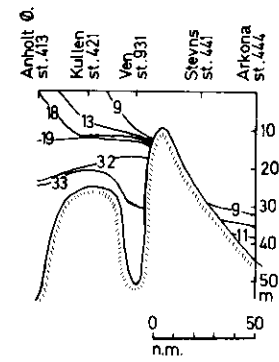
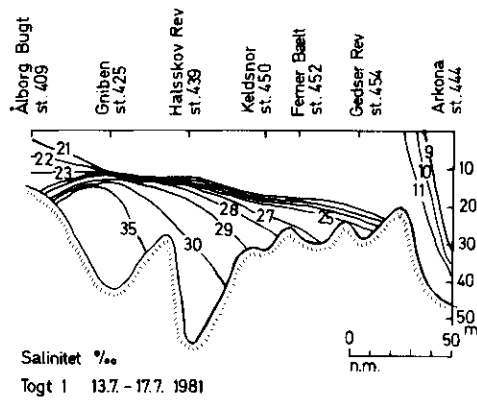


Fig. 5-19c

Havforureningslaboratoriets togt 1 i juli 1981.

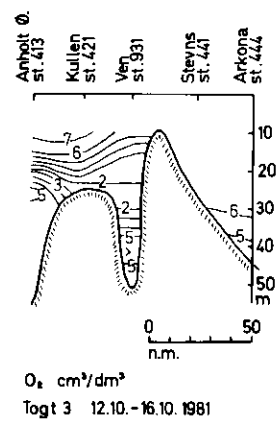
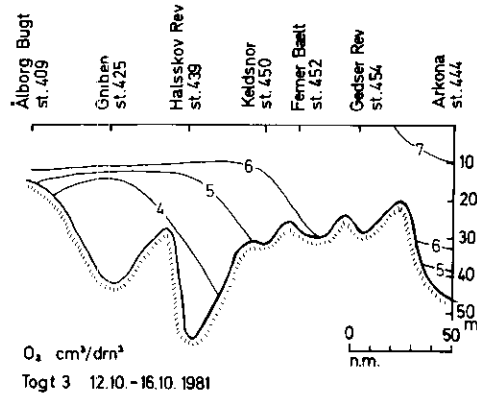
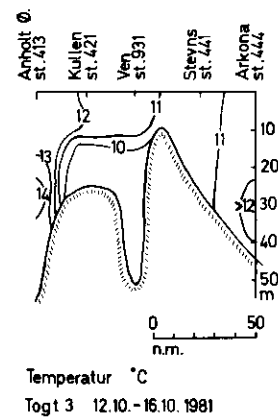
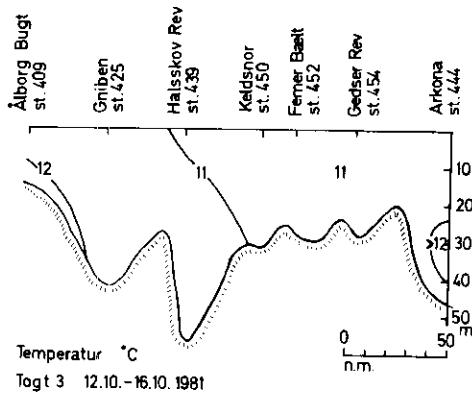
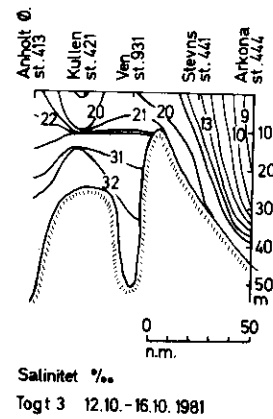
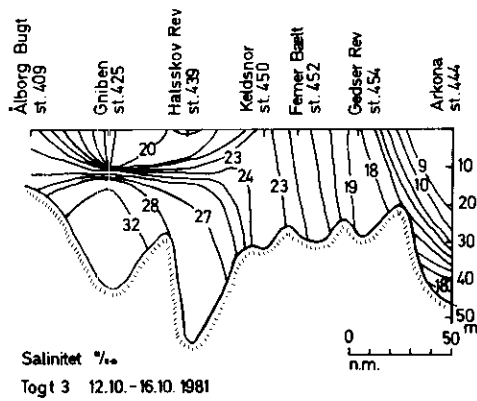


Fig. 5-19d
Havforureningslaboratoriets tøgt 3 i oktober 1981.

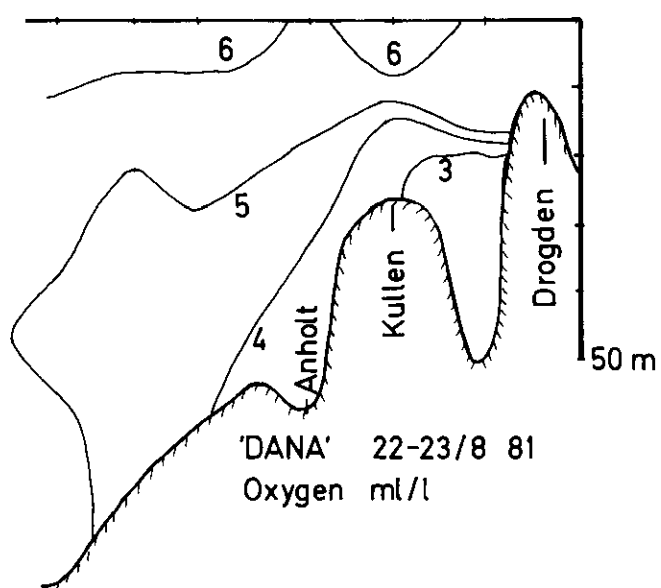
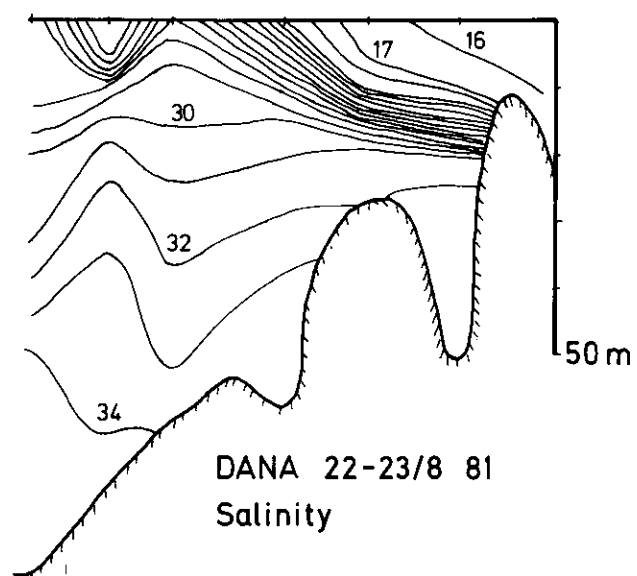


Fig. 5-19e

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser's togt gennem Kattegat august 1981.

Togt 182, 9-12 marts: Indtrængning af saltvand fra nord, fronten (15-20 ppt) befinder sig i det sydlige Kattegat, og springlaget rammer bunden midt i Langelandsbælt. Det indtrængende vand kan også spores på højere temperatur, 2-4 grader, mens vandet syd for fronten er 1-2 grader. Iltindholdet er højt overalt.

Togt 1, 13-17 juli: Meget kraftigt springlag i 15 m dybde i Store Bælt. Der er opbygget en termoklin, der er 15-16 grader i overfladen og 6-7 grader i bundlaget. Bundvandet i Store Bælt indeholder 4-5 ml/l (6-7 mg/l) ilt, men der ses et lokalt, kraftigt minimum ved Femer Bælt stationen.

Togt 3, 12-15 oktober: Kraftig indstrømning i gang. En front (9-18 ppt) står næsten lodret over Darss-tærsklen, og isohalinerne står stejlt op til Langelandsbælt, hvor der er en frembrydende tunge af vand, som er mere end 24 ppt. Der er et horizontalt springlag fra Sprogø og mod nord - meget kraftigt ved Sjællands Rev - i 10-15 m dybde. Isohalinerne tyder på, at der er en hvirvel, som løfter det tunge bundvand (ca. 32 ppt). Det er dette bundvand, der senere fortrænger og løfter 20-23 ppt-vand med lavt iltindhold ved Fyn og forårsager fiskedød. Vandets temperatur er uhyre ensartet, 11-12 grader over det hele, idet 12-grader-isothermen kommer ind langs bunden fra nord. Iltindholdet i det tunge vand i det nordlige Store Bælt er under 5 ml/l (7 mg/l) ned til 3,4 ml/l (4,8 mg/l) langs bunden ved Sjællands Rev.

5.2.3.5 Amternes observationer

Sønderjyllands amt (Sønderjyll. amtskomm., 1981) rapporterer for Åbenrå Fjord, at der mellem 2. juni og 23. juni er sket en indtrængning af vand med meget høj salinitet (30 ppt) og et ret højt iltindhold (7 mg/l). Den 23. juni ses det ret iltfattige tidligere bundvand at være skubbet op i en dybde af ca. 15 m. Imidlertid opbruges ilten i det nye bundvand temmelig hurtigt, og den 6. august hersker der således næsten iltfrie forhold. Helt frem til den 1. oktober sker der ingen væsentlig opblanding (saliniteten den 1. oktober er 29,5 ppt ved bunden). Først ved måling den 9. november er der sket en fuldstændig opblanding.

Disse målinger er fra station 16 yderst i fjorden. I en senere rapport (Sønderjyll. amtskomm., 1982) kan man på grundlag af en rapport fra Dansk hydraulisk Institut fastslå, at indstrømning af vand med høj salinitet til den indre

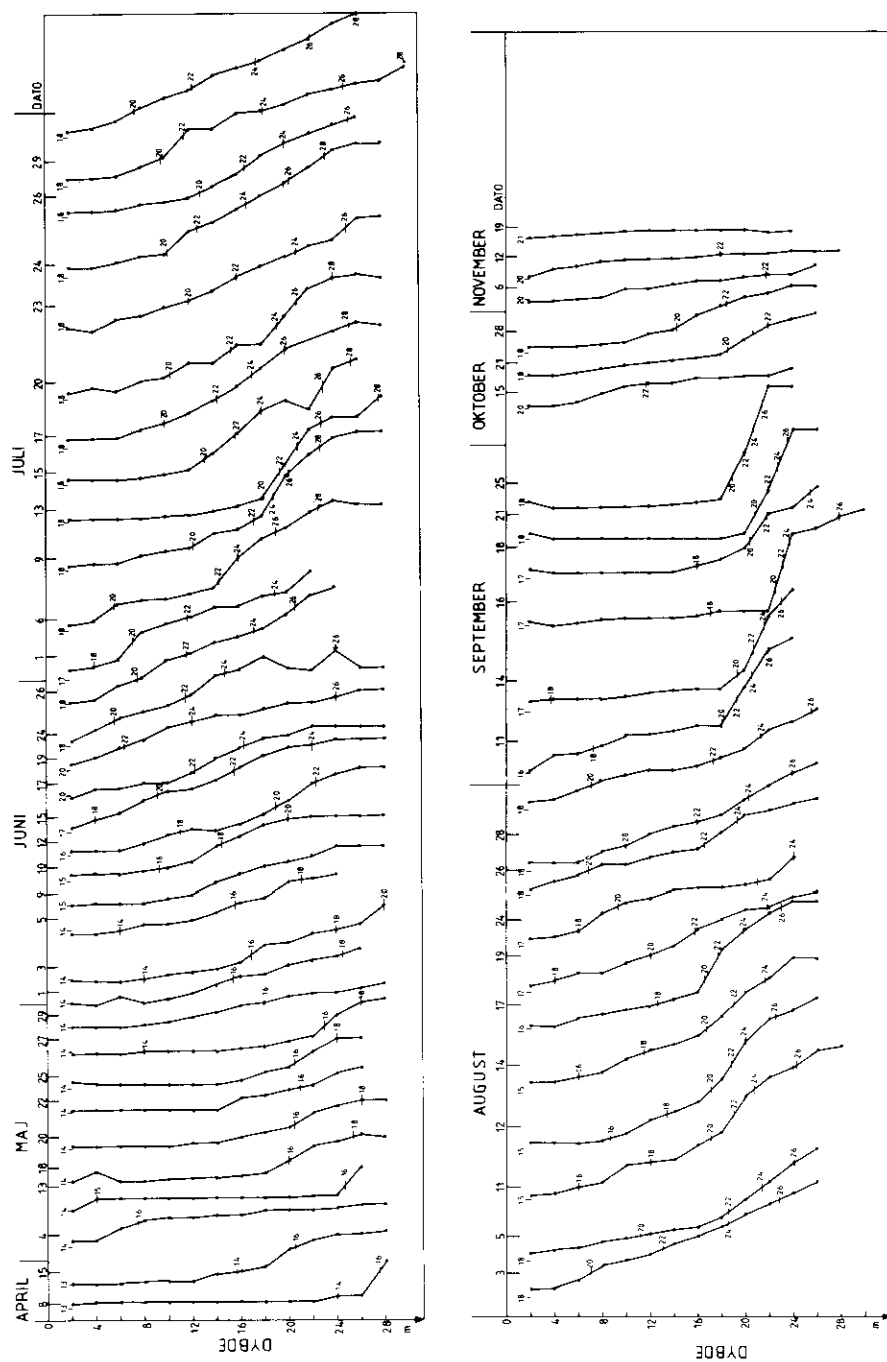


Fig. 5-20
Salinitetsprofiler i Åbenrå Inderfjord i 1981.

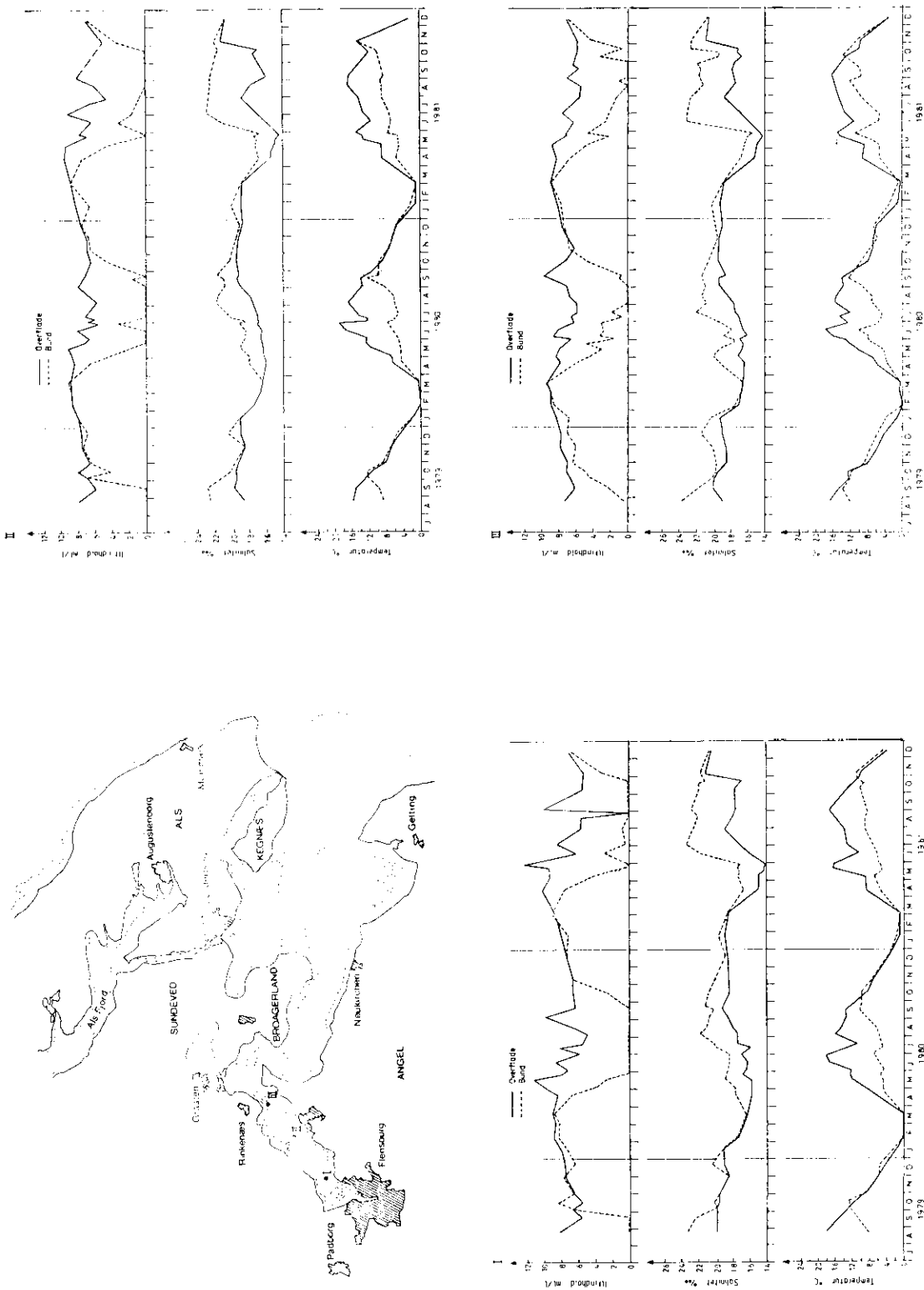


Fig. 5-21
Ilt, salinitet og temperatur i Flensborg Fjord, Inderfjorden, på st. I, II og III (se kort) i perioden 1979-81.

del af Åbenrå Fjord primært sker den 3. juni, hvor der i 10-18 m dybde konstateres en stigning fra 18 til 28 ppt i løbet af dagen. Der er samtidig en vestlig vind på 8-10 m/sek. Opblandingen er meget ringe, og helt hen til begyndelsen af oktober måles saltholdigheder på over 26 ppt ved bunden. Der foreligger et stort antal vertikalprofiler af saliniteten i Inderfjorden, disse er vist i figur 5-20.

I Flensborg Fjord er saliniteten i 15 m dybde i Inderfjorden øget fra 17 til 23 ppt midt i juni, og der opstår derefter ret hurtigt iltmangel ved bunden - også i de ydre dele af fjorden. Denne situation varer til slutningen af oktober. Tids-serier af salinitet, temperatur og ilt er vist for 3 stationer i Flensborg Fjord ved overflade og bund for perioden 1979-81 i figur 5-21.

Amtet konkluderer, at der midt i juni er trængt meget salint vand frem til den vestlige Østersø, og den høje salinitet tyder på, at indtrængningen er sket gennem Store Bælt. Vandet er trængt ind overalt på dybder større end 15-20 m og har givet anledning til et kraftigt springlag, der først forsvinder i slutningen af oktober. Efter at bundvandets iltindhold er opbrugt, må der have været iltmangel i alle dybe dele i indtil 4 måneder. Amtet har ikke kendskab til fiskedød.

I Åbenrå Fjord og på nord- og østsiden af Als var der i juli-august ekstraordinært store fangster af torsk. Dette tolkes som forårsaget af det indtrængte saltvand, der har koncentreret fiskene i usædvanlige områder.

Vejle amt (Vejle amtskommune, 1981) rapporterer om fiskedød i Vejle Fjord den 5. og 6. oktober. Fiskene var dels fundet langs stranden, dels i garn. Amtet undersøgte umiddelbart derefter fjorden og fandt den 6. oktober, at et meget stort lag iltfattigt vand lå langs bunden ind i fjorden, hvor det skønnes at have udgjort over halvdelen af vandmassen i Inderfjorden. Inderst i fjorden var bundvandet løftet, så det næsten nåede overfladen. Vandet var ca. 27 ppt i bunden med et iltindhold på 1,7 mg/l. Overfladesaliniteten var 22,5 ppt, og hele søjlen var homothermal, 13,9° C. Ved station 2 nord for Holtser Hauge lå springlaget i ca 3 m dybde.

Amtet konkluderer, at på grund af den ringe blæst er det salte vand fra Kattegat ikke blevet blandet op med overfladevandet. Man har ikke fundet giftige alger eller spor af svovlbrinte i bundvandet.

Fyns amt (Fyns amtskommune, 1982) rapporterer om 3 tilfælde af fiskedød, den 26. september, 3. oktober og 10. oktober. Lokalteterne var Pæregård Strand mellem Langeland og Fyn, Dalby Bugt og Båring Vig i den nævnte rækkefølge (se figur 5-22). Amtets notat indeholder en udførlig analyse af hydrografien, og der skal her kun refereres de væsentligste punkter af hydrografien, som har betydning for hydrografien i Kattegat-Bælthavet samt amtets konklusioner.

Ved station 4, 9 og 16 (syd for Nyborg, øst for Fyns Hoved og NW for Bogense, se figur 5-22) måltet midt i juni meget høje saliniteter ved bunden, godt 32 ppt. Målingerne på de nævnte stationer gennem året (figur 5-25) tyder på, at der er sket en indstrømning mellem 1. uge i maj og midten af juni, da saliniteten øges i denne periode med ca. 3 ppt på station 4 og 9, og med ca. 7 ppt på station 16. En indstrømning kan dog godt være begyndt tidligere end maj, da bundsaliniteterne er vokset fra begyndelsen af året (første målinger i februar). På station 4, syd for Nyborg, er bundsaliniteten 20,1 ppt den 16. februar og 9. marts, men er vokset til 29,6 ppt den 7. maj. På station 9, øst for Fyns Hoved, er bundsaliniteten 22,1 ppt den 18. februar men vokset til 27,4 ppt den 11. marts og endvidere til 29,1 ppt den 7. maj. På station 16, ved Båring Vig, er den tidligste måling den 5. maj, og da er saliniteten ved bunden 25,5 ppt. Dybderne for de tre stationer er henholdsvis 20, 20 og 15 m.

Efter den rekordhøje salinitet i juni aftager saliniteten jævnt, og iltindholdet aftager meget. Ud for Pæregård Strand på Langelands vestkyst skete der fiskedød den 26. september. Målingerne foretaget 17-21 september viste et springlag i 12-15 m dybde med en overfladesalinitet på 14 ppt og 22-24 ppt nær bunden. Den 28. september - efter fiskedøden - måltet 14-15 ppt nær overfladen, 20-23 ppt i bundlaget, men springlaget befandt sig nu i 6 m dybde og var altså hævet 6-9 m. Iltindholdet i bundvandet var 2-3 mg/l både før og efter.

I Dalby Bugt (figur 5-22) var der fiskedød den 3. oktober. Den 17. september havde man målt 12 ppt i overfladen og 22 ppt ved bunden, med springlag i 6-9 m dybde, 2,2 mg/l ilt nær bunden. Den 3. oktober måltet springlagets øvre grænse i 2 m dybde, og der var kun 2,9 mg/l ilt i 5 m dybde og 2 mg/l i 10 m.

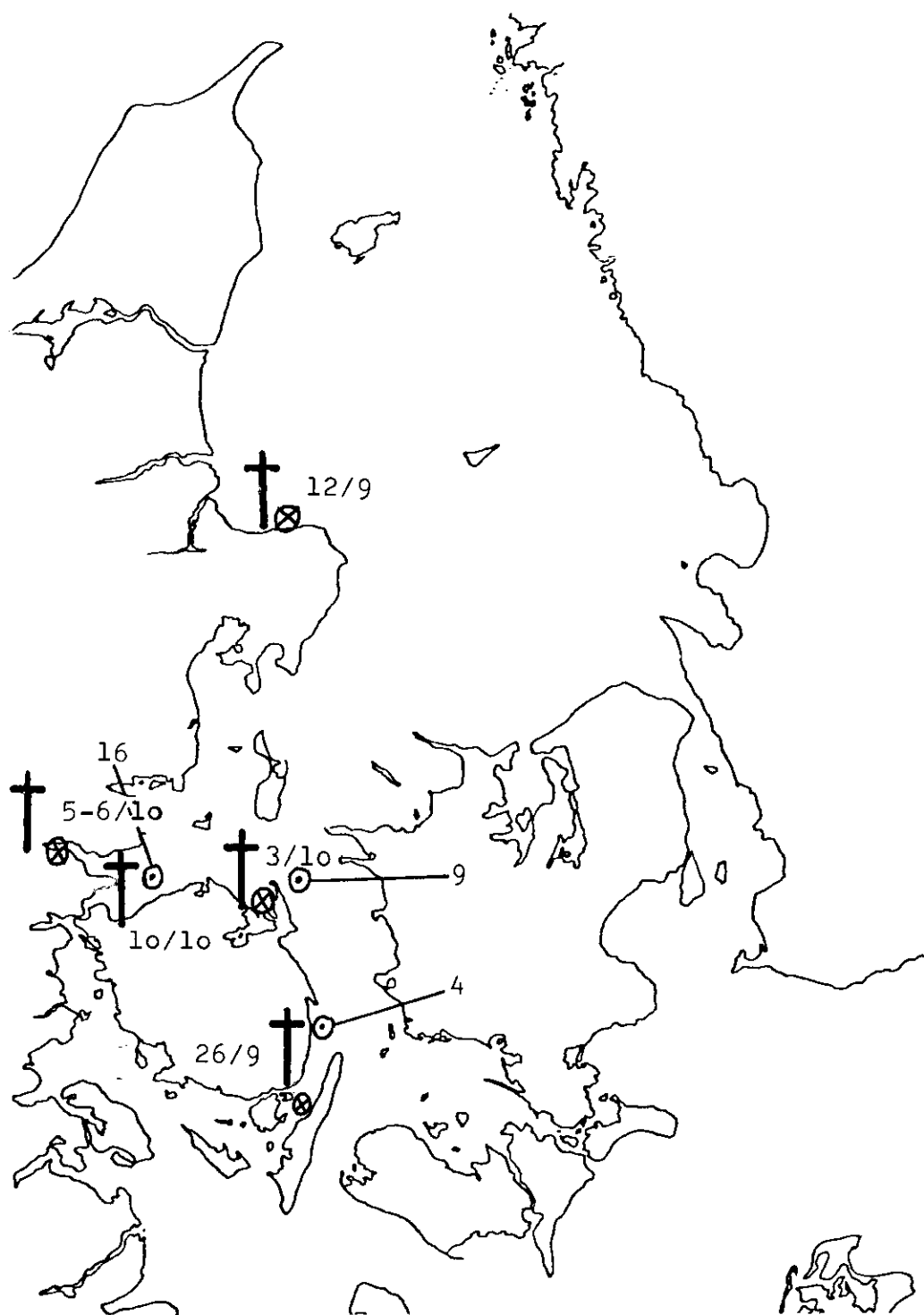


Fig. 5-22

Fiskedød ved Fyn, Djursland og Vejle Fjord i efteråret 1981, samt positioner for Fyns Amts stationer nr. 4, 9 og 16.

Fiskedød indtraf i Båring Vig den 10. oktober. Den 15. september var springlagets øvre afgrænsning i 10 m dybde, og saliniteten ved bunden var 23 ppt, iltindholdet kun 1,1 mg/l. Da man målte op kun 12 timer efter fiskedøden, var der 2,2 mg/l ilt ved bunden og 28 ppt, springlaget var i 13 m eller dybere, og saliniteten var 24 ppt fra springlag til overflade. I modsætning til de to foregående situationer var der indtrådt et kraftigt blæsevejr, før man fik målt op.

Fyns amt konkluderer, at indstrømning af vand med meget høj salinitet i juni måned har skabt et springlag med meget høj stabilitet. Den ringe blanding fra juni til september har medført et stort fald i iltindholdet i bundvandet, da forbruget langt oversteg tilførslen. Bundvandet blev først fortrængt ved en ny indstrømning i slutningen af september eller i begyndelsen af oktober. Det tidligere bundvand blev nu løftet opad, og store områder blev overskyllet med vand, der havde et iltindhold lavere end 4 mg/l ilt, hvilket anses for kritisk for fisk. Fiskene flygtede mod land og omkom tæt ved eller på kysten. Årsagen synes altså at være et samspil af en stagnerende vandmasse med høj vertikal stabilitet og en dynamisk hændelse, der pludselig løfter dette vand betydeligt opad.

Amtets konklusion forekommer velbegrundet. Det skal forsøges yderligere at udnytte observationsmaterialet:

Målingerne fra station 9 viser, at en indstrømning har passeret stedet mellem 18. februar og 11. marts, men endnu ikke nået station 4, syd for Nyborg den 9. marts. Observationerne af salinitet i overfladen ved meteorologisk instituts kyststationer røber ikke passagen - figur 5-16.

Derimod ses den tydeligt på længdesnittene gennem Store Bælt fra havforureningslaboratoriets togter, togt 180, 20-22 januar og togt 182, 9-12 marts. I slutningen af januar (figur 5-19a) er dybet ved Sjællands Rev (station 425) opfyldt af vand ca. 25 ppt, ved Halsskov Rev (station 439) findes vand med 16 ppt over hele dybden, og en forekomst af 18 ppt-vand ses ved station 450, syd for Langeland. På togtet i marts (figur 5-19b) ses et kraftigt springlag at strække sig ned gennem Store Bælt og nå bunden i den sydlige del af Langelandsbælt.

Der forekommer nu 31 ppt i dybet ved Sjællands Rev og 26 ppt ved bunden ved station 439.

Snittet gennem Store Bælt fra togt 1, 13-17 juli, er vist på figur 5-19c. Der er desværre tvivl om pålideligheden af salinitetsmålingerne for dette togt, men det synes, som om saliniteten i bundlaget er øget yderligere: I dybet ved station 425, Sjællands Rev, er der nu vand af lidt over 35 ppt og ved Halskov Rev ca. 30 ppt, begge steder en forøgelse på 4 ppt i forhold til begyndelsen af marts. Et meget kraftigt springlag ligger i ca. 15 m dybde og strækker sig helt over til Darss-tærsklen. Der synes at foregå en svag indstrømning til Østersøen i denne periode (figur 5-2). Iltindholdet under springlaget er knap 5 ml/l i Store Bælt, men i Femer Bælt aftager det til meget lave værdier, under 1 ml/l (figur 5-19c).

Århus amt rapporterer om fiskedød ved Fjellerup Strand ved Djurslands nordkyst (figur 5-22) den 12. september (Århus amtskommune, 1981).

Vejrforholdene tyder på, at der var stillestående vandmasser i Århus Bugt/Kalø Vig området, og ligeledes fra Sletterhage til Sjællands Odde i de to første uger af september. Der var 0,5-1,6 mg/l ilt ved bunden. Den 21. september var der gode iltforhold i Århus Bugt ned til 14-15 m men stadig 0,5-1,6 mg/l dybere end 16 m. Den 1. oktober var springlaget oppe i 8-10 m dybde. Den 19-20 september oplevede man en kort periode med mere ilt ved bunden. Iltsvindsområdet i 1981 er vist sammen med iltsvindsområder fra tidligere år i figur 5-24, og det fremgår, at det i Århus Bugt og i Kalø Vig var af meget større udstrækning end tidligere.

Ved opmåling ud for Fjellerup Strand den 14. september på 7 m dybde fandt man normalt iltindhold i de øverste 3 m, men det nåede kritisk lave værdier i 5-6 m dybde, godt 2 mg/l. Saliniteten varierede fra 24,0 ppt i overfladen til 25,5 ved bunden, og temperaturen var omtrent konstant, 14° C. Sigtedybden var ca. 3 m, og der var en tæt population af planteplankton og store mængder findelt plantemateriale. Disse målinger er vist i figur 5-23b. Det er bemærkelsesværdigt, at der kan være så stor iltgradient i så homogent vand.

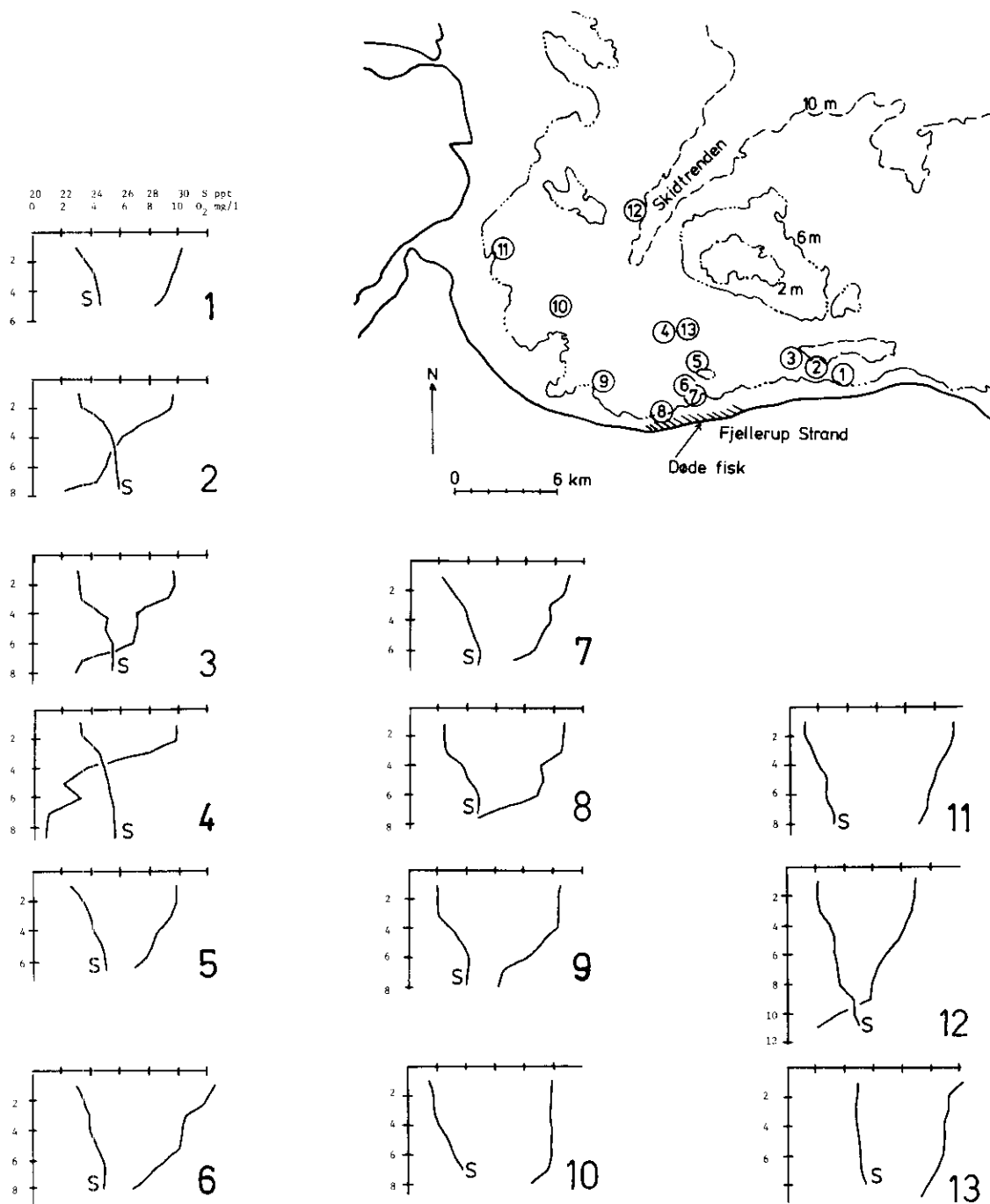
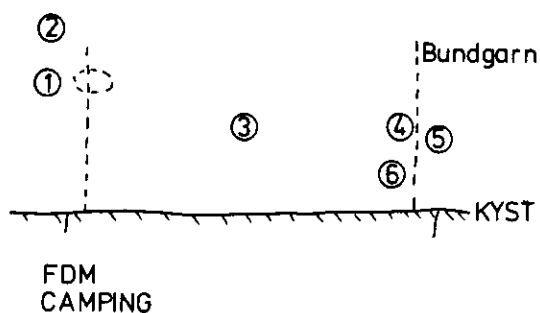
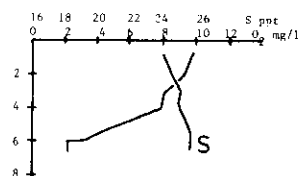


Fig. 5-23a

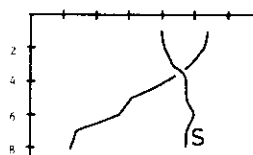
Profiler af ilt og salinitet nord for Djursland d. 16-9-1981 kl. 10-14. Opmålingen er påbegyndt kl. 10 i frisk vind, st. 4 taget 10.25, st. 10 kl. 12.30 og st. 13 kl. 14.15 (taget i nummerorden). Tiltagende vind. Bemærk forskellen i ilt på st. 4 og 13, som ligger tæt ved hinanden. Målingerne er foretaget af Århus amtskommune.



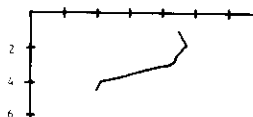
St 1	Dybde	O ₂ mg/l	S ppt
	1	9.8	24.0
	2	9.5	24.5
	3	8.2	25.0
	4	8.0	25.0
	5	5.3	25.5
	6	2.2-2.4	25.5
	6.5	2.2	25.5



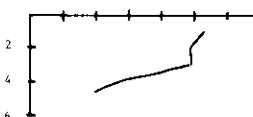
St 2	Dybde	O ₂ mg/l	S ppt
	1	10.8	24.0
	2	10.6	24.0
	3	9.8	24.5
	4	8.5	25.5
	5	6.2	25.5
	6	5.5	26.0
	7	2.8	25.5
	7.5	2.5	-



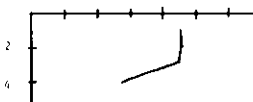
St 3	Dybde	O ₂ mg/l
	1	9.0
	2	9.4
	3	8.6
	4	4.3
	4.5	4.0



St 4	Dybde	O ₂ mg/l
	1	10.6
	2	9.8
	3	9.8
	4	5.2
	4.2	-



St 5	Dybde	O ₂ mg/l
	1	9.2
	2	9.2
	3	9.0
	4	5.5



St 6	Dybde	O ₂ mg/l
	2.8	10.4 (bund)

Fig. 5-23b

Profilen af ilt og salinitet ved Fjellerup Strand d. 14.9.1981 kl. 14-16. Sigte-
dybden var 3.2 m, temperaturen 14,0° fra overflade til bund. Målingerne er
foretaget af Århus amtskommune.

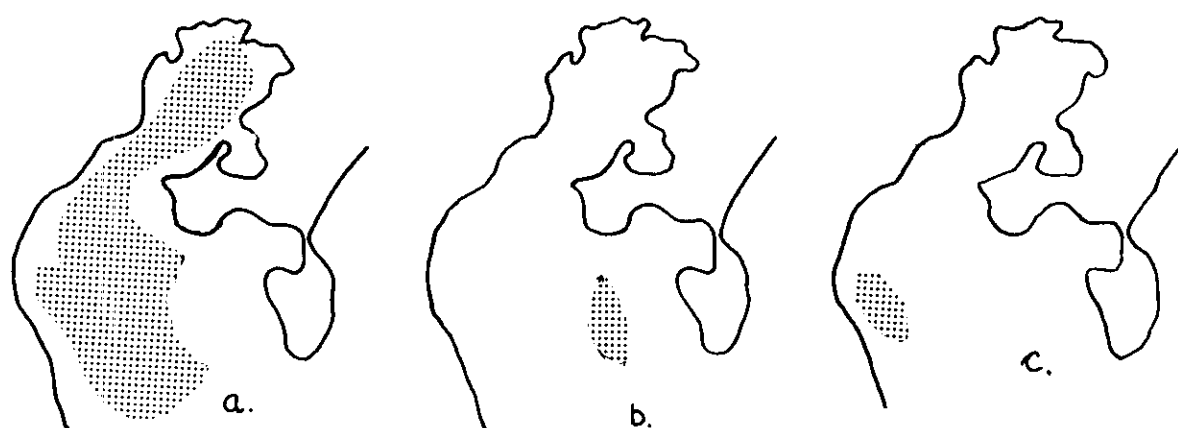


Fig. 5-24

Iltvindsområder i Århus Bugt: Registreret iltvindsområde september-oktober 1981 (a). Område med tegn på iltvind (b). Tidligere registreret iltvindsområde (c).

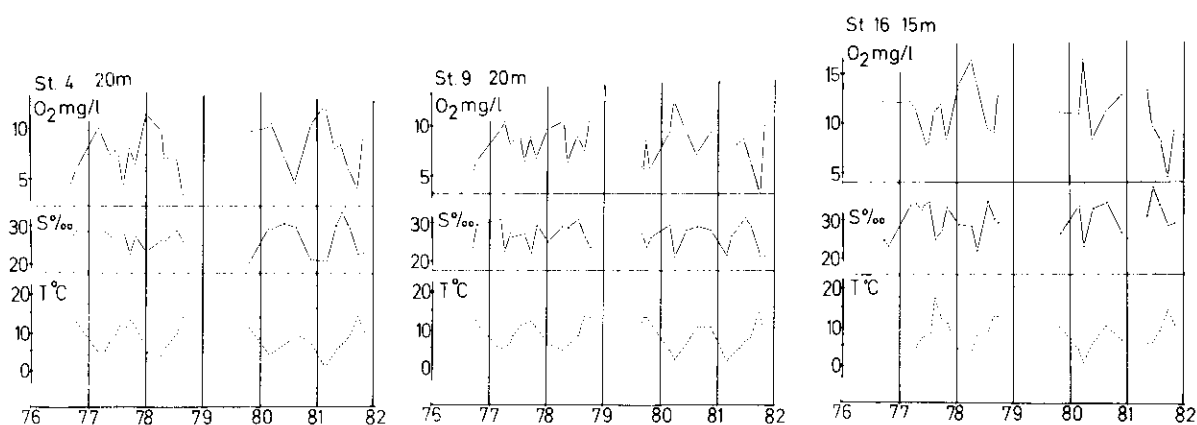


Fig. 5-25

Fyns amts målinger af salinitet, temperatur og iltindhold på stationerne 4, 9 og 16 i perioden 1976-81.

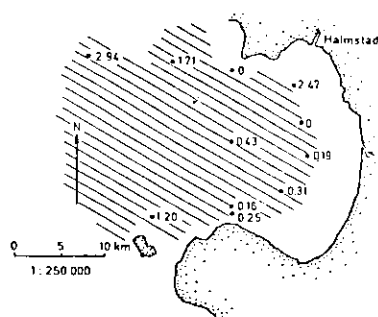


Fig. 5-26

Iltindhold målt 1 m over bunden (ml/l) i Laholmbugten 22-24 september 1981. Skraveringen viser bundvandets udbredelse.

Den 16. september blæste det op, og der tilførtes hurtigt ilt til vandmasserne. På 9 m vand ud for Fjellerup målttes der kl. 10.25 mindre end 2 mg/l fra 5 m til bunden (station 4), og kl. 14.00 mere end 9 mg/l på dybder større end 5 m (station 13). Et antal profiler begyndende ud for Bønnerup, mod vest til Randers Fjord, og endelig ude i Skidtrenden (kort- og data figur 5-23a) af salinitet og ilt viser disse forhold.

Det var tåget hen mod middag, og der er derfor sandsynlighed for, at fotosyntesen (iltproduktionen) først er kommet sent i gang den dag.

Man kan endvidere pege på den ekstremt høje nedbør, der faldt 3 uger forinden (20-21 august), og hvor Norddjursland fik hovedparten (maksimum over 100 mm). Mellem denne nedbør og fiskedøden fulgte en priode med svage, nordlige og østlige vinde i forbindelse med stabiliserende højtryk.

Det fremgår af figur 5-17 for 14. september, at overfladesaliniteten ifølge amtets målinger er lige så høj som ved Frederikshavn (ca. 24 ppt), mens den er 18,8 ved Anholt Knob fyrskib og 17,2 ved Sletterhage. Dette mønster gentager sig i kortet fra 16. september (ikke vist), da amtet atter målte op. Dette indikerer en vipning af skillefladen i Kattegat om en N/S-akse, og den samme effekt ses i øvrigt i Store Bælt. Man kan endvidere bemærke, at fiskedøden indtraf midt i en langvarig udstrømningssituation (figur 5-2) af ca. 1 måneds varighed.

Et betydeligt tilskud af næringssalte på grund af hævnning af bundvandet i det vestlige Kattegat og den ekstra udvaskning i forbindelse med det kraftige regnskyl kan have foranlediget en meget høj produktion i området. Tågen den 12. om formiddagen kan have været udløsende årsag ved at nedsætte iltproduktionen fra algerne. Det er næppe muligt at verificere disse teorier på grund af manglende målemateriale.

5.2.3.6 Svenske observationer

Betydelige iltsvindsområder i det sydøstlige Kattegat har givet Sverige alvor-

lige problemer, områderne er vist i figur 2-1 s. 46. Fysiske målinger har fundet sted i Laholmbugten, Skälderviken og i det nordlige Øresund med ca. 3 ugers mellemrum i 1981. 4 strømmålere har været udlagt i en periode ved Laholmbugtens sydlige ende for at studere indstrømningen fra Kattegat. Iltindholdet målt i 1 m over bunden i Laholmbugten er vist for 22. september 1981 i figur 5-26.

Bugtens beskedne vanddybde (ca. 12 m) bevirker, at det saltholdige vand under springlaget kun kan have ringe mægtighed (et par meter), og dets iltindhold kan derfor hurtigt opbruges.

5.2.3.7 Vesttyske observationer

Størst interesse knytter sig til nogle usædvanlige observationer af svovlbrinte (H_2S), der blev gjort 8-11 september 1981, og som førte til, at man foretog et opmålingstogt i den vestlige Østersø 15-17 september. Ruten gik fra Eckernförde til Kadetrenden, som vist på figur 5-27. De tilhørende profiler af S, t og O_2/H_2S er vist i figur 5-29a, og det fremgår, at der er en meget stærk lagdeling i dybdeintervallet 17-20 m. Saliniteten ved bunden er større end 24 ppt, og temperaturen mindre end 10 grader. I hele området, Eckernförde-Vejsnæsrenden-Femer Bælt-Mecklenburg Bugt til Darss-tærsklen, forekommer der H_2S fra ca. 20 m og til bunden, værdierne når op på ca. $10 \mu\text{mol/l}$. H_2S ses også i lavningen i selve Kadetrenden (station 22) (Erhardt og Wenck, 1982).

Togtet blev gentaget 29-30 september (figur 5-29b), og her sker der en indstrømning af bundvand (af figur 5-2 ses udstrømningsperioden at være slut). H_2S ses at være forsvundet de fleste steder.

Den 13. oktober (kun opmålt til Vejsnæsrenden, figur 5-29c) kan det tydeligt ses, at der har været indstrømning et stykke tid, og iltforholdene ved bunden er udmærkede.

Udbredelsen af H_2S ved bunden er gengivet i figur 5-28. Den høje koncentra-

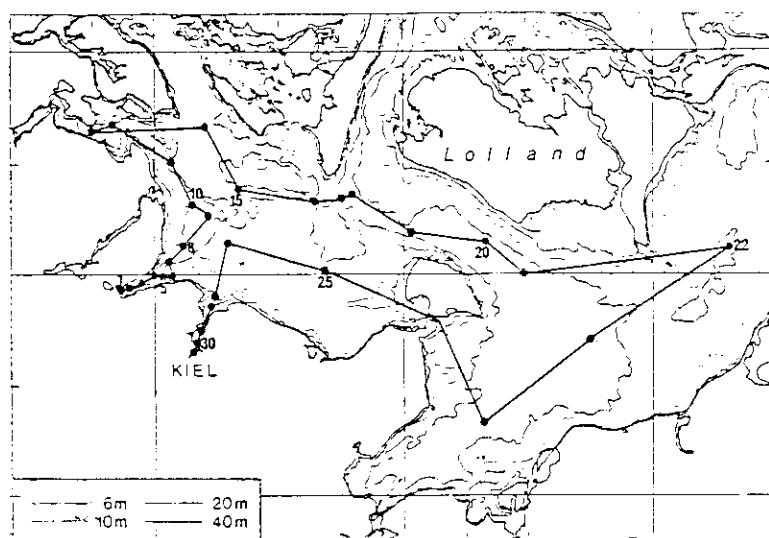


Fig. 5-27

Stationskort for vesttysk opmåling af salinitet, temperatur og iltindhold i efteråret 1981 (fig. 5-28 og 5-29).

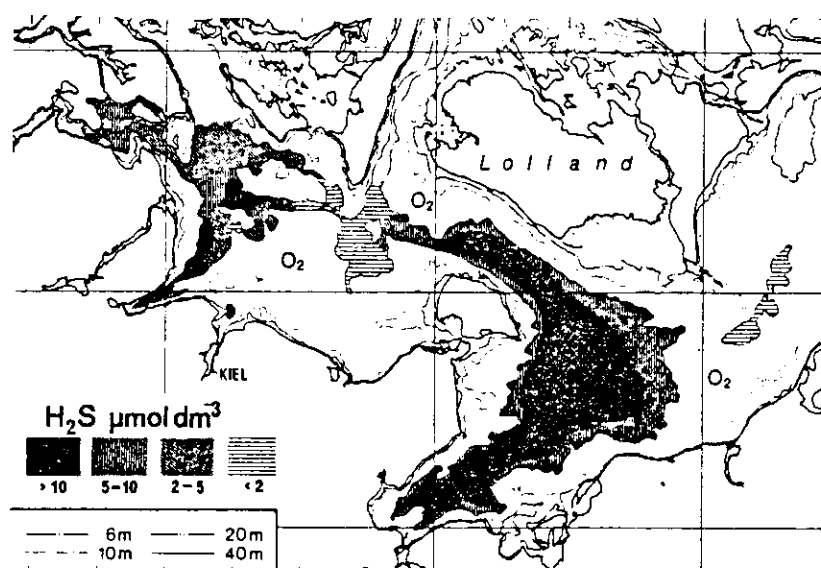


Fig. 5-28

Udbredelsen af svovlbrinte i bundvandet i den vestlige Østersø i perioden 15.-17. september 1981.

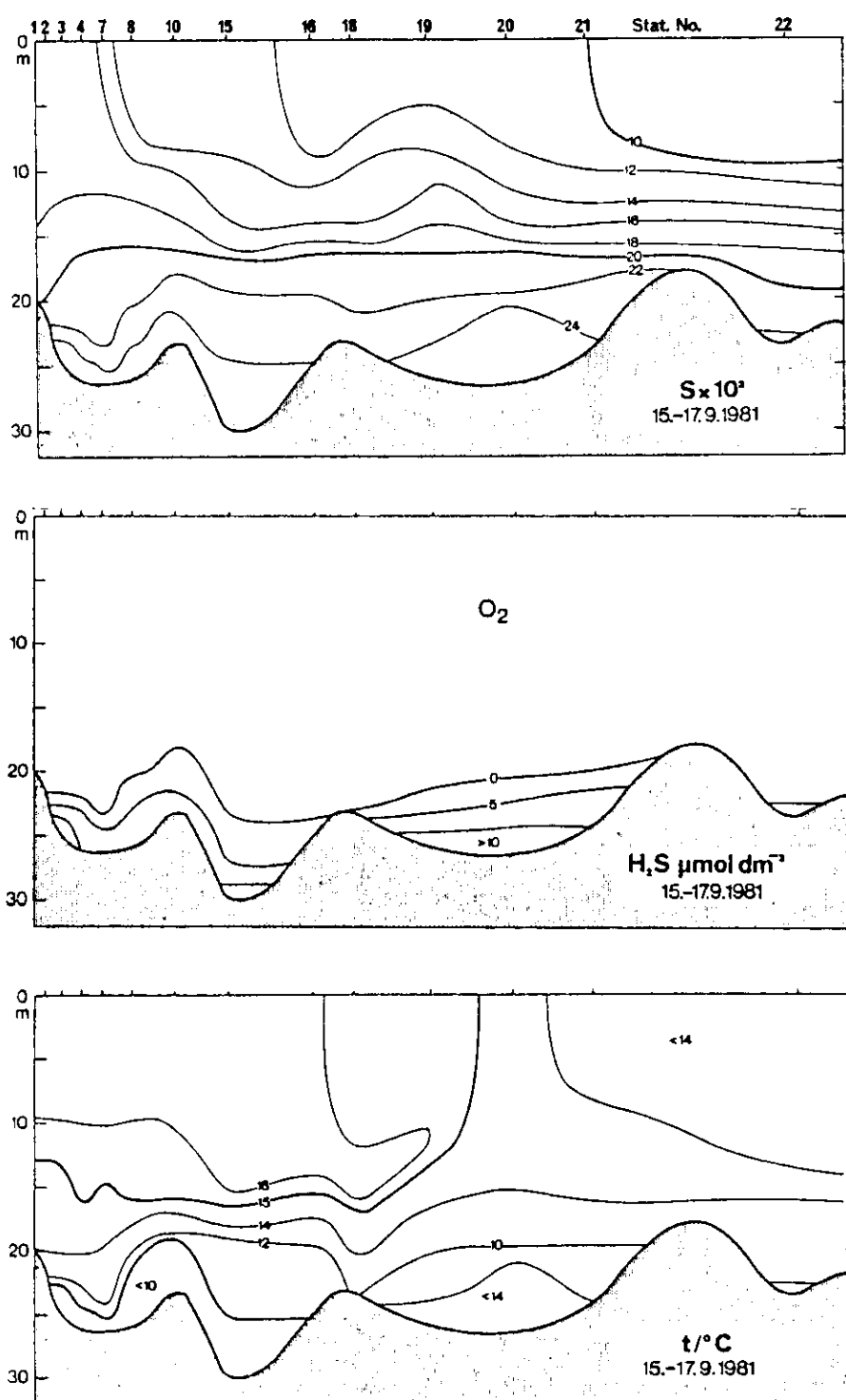


Fig. 5-29a

Salinitet, temperatur, ilt og svovlbrinte 15.-17. september 1981 langs snittet vist i fig. 5-27.

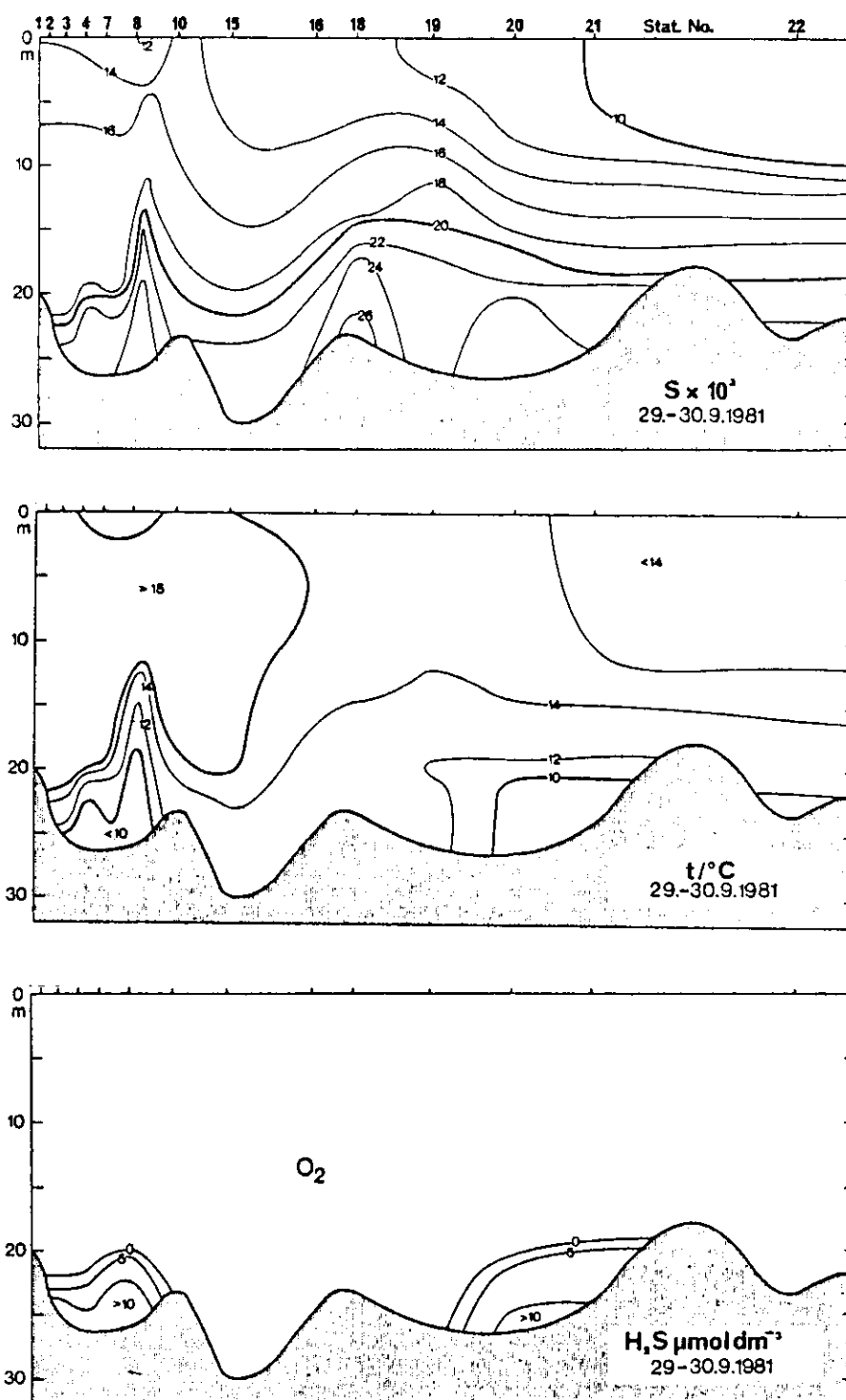


Fig. 5-29b

Salinitet, temperatur, ilt og svovlbrinte 29.-30. september 1981 langs snittet vist i fig. 5-27.

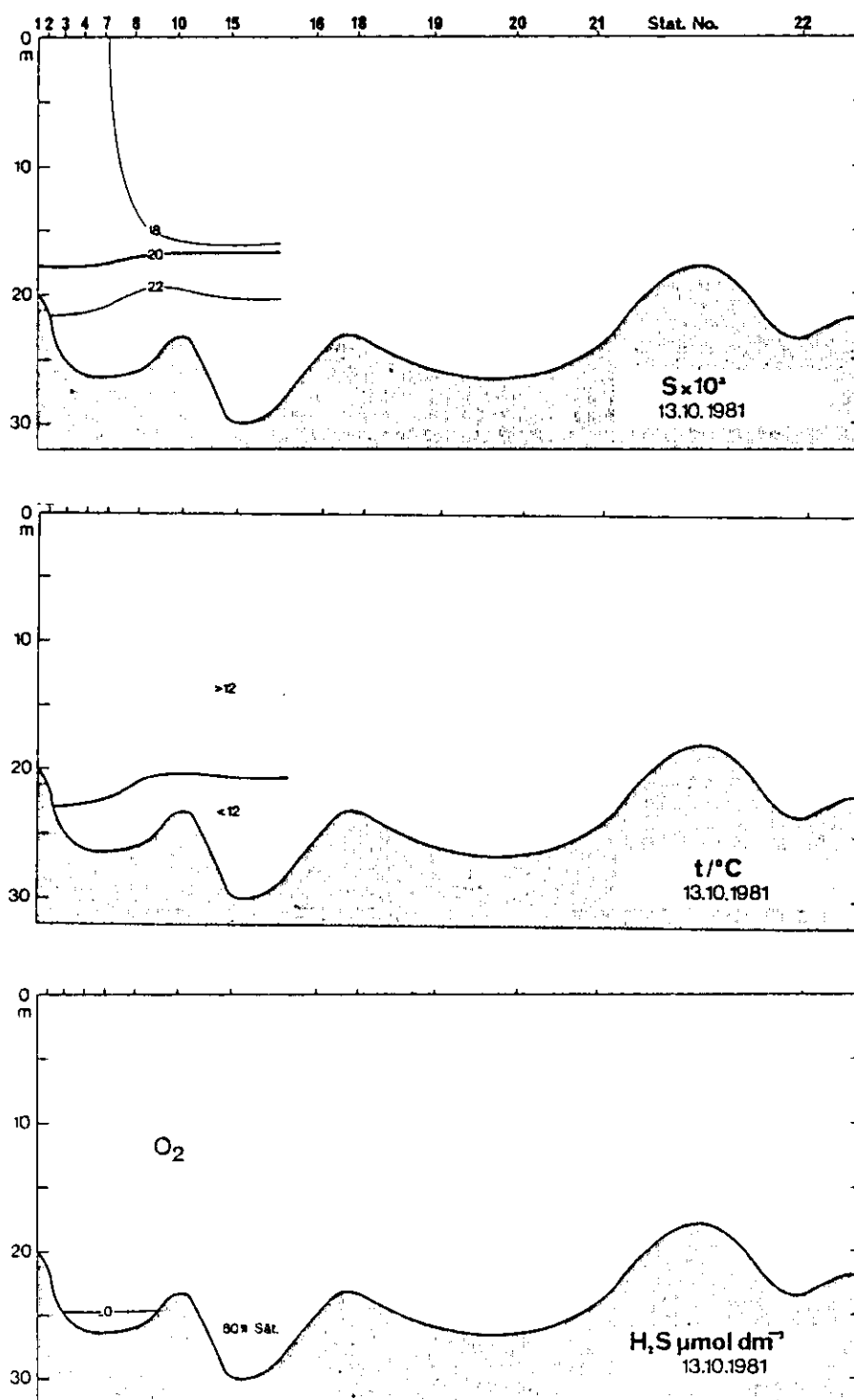


Fig. 5-29c

Salinitet, temperatur, ilt og svovlbrente 13. oktober 1981 langs snittet vist i fig. 5-27.

tion ved Lübeck Bugt ses tydeligt, og et lignende billede træder frem for de andre bugter nær 20 m-kurven. Specielt skal bemærkes den høje koncentration i Vejsnæsrenden og endog i indgangen til Store Bælt, hvor stagnation ikke burde være mulig. Det antages i rapporten, at der kan være tale om vand, der er strømmet mod nord fra Kiel Bugt.

5.2.3.8 Satellitbilleder

Med en strålingsmåler anbragt i en satellit eller i et fly er det muligt at indsamle information i forskellige bølgelængdeområder. Til denne undersøgelse kunne der blive tale om infrarød-optagelser fra NOAA-satellitter, som kan vise havoverfladens temperatur.

Et billede, nedtaget på meteorologisk instituts Rude Skov observatorium den 9. juli 1981, viser et helt skyfrit Danmark og en havoverflade, der er varmest i det syd-østlige Kattegat. Kolde områder ses i Østersøen, det nordlige Store Bælt og Øresund, samt ud for kysten ved Nordfyn og Norddjursland. En spiralstruktur nord for Læsø indikerer Skagerrak-hvirvlen, der drejer mod uret, figur 5-15.

Den faktiske overfladetemperatur fremgår af figur 5-17 for 9. juli, og det ses, at der ved Middelfart er 1 grad koldere end ved Anholt Knob fyrskib og ca. 2 grader koldere end de fleste andre kyststationer. Bundvandet i Kattegat er 7,6 grader ved fyrskibet og 16,8 grader i overfladen. De kolde områder viser således, hvor der sker en tilførsel af bundvand til de overfladenære lag. Af figur 5-17 for 9. juli ses også salinitetsfordelingen, og det fremgår, at der er forhøjede værdier ved Middelfart.

Da netop Nordfyn og Norddjursland er blandt de områder, der havde fiskedød, var det nærliggende at undersøge satellitbilleder fra tiden umiddelbart før og omkring disse hændelser. Skydækket har desværre ikke givet mange muligheder, men i alt 12 billeder er blevet bestilt fra databanken i Dundee for nærmere analyse. Imidlertid viste der sig at være mere skydække end først antaget,

og analysen har ikke bragt afgørende information frem.

5.3 KONKLUSION

Den kortbølgede solindstråling var i marts, juni, juli og september lavere end langtidsmidlerne for perioden 1955-79.

September måned var præget af usædvanligt svage vinde, og man kan kvalitativt slutte, at dette antageligt har ført til en nedsat ilttilførsel til Kattegats bundvand.

Østersøens ferskvandsoverskud har også været forøget, og saliniteten i overfladevandmasserne var i 1981 lavere end normalt. Den øgede indflydelse af baltisk vand førte til, at forskellen i salinitet mellem 10 og 20 m dybde ved Anholt Knob fyrskib i september var 2 ppt højere end langtidsmidlen. Dette har medført et kraftigt springlag, der sammen med de rolige vejrforhold har nedsat den vertikale blanding.

Under udstrømning fra Østersøen er bundvandet løftet i Kattegats vestlige del, og der ses forøgede saliniteter i overfladevandet i farvandet nord for Fyn (Middelfart). På satellitbilleder kan dette undertiden ses på grund af den lave temperatur af bundvandet om sommeren. På et billede fra 9. juli 1981 er der således indikation for tilstedeværelse af bundvand både nord for Fyn og nord for Djursland. Denne dynamiske effekt vil også øge tilførslen af nærings-salte til overfladelaget.

Fiskedøden ved Fjellerup Strand nord for Djursland skete i forbindelse med en langvarig udstrømningssituation. 2 dage efter hændelsen (14. september) målttes 24 ppt salinitet i kystvandet, mens der ikke var mere end 18,8 ved Anholt Knob fyrskib, og man skal så langt mod nord som til Frederikshavn for at finde 23,5. Endvidere skete ulykken ca. 3 uger efter den meget kraftige nedbør, der havde maksimum over det nordlige Djursland. Der er således forudsætninger til stede for en øget tilførsel af næringsstoffer til den primære produktion

såvel fra bundvandet som fra land. Det vides dog ikke, om produktionen rent faktisk var forøget. Som medvirkende årsag har Århus amt peget på tåge om formiddagen den 12. september, hvilket kan have medført, at planktonet har brugt mere ilt, end det har produceret.

Bundvand med meget høj salinitet er strømmet ned gennem Store Bælt, antageligt i begyndelsen af maj, og iltindholdet er aftaget gennem sommeren uden at nogen egentlig fornyelse af vandet har fundet sted. I Åbenrå Fjord sker indstrømningen mellem 2. juni og 23. juni, i Flensborg Fjord midt i juni (samtidigt) og i den indre del af Åbenrå Fjord sker det den 30. juni.

Ved fiskedøden ud for Pæregård Strand mellem Langeland og Fyn den 26. september blev det konstateret, at springlaget var blevet løftet 6-9 m i perioden fra 21. september til 28. september, og iltindholdet var på dette tidspunkt kun 2-3 mg/l. I Dalby Bugt døde fisk den 3. oktober, her var springlaget løftet 4-7 m mellem 17. september og 3. oktober. Ved hændelsen ved Båring Vig var der indtrådt et kraftigt blæsevejr, inden man fik målt op. I Vejle Fjord indtraf der fiskedød 5-6 oktober, og man fandt et lag iltfattigt vand i bunden af fjorden, som inderst næsten nåede op til overfladen. Iltindholdet var kun 1,7 mg/l.

Vesttyske observationer i Femer Bælt og Kadetrenden viste midt i september usædvanlige forekomster af H_2S , men en fornyelse af bundvandet kunne ses på næste togt 29-30 september. H_2S var da forsvundet de fleste steder. 13. oktober opmålttes der kun til Vejsnæsrenden, og iltforholdene ved bunden var da udmærkede.

Det konkluderes, at det meget saline vand, der strømmede ind tidligt på sommeren, kun har haft en ringe udskiftning og ilttilførsel, og iltindholdet har nået meget lave værdier. I forbindelse med strømskift efter den meget lange rolige udstrømningsperiode er det tunge vand blevet løftet og har visse steder dræbt fisk, der ikke kunne undslippe. Den høje salinitet af vandet har været en væsentligt medvirkende årsag til, at iltindholdet nåede så lave værdier.

En vesttysk formodning om, at iltfattigt bundvand - eller endog vand med

svovlbrinte - kan være strømmet op i Store Bælt fra Kiel Bugt, kan på grund af manglende målinger og modelberegninger ikke belyses nærmere.

KAPITEL 6

UDVIKLINGEN I KONCENTRATIONERNE AF NÆRINGSSALTE I DE ÅBNE FARVANDE 1975-83

6.1	INDLEDNING	151
6.2	BAGGRUNDSMATERIALE	151
6.2.1	Data-grundlag	151
6.2.2	Konklusioner fra Bæltprojektet	154
6.3	RESULTATER	156
6.3.1	Udviklingen i vinterkoncentrationerne af næringssalte 1975-83	156
6.3.1.1	Fosfat	157
6.3.1.2	Kvælstof-næringssalte	160
6.3.1.3	Forholdet mellem vinterkoncentrationer af kvælstof og fosfor (vinter-N/P-forholdet)	163
6.3.2	Udviklingen i sommerkoncentrationerne af næringssalte i bundvandet 1975-83	165
6.3.2.1	Fosfat	165
6.3.2.2	Kvælstof-næringssalte	168
6.3.2.3	Forholdet mellem sommerkoncentrationer af kvælstof og fosfor i bundvandet (sommer-N/P-forholdet)	171
6.4	DISKUSSION	171
6.4.1	Kvælstof-næringssalte	171
6.4.2	Fosfat	175
6.4.3	N/P-forholdet og begrænsningen af fytoplanktonproduktionen	176
6.5	KONKLUSION	180

6.1 INDLEDNING

Fytoplanktonets produktion af organisk stof afhænger - foruden af mængden af tilstedeværende fytoplankton og dets produktionsformåen - især af mængden af lys og mængden af tilgængelige næringssalte, samt til dels af temperaturen.

I perioden november-februar er fytoplanktonets produktion af organisk stof ringe på grund af mangel på lys. I løbet af marts, når mængden af lys bliver tilstrækkelig, forekommer normalt en kraftig opblomstring - forårsmaksimet - der udnytter den i løbet af vinteren ophobede mængde næringssalte. I perioden april-oktober, hvor størstedelen af fytoplanktonets produktion finder sted, begrænses denne produktion hovedsageligt af mangel på næringssalte.

Det af fytoplanktonet producerede organiske stof nedbrydes igen ved respiration i fødekæderne eller ved direkte forrådnelse, hvorved der i begge tilfælde forbruges ilt.

Den for fytoplanktonet tilgængelige mængde næringssalte betinger altså i vid udstrækning, hvor stor den organiske stofproduktion kan blive, og dermed hvor meget ilt der skal forbruges til nedbrydningen af det producerede stof.

De to næringsstoffer, der er tilgængelige i så lave koncentrationer, at de kan begrænse fytoplanktonets produktion, er fosfor i form af fosfat og kvælstof i form af nitrat og ammonium.

6.2 BAGGRUNDSMATERIALE

6.2.1 Data-grundlag

En meget væsentlig del af den eksisterende viden om forholdene i de åbne indre farvande er fremkommet gennem miljøstyrelsens Bæltprojekt, der gennemførtes fra august 1974 til marts 1978. Under Bæltprojektet målttes bl.a. ilt, næ-

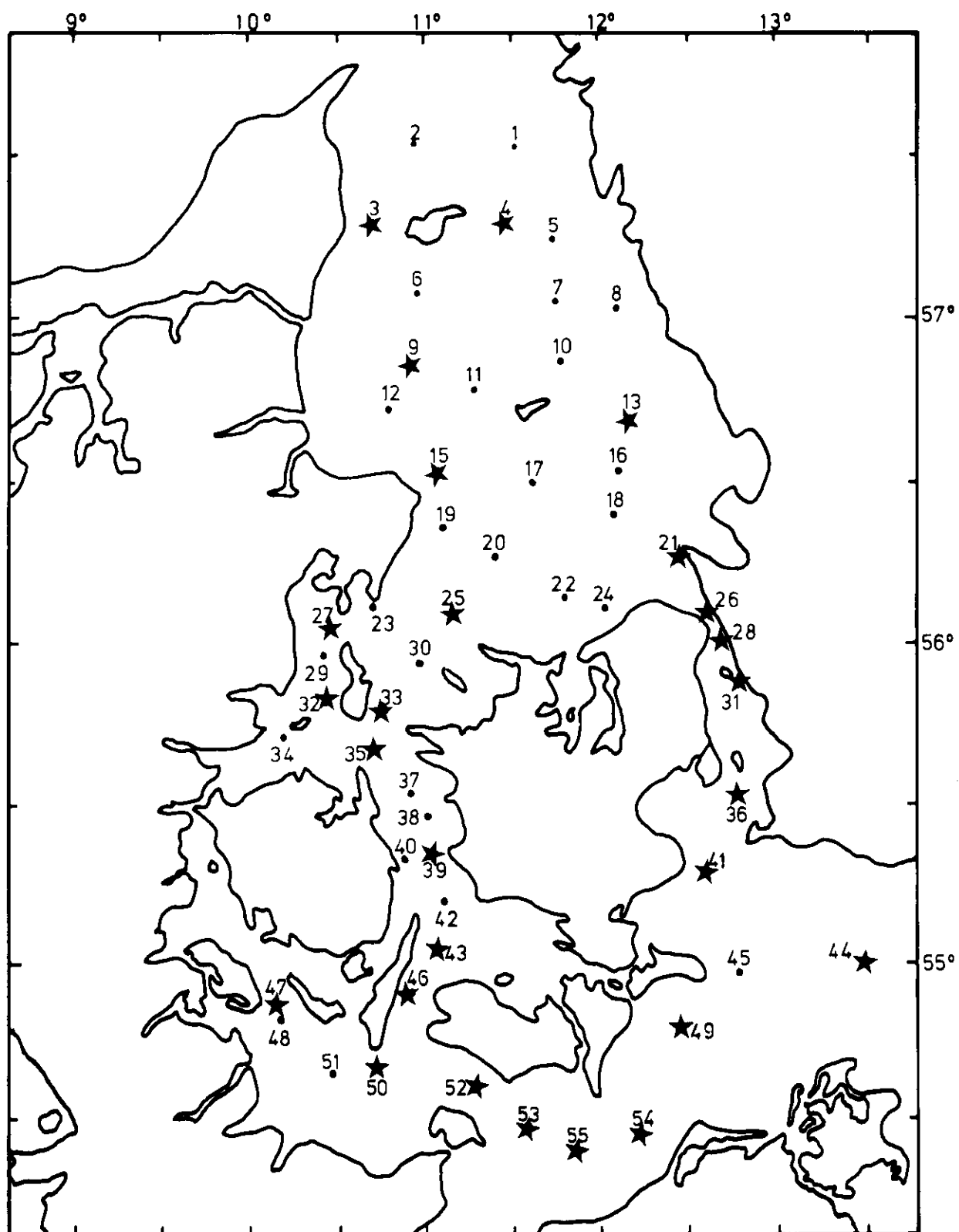


Fig. 6-1

Bæltprojektets kemiske-biologiske målestationer. De hyppigst besøgte er markeret med stjerne.

ringssalte, klorofyl og fytoplanktonproduktion på månedlige togter, der typisk indeholdt de med stjerne mærkede stationer i figur 6-1 plus et varierende antal af de øvrige stationer.

Efter Bæltprojektets afslutning i marts 1978 fortsattes de ca. månedlige målinger i det efterfølgende overvågningsprogram på stationerne: 25, 26, 27, 31, 33, 39, 41, 44, 46, 47, 53 og 54. I efteråret 1978 reduceredes stationsnettet yderligere til kun 9 stationer: 21, 25, 31, 39, 41, 44, 50, 52 og 54, hvor station 52 i begyndelsen kun lejlighedsvis indgik i togterne.

I 1981 inkluderedes yderligere 2 stationer i Kattegat i overvågningsprogrammet, nemlig station 9, Aalborg Bugt, og station 13, Anholt Øst. Samtidigt reduceredes antallet af togter til 6 pr. år, det vil sige et togt ca. hver anden måned. I 1981 gennemførtes imidlertid kun 5 togter (januar, marts, juli, oktober og november), idet miljøstyrelsen ikke havde et skib til rådighed fra marts til juli. Et planlagt togt i september måtte afbrydes på grund af maskinskade efter kun at have dækket Øresund og det østlige Kattegat. Dette togt gennemførtes i stedet i oktober, men efter at problemerne med lave iltindhold i bundvandet var overstået.

I det svenske overvågningsprogram for det østlige Kattegat, Øresund og Arkona Bækkenet indgår 4 stationer, der er sammenlignelige eller identiske med de danske stationer: 13, 21, 31 og 44. Svenske målinger af ilt og næringssalte foretages ca. 3 gange pr. år på disse stationer.

For 1981 eksisterer svenske målinger fra marts, maj og november. Derudover findes ilt- og næringssaltnmålinger fra det østlige Kattegat og Øresund fra august 1981, foretaget af Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser.

I nærværende kapitel vurderes udviklingen i koncentrationerne af næringssalte i de åbne indre danske farvande fra 1975 til 1983 ud fra danske og svenske målinger på de 11 stationer, der i dag indgår i miljøstyrelsens overvågningsprogram for de åbne farvande: station 9, 13, 21, 25, 31, 39, 41, 44, 50, 52 og 54 (se figur 6-1).

6.2.2 Konklusioner fra Bæltprojektet

Bæltprojektets resultater er offentliggjort i en række rapporter. I den afsluttende rapport (Ærtebjerg Nielsen et al., 1981) er der i de tilfælde, hvor ældre data gjorde det muligt, foretaget en vurdering af udviklingen med tiden frem til og med 1978.

Kvælstof-næringssalte

For kvælstof-næringssaltes vedkommende var der ikke data-grundlag for en vurdering af udviklingen frem til Bæltprojektperioden, og denne var for kort til vurdering af generelle udviklingstendenser i løbet af projektet.

Fosfat

For fosfats vedkommende påvistes, at koncentrationen i bundvandet i det østlige Kattegat sandsynligvis er steget lidt fra 1960'erne til perioden 1974-78 og muligvis også fra 1930'erne til 1960'erne.

I Øresunds bundvand er fosfatkoncentrationen steget fra 1950'erne og frem til 1974-75, hvor de højeste koncentrationer målt. Derefter falder koncentrationen generelt i Bæltprojektperioden. Stigningen i den gennemsnitlige fosfatkoncentration fra perioden 1950-69 til perioden 1970-79 er beregnet til ca. 14 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ (Øresundskommissionen, 1980). Stigningen siden 1930'erne har sandsynligvis været væsentligt større.

I Arkona Bækkenet er fosfatkoncentrationen steget fra 1930'erne til perioden 1975-78. Stigningen i vinterkoncentrationen i overfladelaget mellem 1969 og 1978 er beregnet til ca. 1,4 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l/år}$, men viste ikke statistisk signifikans på grund af store variationer fra år til år (Nehring, 1979).

Fra de øvrige indre åbne farvande findes ikke data-grundlag for en vurdering

af udviklingen i fosfatkoncentrationen med tiden frem til og med Bæltprojektperioden, men det er sandsynligt, at den er sammenlignelig med udviklingen beskrevet for det østlige Kattegat, det vil sige, at der er sket en mindre stigning. Den sandsynlige stigning i Kattegat og Bælthavet kan være forårsaget af en stigning i fosforbelastningen med spildevand fra land, således som det er tilfældet i Øresund. Derimod kan stigningen i fosfatkoncentrationen i Arkona Bækkenet være betinget af den generelle udvikling i den egentlige Østersø, hvor de hyppige perioder med iltfrie forhold i bundvandet i de dybe bassiner siden begyndelsen af 1960'erne har medført frigivelse af store mængder fosfat fra bunden.

Fytoplanktonproduktionen

Fytoplanktonets årsproduktion af organisk stof er i Store Bælt steget betydeligt, cirka fordoblet, fra midten af 1950'erne til slutningen af 1970'erne. Den væsentligste stigning er sket siden midten af 1960'erne, (se side 191).

Også i det vestlige Kattegat og i Øresund er fytoplanktonets årsproduktion sandsynligvis steget fra henholdsvis 1960'erne og 1950'erne frem til og med Bæltprojektperioden.

I det centrale Kattegat kunne der ikke påvises nogen generel udvikling i fytoplanktonets årsproduktion fra 1954 til 1977.

Iltforholdene

I det østlige Kattegat, Øresund og det sydlige Lille Bælt kunne der ikke påvises nogen generel udvikling i bundvandets iltindhold frem til og med Bæltprojektet. For Øresunds vedkommende findes målinger tilbage til 1931, fra de 2 øvrige områder findes målinger helt tilbage til begyndelsen af dette århundrede.

Kun i den vestlige Østersø (Femer Bælt - Arkona Bækkenet) er iltindholdet i bundvandet sandsynligvis faldet væsentligt fra begyndelsen af dette århundrede til 1975-79. I Arkona Bækkenet er dette fald beregnet til ca. 0,4 mg O₂/l i årsgennemsnitskoncentrationen og ca. 2,3 mg O₂/l i månederne august-september.

På dette grundlag konkluderes det i den afsluttende Bæltprojektrapport at: Iltforholdene i de åbne danske farvande er generelt gode undtagen i nogle enkelte huller og bassiner afgrænset af tærskler. Iltkoncentrationer under 40% mætning er fundet i bundvandet i det centrale og nordlige Øresund, det nordlige og sydlige Lille Bælt, Femer Bælt - Mecklenburg Bugt og Arkona Bækkenet. De lave iltkoncentrationer fundet i disse områder i sensommeren og efteråret skyldes stagnation af bundvandet, og intet generelt fald i løbet af dette århundrede er påvist i områder, hvorfra der eksisterer ældre data, med undtagelse af den vestlige Østersø. Kun uafhængige variationer fra år til år ses på grund af forskelle i de hydrografiske betingelser og længden af bundvandets stagnationsperioder.

Det usædvanligt lave iltindhold observeret i september 1981 i store dele af de åbne danske farvande incl. Nordsøen, og den bl.a. deraf følgende fiske- og bunddyrdød i en række ofte kystnære områder (jfr. kapitel 2 og 5) kom derfor som en alarmerende overraskelse.

I kapitel 5 vurderedes, at ilttilførslen til bundvandet i 1981 var lavere end normalt. I nærværende og efterfølgende kapitel vurderes, om tilførslen af organisk stof og dermed iltforbruget i bundvandet i 1981 var højere end normalt, og de eventuelle årsager til dette.

6.3 RESULTATER

6.3.1 Udviklingen i vinterkoncentrationerne af næringssalte 1975-83

Om vinteren, hvor fytoplanktonets produktion og den biologiske aktivitet er

ringe på grund af mangel på lys og på grund af lav temperatur, ophobes næringssalte i vandmasserne, og de højeste koncentrationer findes. Disse vinterkoncentrationer i overfladelaget angiver mængden af næringssalte, der er tilgængelige for fytoplanktonet, når der i marts bliver tilstrækkeligt med lys til, at produktionen kan begynde og er derved medbestemmende for, hvor stort forårsmaksimet i fytoplanktonets produktion kan blive.

Når forårsmaksimet har opbrugt næringssaltene i overfladelaget, foregår fytoplanktonets produktion i resten af produktionsperioden i de åbne farvande med lagdelt vand i stor udstrækning på grundlag af næringssalte tilført overfladelaget ved opblanding af næringsrigt bundvand. Vinterkoncentrationen af næringssalte i bundvandet er derfor medbestemmende for fytoplanktonproduktionens størrelse i forårsperioden og forsommeren.

6.3.1.1 Fosfat

Den gennemsnitlige vinterkoncentration af fosfat i overfladelaget (gennemsnit af målinger i januar og februar i 0-10 m dybde) aftager generelt i Kattegat og Store Bælt fra 1975 til et minimum i 1979, hvorefter koncentrationen igen stiger til samme niveau i 1981-83 som i 1975 (figur 6-2a). Samme tendens ses i Femer Bælt-området (figur 6-2b).

I Øresunds overfladelag falder vinterkoncentrationen af fosfat-fosfor fra ca. 25 $\mu\text{g/l}$ i 1975-78 til ca. 17 $\mu\text{g/l}$ i 1981, men stiger derpå kraftigt til ca. 25 $\mu\text{g/l}$ og 32 $\mu\text{g/l}$ i henholdsvis 1982 og 1983 (figur 6-2c).

I Arkona Bækkenets overfladelag (station 41 og 44) falder vinterkoncentrationen af fosfat-fosfor generelt fra ca. 22 $\mu\text{g/l}$ i 1976 til ca. 14 $\mu\text{g/l}$ i 1980-81 og stiger derpå til 26-29 $\mu\text{g/l}$ i 1983 (figur 6-2d).

I vandmasserne under springlaget (≥ 20 m dybde) ses i Store Bælt (station 25 og 39) og Femer Bælt-området (station 50 og 54) i mindre grad samme tendens i vinterkoncentrationen af fosfat-fosfor (gennemsnit af målinger i januar, februar og marts) som i overfladelaget med et fald fra 1975 til et minimum i

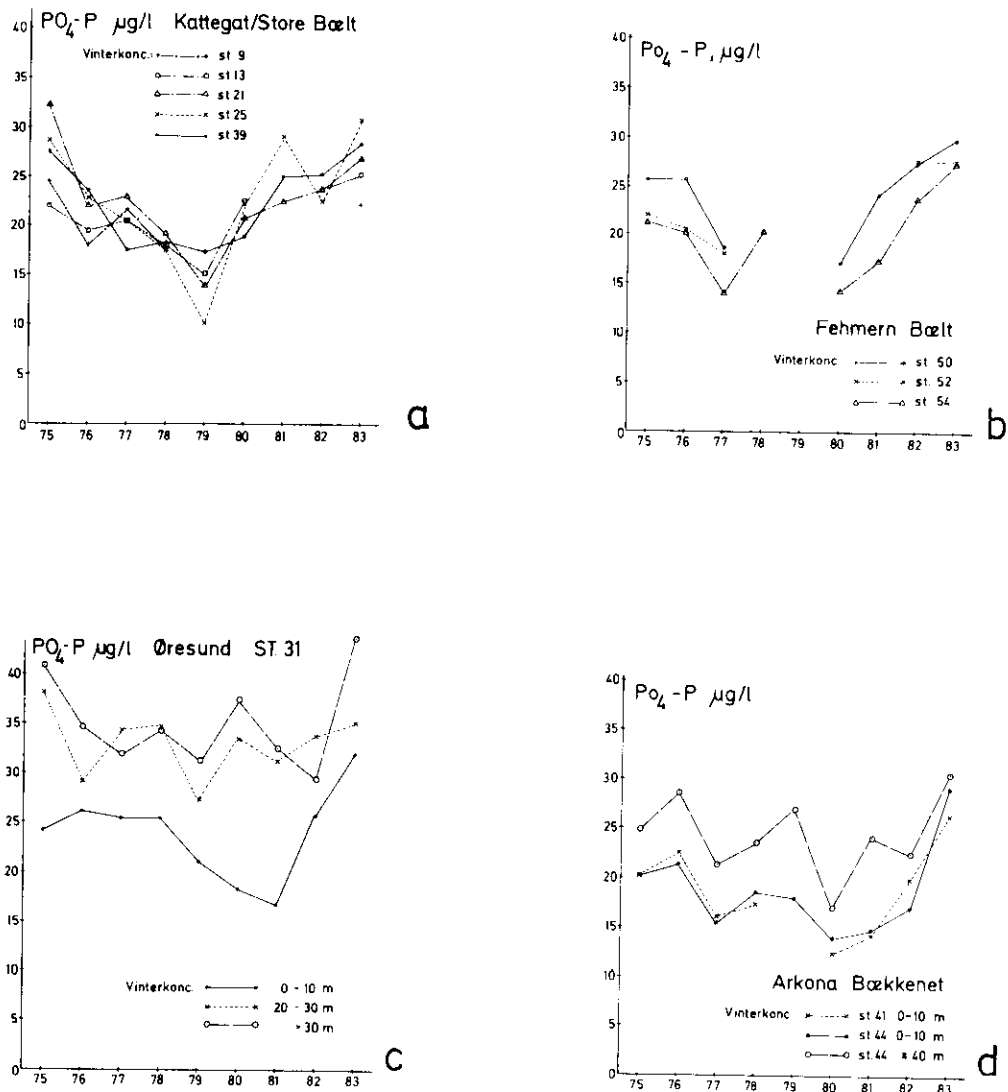


Fig. 6-2

Gennemsnitlig vinterkoncentration (januar-februar/marts) af fosfat-fosfor i overfladelaget (0-10 m) i Kattegat-Store Bælt (a) og Femern Bælt området (b), og i forskellige vandlag i Øresund (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1975-83.

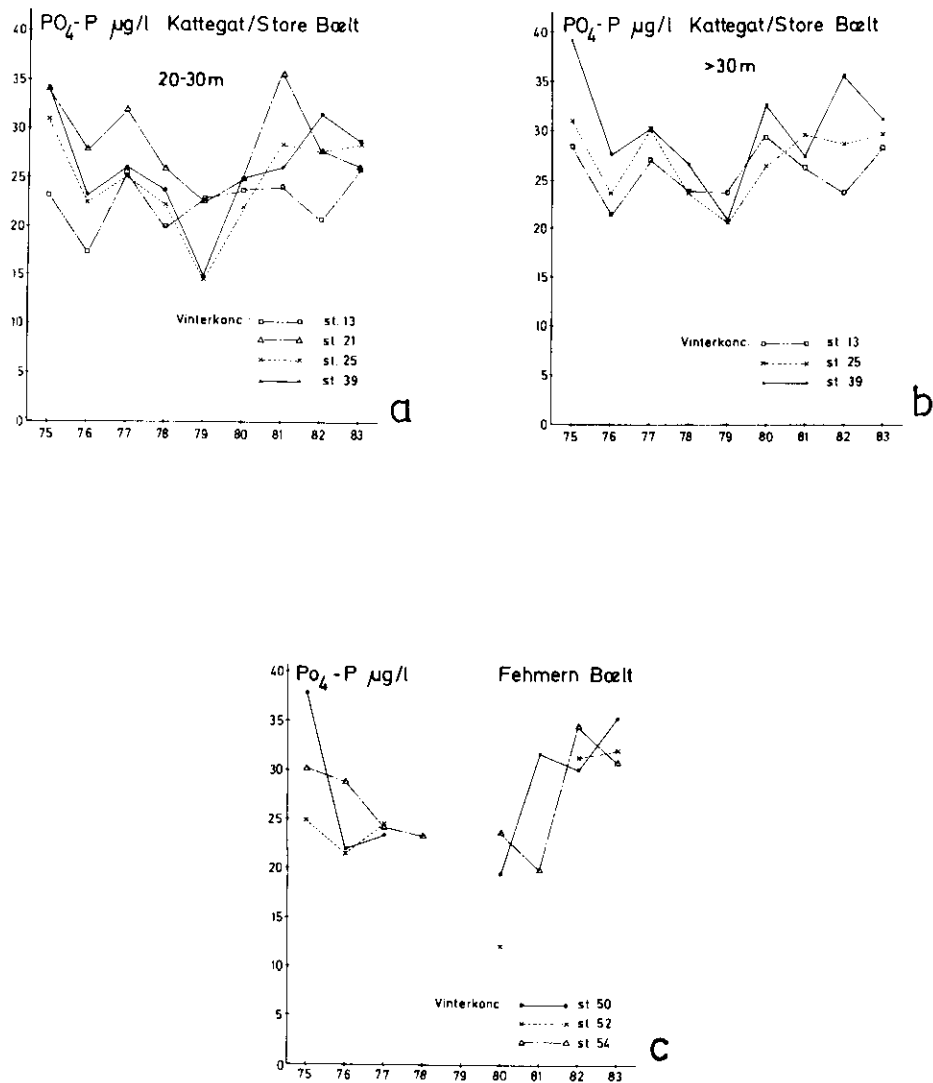


Fig. 6-3

Gennemsnitlig vinterkoncentration (januar-marts) af fosfat-fosfor i dybereliggende vandlag i Kattegat-Store Bælt (a, b) og Fehern Bælt området (c) i perioden 1975-83.

1979 og derpå en stigning til samme niveau i 1981-83 som i 1975 (figur 6-3 a-c). I det østlige Kattegat (station 13 og 21) findes ingen generel udviklingstendens i vinterkoncentrationen af fosfat i bundvandet fra 1975 til 1983 (figur 6-3 a-b).

I Øresund findes de højeste vinterkoncentrationer af fosfat i bundvandet i 1975 og 1983, men ingen generel tendens i den mellemliggende periode (figur 6-2c). I Arkona Bækkenet varierer vinterkoncentrationen af fosfat i bundvandet (≥ 40 m dybde) uregelmæssigt fra år til år uden nogen generel tendens i perioden 1975 til 1983 (figur 6-2d).

6.3.1.2 Kvælstof-næringssalte ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$)

Den gennemsnitlige vinterkoncentration af kvælstof-næringssalte i overfladelaget (gennemsnit af målinger i januar og februar i 0-10 m dybde) stiger generelt i Kattegat og Store Bælt fra 1976 til 1981, bortset fra lave koncentrationer på station 21 og 25 i 1979, og forbliver på et relativt højt niveau i 1982 og 1983 (figur 6-4a). Samme tendens ses i Femer Bælt-området, hvor de højeste koncentrationer dog findes i 1983 (figur 6-4b).

I Øresunds overfladelag stiger vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte generelt også fra 1976 til 1983, dog findes relativt høje værdier i 1977-78 og relativt lave værdier i 1979-80 (figur 6-4c).

I Arkona Bækkenets overfladelag ses ingen generel tendens i vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte fra 1975 til 1983, dog var koncentrationen i vinteren 1983 relativt høj (figur 6-4d).

I vandmasserne under springlaget (≥ 20 m dybde) stiger vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte (gennemsnit af målinger i januar, februar og marts) ligesom i overfladelaget generelt fra 1976 til 1981 i Kattegat, Store Bælt og Femer Bælt-området. Stigningen er mindst udpræget i det østlige Kattegats dybeste vandlag (> 30 m) og mest udpræget i det syd-vestlige Kattegat og Bælthavet (figur 6-5 a-c).

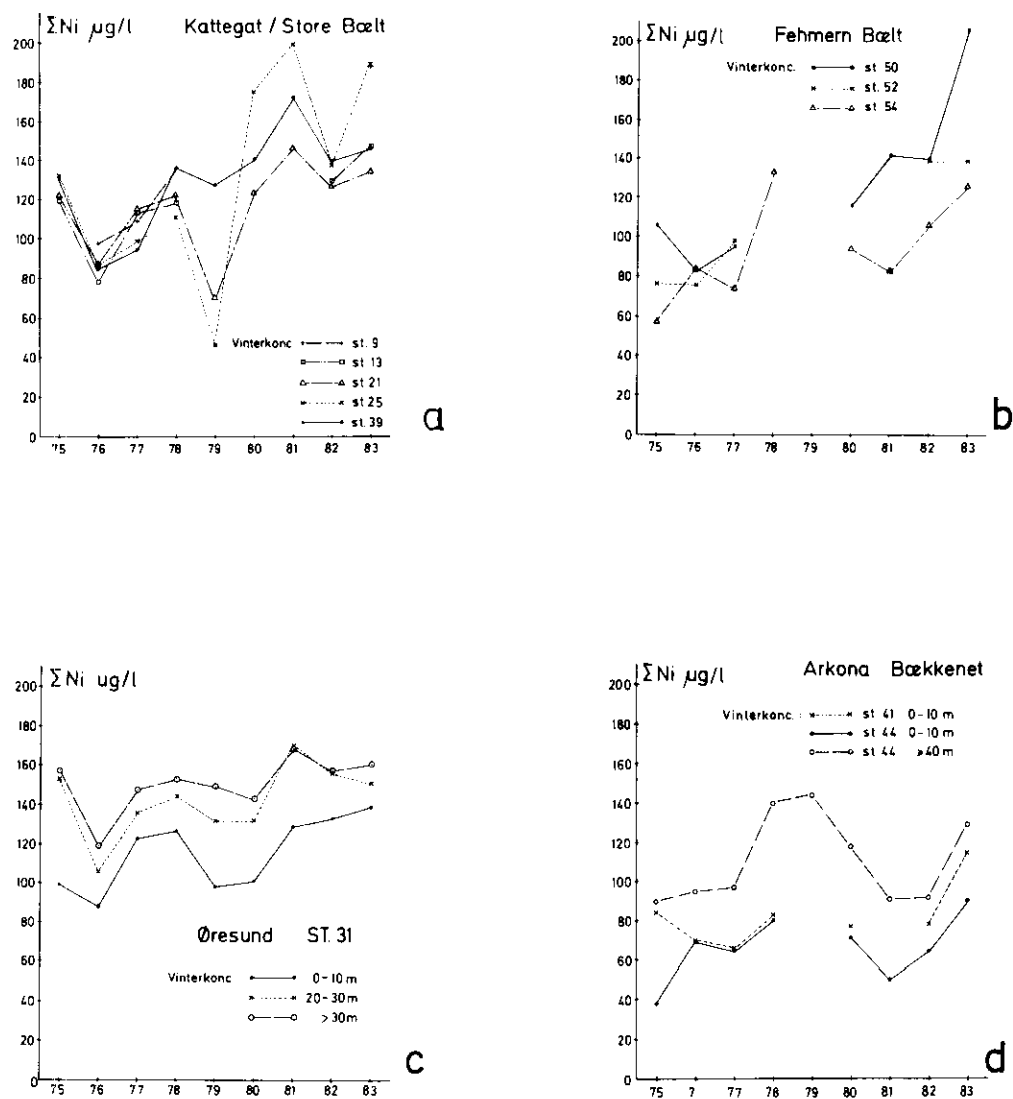


Fig. 6-4

Gennemsnitlig vinterkoncentration (januar-februar/marts) af kvælstofnæringssalte i overfladelaget (0-10 m) i Kattegat-Store Bælt (a) og Femer Bælt området (b), og i forskellige vandlag i Øresund (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1975-83.

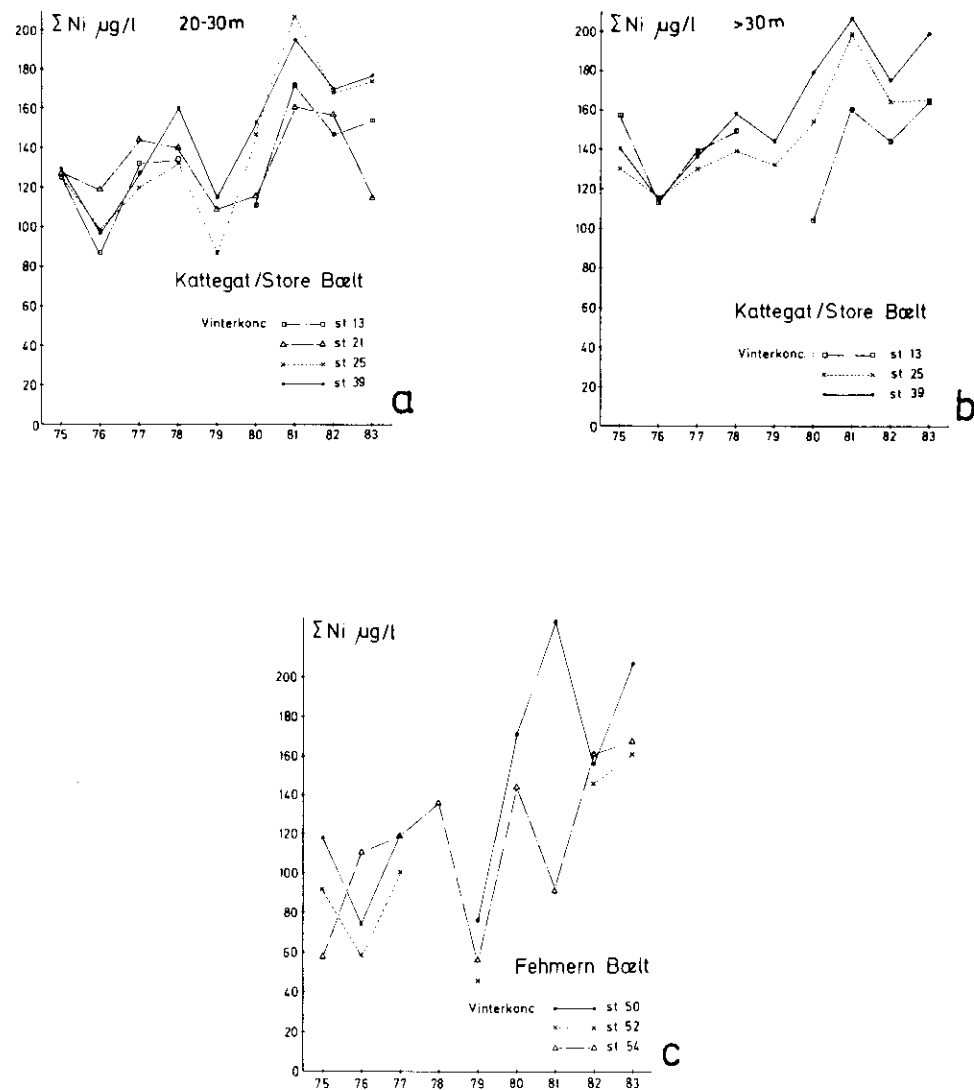


Fig. 6-5

Gennemsnitlig vinterkoncentration (januar-marts) af kvælstof-næringssalte i dybereliggende vandlag i Kattegat-Store Bælt (a, b) og Femer Bælt området (c) i perioden 1975-83.

I Øresunds bundlag findes den laveste vinterkoncentration af kvælstof-nærings-salte også i 1976 og den højeste i 1981, men i de øvrige år af perioden 1975-83 er vinterkoncentrationen relativt konstant (figur 6-4c).

I Arkona Bækkenets bundlag (≥ 40 m dybde) findes relativt høje vinterkoncentrationer af kvælstof-næringssalte i 1978-80 og i 1983 men ingen generel tendens i perioden 1975-83 (figur 6-4d).

6.3.1.3 Forholdet mellem vinterkoncentrationer af kvælstof og fosfor (vinter-N/P-forholdet)

I Kattegats og Store Bælts overfladelag var forholdet mellem vinterkoncentrationerne af kvælstof bundet i kvælstof-næringssalte og fosfor i form af fosfat i vintrene 1975 og 1977 ca. 4,5-5,5:l. Fra 1976 til 1978 steg vinter-N/P-forholdet fra ca. 3,5-4,0:l til ca. 6,5-7,5:l, højest i Aalborg Bugt (station 9) og Store Bælt (station 39). Med undtagelse af Kattegat (station 21 og 25) i vinteren 1979 forblev vinter-N/P-forholdet derpå højt i Kattegats og Store Bælts overfladelag frem til og med vinteren 1981. I vintrene 1982 og 1983 var N/P-forholdet ca. 5-6:l (figur 6-6a).

I overfladelaget i Femer Bælt-området steg vinter-N/P-forholdet fra 3-4:l i 1975-76 til ca. 6,5:l i 1978-80 og faldt derpå til 4,5-5:l i 1982-83. Dog var N/P-forholdet på station 50 knapt 7:l i vinteren 1983 (figur 6-6b).

I Øresunds overfladelag steg vinter-N/P-forholdet fra 3,5-4:l i 1975-76 til 5,5:l i 1980 og yderligere til ca. 7,5:l i 1981. Derpå faldt vinter-N/P-forholdet til ca. 4,5-5:l i 1982-83 (figur 6-6c).

I Arkona Bækkenets overfladelag steg vinter-N/P-forholdet fra ca. 3,2:l i 1976 til ca. 4,5:l i 1978. I vinteren 1980 var N/P-forholdet 5-6:l og faldt derpå til 3-4,5:l i 1981-83 (figur 6-6d).

I vandmasserne under springlaget (≥ 20 m dybde) er der ingen generel udvikling i vinter-N/P-forholdet i det syd-østlige Kattegat (station 21) fra 1975 til

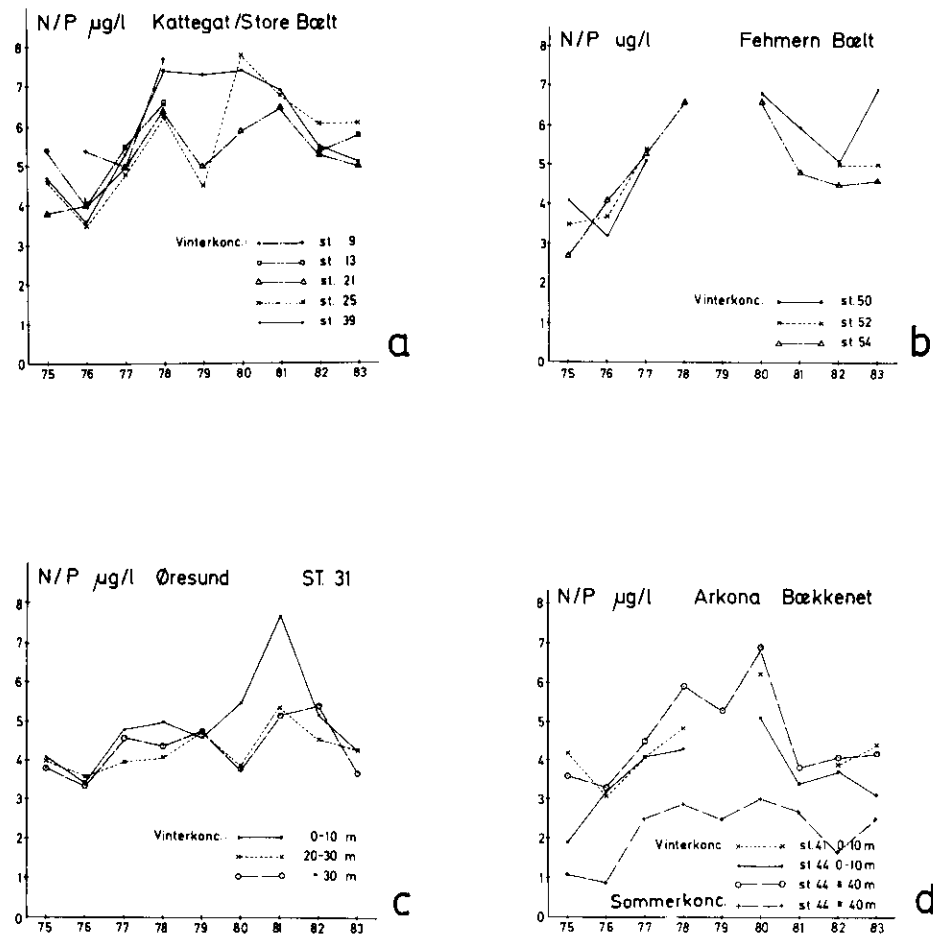


Fig. 6-6

Gennemsnitligt vinter-N/P-forhold (januar-februar/marts) i overfladelaget (0-10 m) i Kattegat-Store Bælt (a) og Femer Bælt området (b), og i forskellige vandlag i Øresund (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1975-83. For Arkona Bækkenet er også angivet det gennemsnitlige sommer-N/P-forhold (juli-september) i bundvandet.

1983. De højeste værdier ($\sim 5,5:1$) fandtes i 1978 og 1982 (figur 6-7a). I det øvrige Kattegat og Store Bælt var vinter-N/P-forholdet i bundlagene generelt højt i perioden 1978-81 med de højeste værdier i 1979 og 1981. I 1982-83 lå niveauet højere end i 1975-77 (figur 6-7a og b).

I Femer Bælt-området er vinter-N/P-forholdet i bundlaget steget kraftigt fra 1975-76 til 1978, og i 1980-81 fandtes værdier over $7:1$ i den vestlige del (station 50), mens N/P-forholdet i den østlige del (station 54) var ca. $6:1$ i 1980 og derpå faldt til ca. $4,5:1$ i 1981 (figur 6-7c).

I Øresunds bundlag findes en mindre generel stigning i vinter-N/P-forholdet fra $3,5-4:1$ i 1975-76 til $5-5,5:1$ i 1981-82; dog findes lave værdier ($\sim 4:1$) i 1979 og igen i 1983 (figur 6-6c).

I Arkona Bækkenets bundvand steg vinter-N/P-forholdet fra ca. $3,5:1$ i 1975-76 til ca. $6:1$ i 1978 og ca. $7:1$ i 1980, og faldt derpå til ca. $4:1$ i 1981-83 (figur 6-6d).

6.3.2 Udviklingen i sommerkoncentrationerne af næringssalte i bundvandet 1975-83

Når fytoplanktonets forårsmaksimum har opbrugt næringssaltene i overfladelaget, afhænger produktionen af, hvor hurtigt nye næringssalte tilføres overfladelaget. I de åbne indre danske farvande med lagdelte vandmasser sker dette i stor udstrækning gennem opblanding fra bundvandet.

6.3.2.1 Fosfat

Sommerkoncentrationen af fosfat i bundvandet (gennemsnit af målinger i juli, august og september) i Kattegat udviser ingen generel udvikling i perioden 1975-83. I Store Bælt (station 25 og 39) er koncentrationen faldet fra 1975 til 1977 og derefter generelt steget lidt frem til 1980 og 1982-83 med et minimum

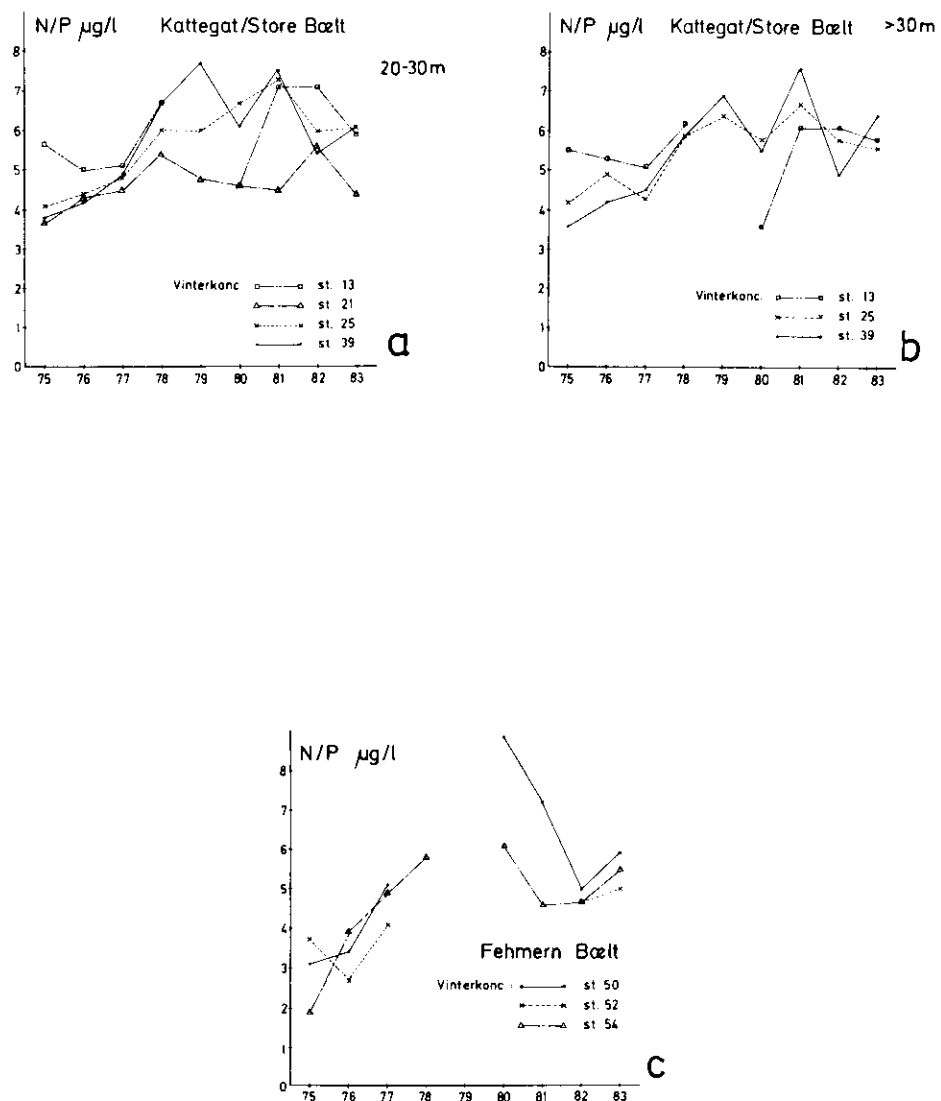


Fig. 6-7

Gennemsnitligt vinter-N/P-forhold (januar-marts) i dybereliggende vandlag i Kattegat-Store Bælt (a, b) og Femer Bælt området (c) i perioden 1975-83.

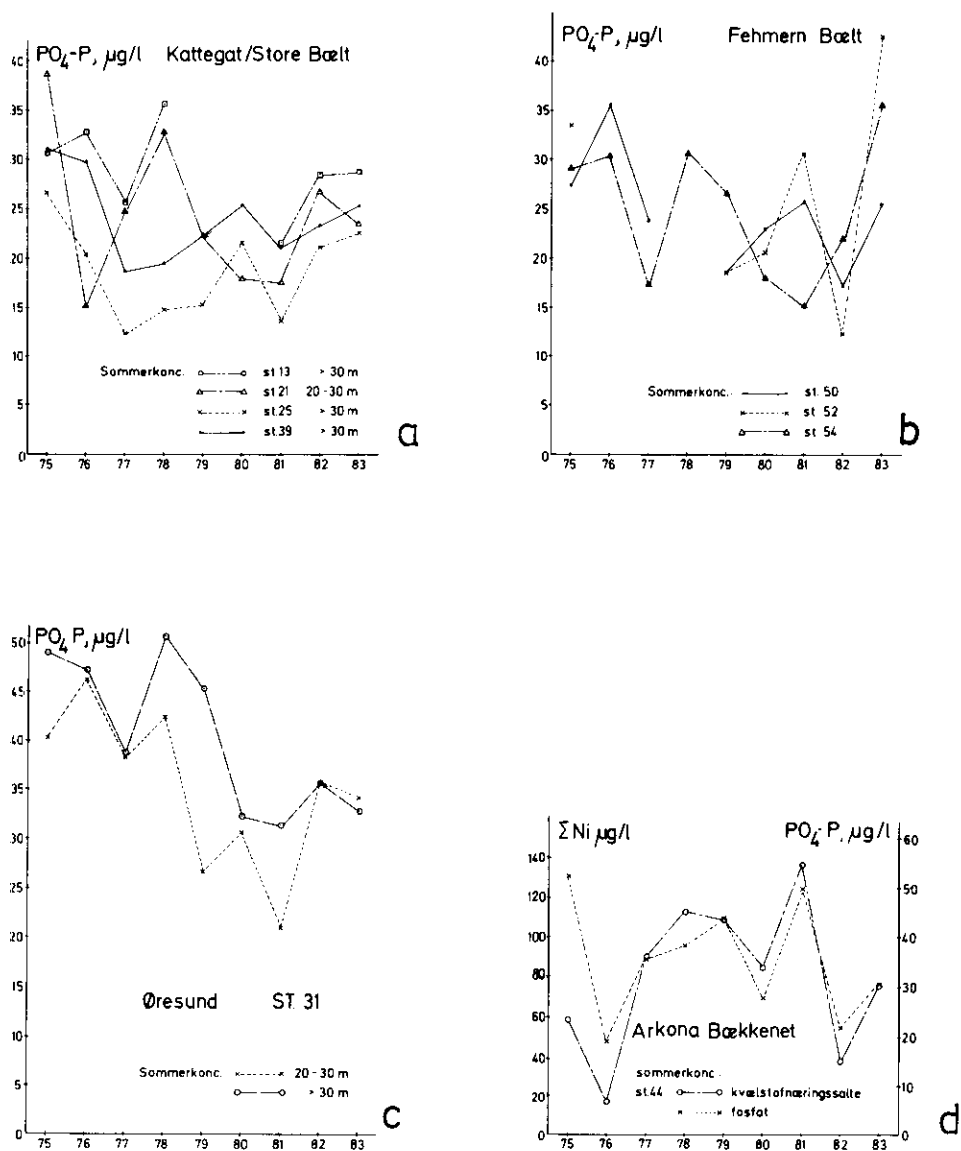


Fig. 6-8

Gennemsnitlig sommerkoncentration (juli-september) i perioden 1975-83 af fosfat-fosfor i de bundnære vandlag i Kattegat-Store Bælt (a), Femer Bælt området (b) og Øresund (c). I Arkona Bækkenet (d) tillige den gennemsnitlige sommerkoncentration af kvælstof-næringssalte.

i 1981 (figur 6-8a).

I Femer Bælt-området er sommerkoncentrationen af fosfat i bundvandet generelt aftaget fra 1975-76 til 1982, dog fandtes relativt høje koncentrationer i 1981 og igen i 1983 (figur 6-8b).

Også i Øresunds bundlag er sommerkoncentrationen af fosfat-fosfor generelt aftaget fra ca. 45 µg/l i 1975-76 til ca. 30 µg/l i 1980-81. I 1982-83 var koncentrationen ca. 34 µg/l (figur 6-8c).

I Arkona Bækkenet varierer sommerkoncentrationen af fosfat i bundvandet betydeligt fra år til år med de højeste værdier fundet i 1975 og 1981 og de laveste i 1976, 1980 og 1982-83 (figur 6-8d).

6.3.2.2 Kvælstof-næringssalte

Sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i bundvandet (gennemsnit af målinger i juli, august og september) i Kattegat og Store Bælt er generelt steget betydeligt fra 1976 til 1981. I det østlige Kattegat (station 13) går stigningen fra ca. 125 µg N/l til ca. 225 µg N/l. I det sydlige Kattegat (station 21 og 25) og Store Bælt går stigningen fra ca. 40 µg N/l i 1976 til ca. 150 µg N/l i 1981. I 1982-83 var sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i bundvandet i Kattegat og Store Bælt ca. 125 µg N/l (figur 6-9a).

I Øresund ses en del variation i sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i bundlagene fra år til år, men koncentrationen er generelt steget fra ca. 100 µg N/l i 1976 til næsten 200 µg N/l i 1981-83 (figur 6-9c).

I Femer Bælt-området er sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i bundvandet relativt konstant omkring 70 µg N/l i hele perioden 1975-83 med undtagelse af 1981, hvor koncentrationer på 100-160 µg N/l fandtes i juli, højest i den vestlige del af området (figur 6-9b).

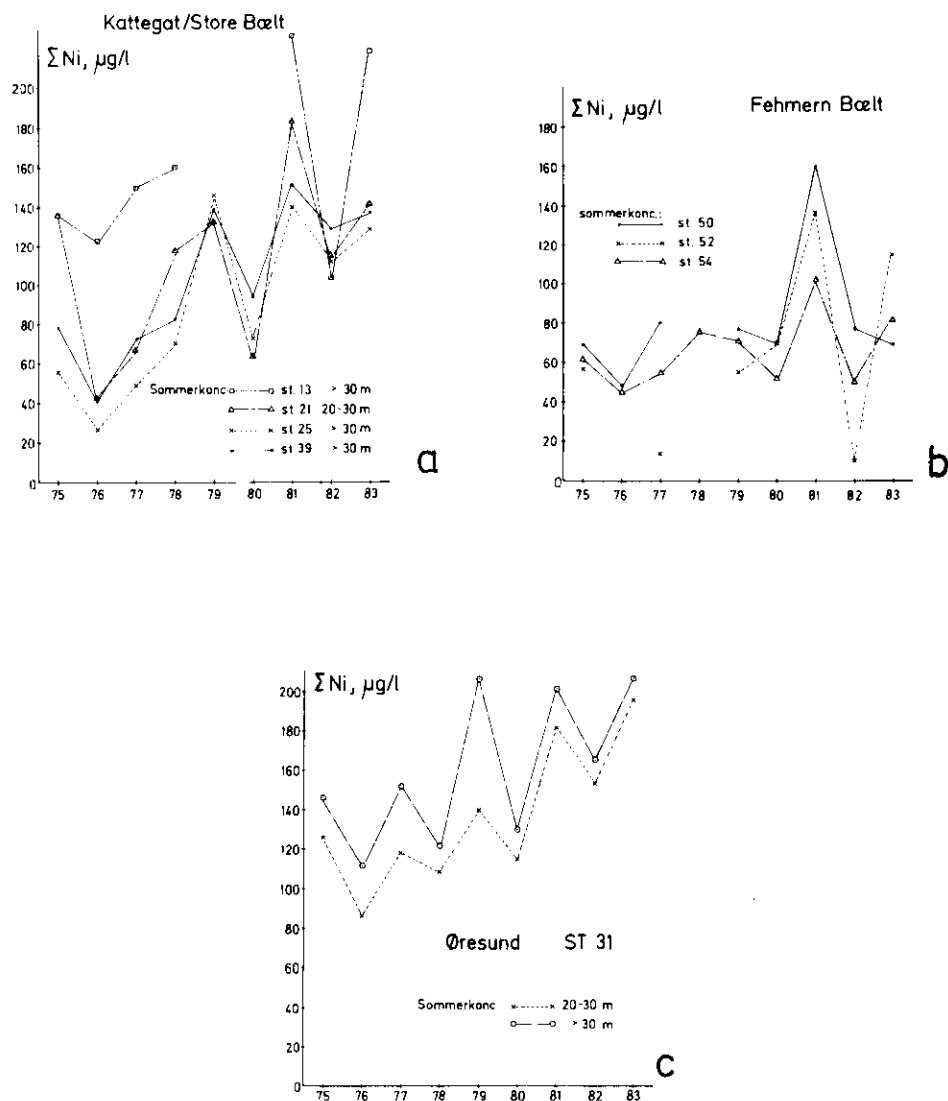


Fig. 6-9

Gennemsnitlig sommerkoncentration (juli-september) i perioden 1975-83 af kvælstof-næringssalte i de bundnære vandlag i Kattegat-Store Bælt (a), Fehmern Bælt området (b) og Øresund (c).

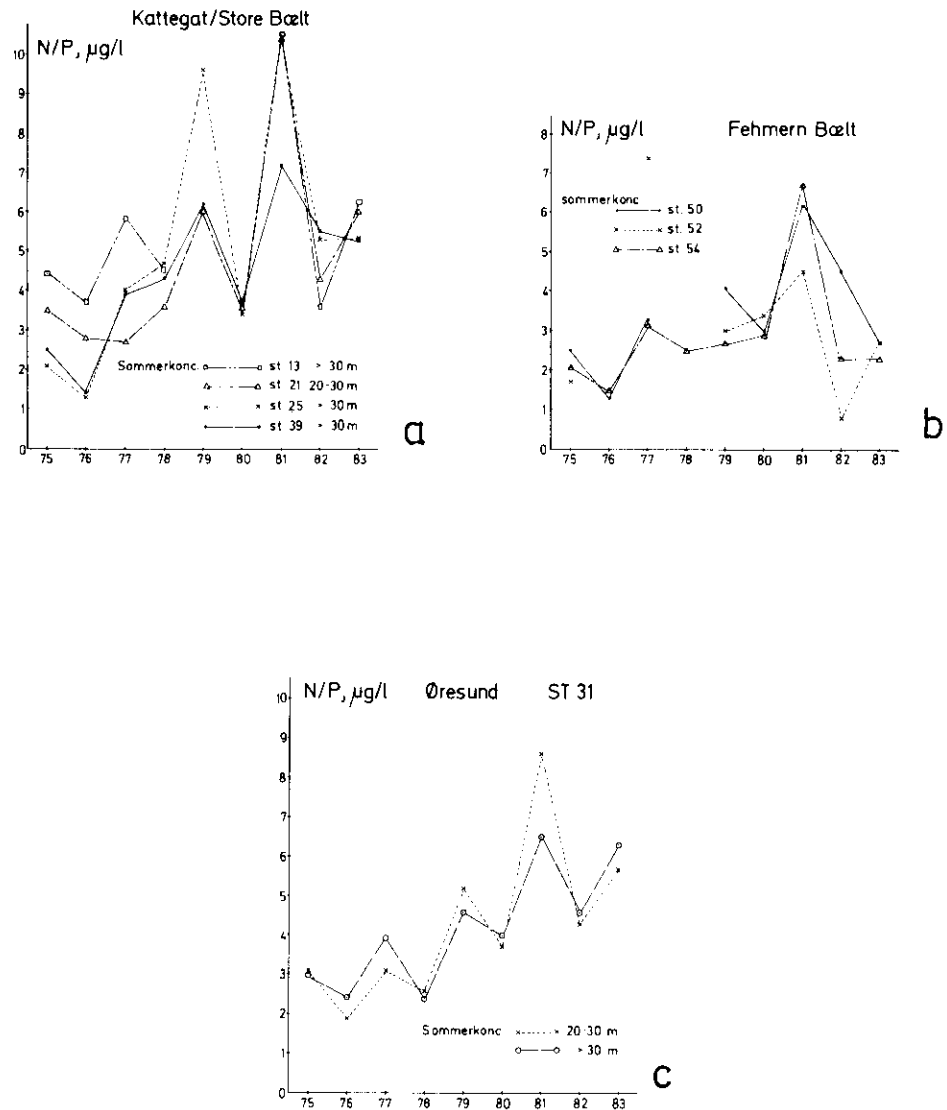


Fig. 6-10

Gennemsnitligt sommer-N/P-forhold (juli-september) i de bundnære vandlag i Kattegat-Store Bælt (a), Femer Bælt-området (b) og Øresund (c) i perioden 1975-83.

I Arkona Bækkenet varierer sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i bundvandet på samme måde som fosfat betydeligt fra år til år. Koncentrationen var relativt høj i 1977-81 (90-135 $\mu\text{g N/l}$) med den højeste værdi i 1981 (figur 6-8d).

6.3.2.3 Forholdet mellem sommerkoncentrationer af kvælstof og fosfor i bundvandet (sommer-N/P-forholdet)

I bundvandet i Kattegat og Store Bælt er forholdet mellem sommerkoncentrationerne af kvælstof bundet i kvælstof-næringssalte og fosfor i form af fosfat generelt steget fra 1,5-4,5:1 i 1975-76 til omkring 6:1 eller derover i 1979 og op til 10,5:1 i 1981. I 1983 lå sommer-N/P-forholdet omkring 5-6:1 (figur 6-10a).

Også i Øresunds bundlag steg sommer-N/P-forholdet fra 2-3:1 i 1975-76 til over 6:1 i 1981. I 1982 og 1983 lå sommer-N/P-forholdet her henholdsvis omkring 4,5:1 og 6:1 (figur 6-10c).

I bundvandet i Femer Bælt-området steg sommer-N/P-forholdet en smule fra 1,5-2,5:1 i 1975-76 til ca. 3:1 i 1980 og derpå til over 6:1 i 1981. I 1983 lå sommer-N/P-forholdet omkring 2,5:1 (figur 6-10b).

I Arkona Bækkenets bundvand steg sommer-N/P-forholdet fra ca. 1:1 i 1975-76 til 2,5-3:1 i 1977-83 (figur 6-6d).

6.4 DISKUSSION

6.4.1 Kvælstof-næringssalte

I Kattegat, Øresund og Bælthavet er vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte generelt steget betydeligt fra 1976 til 1981, og niveauet var i 1982-83 stadig væsentligt højere end i 1975-77. Denne udvikling i vinterkoncentrationerne af kvælstof-næringssalte i de åbne indre danske farvande fra 1975 til 1983 sva-

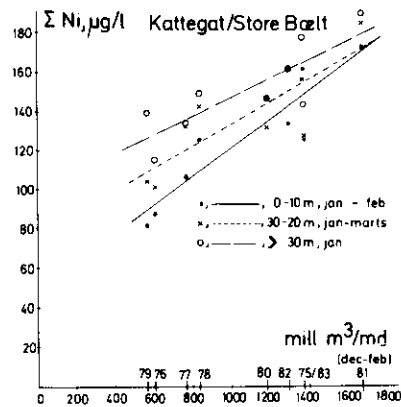


Fig. 6-11

Gennemsnitlig vinterkoncentration (januar-februar/marts) af kvælstof-nærings-salte i forskellige vanddybder i Kattegat-Store Bælt området som funktion af den gennemsnitlige vinterafstrømning (december-februar) fra dansk side til de indre danske farvande i perioden 1975-83. Regressionslinier for de forskellige vandlag er indtegnet.

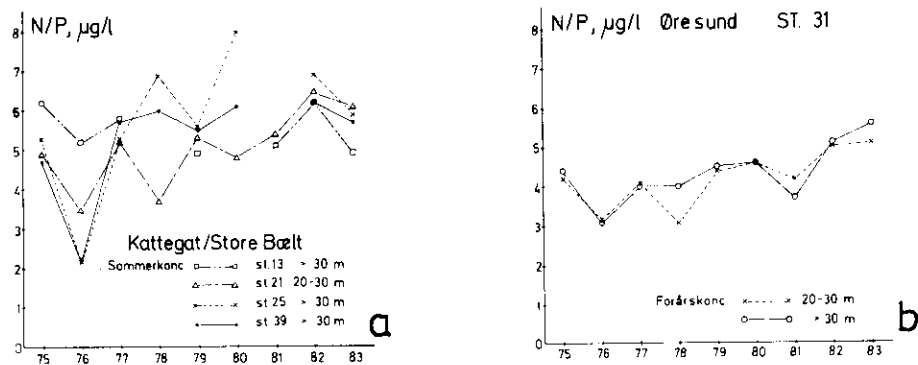


Fig. 6-12

Gennemsnitligt forårs-N/P-forhold (april-juni) i de bundnære vandlag i Kattegat-Store Bælt (a) og Øresund (b) i perioden 1975-83.

rer til udviklingen i vandafstrømningen og dermed kvælstofbelastningen fra land i samme periode (fig. 4-5 s. 89, og tabel 4-7, s. 85).

Afbildes den gennemsnitlige vinterkoncentration (januar-februar/marts) i Kattegat-Store Bælt af kvælstofnæringssalte i de forskellige år, 1975-83, direkte som funktion af de tilsvarende gennemsnitlige vinterafstrømninger (december-februar) fra dansk side (Det danske Hedeselskab, 1983) til de indre danske farvande (figur 6-11), ses sammenhængen mellem afstrømningen fra land og vinterkoncentrationen af kvælstofnæringssalte i de centrale dele af de åbne farvande tydeligt. Den indtegnede regressionslinie for overfladelaget er statistisk signifikant på 0,1%-niveauet, de to øvrige er signifikante på 1%-niveauet. Vinteren 1975 er mest afvigende fra korrelationen med relativt lave koncentrationer af kvælstofnæringssalte i forhold til den store afstrømning. Udelades 1975, er de to regressionslinier for de dybere vandlag statistisk signifikante på 0,2%-niveauet.

De tre regressionsliniers hældningskoefficienter er nok ikke statistisk signifikant forskellige men antyder, som det kunne forventes, at afstrømningen har større indflydelse på koncentrationen i overfladelaget end i bundvandet.

Vinterkoncentrationen af kvælstofnæringssalte i de åbne danske farvande afhænger imidlertid ikke kun af vinterafstrømningen fra dansk land, men bl.a. også af:

- Afstrømningen fra vore nærmeste nabolande,
- vandudvekslingen mellem de indre danske farvande og Skagerrak/Østersøen.

Generelt er afstrømningen fra vore nabolande sandsynligvis i høj grad korreleret med den danske afstrømning, der derfor kan betragtes som et relativt udtryk for den samlede kvælstofbelastning fra Danmark og vore nærmeste nabolande til de åbne indre farvande.

I Arkona Bækkenets overfladelag er der ikke sket nogen generel udvikling i vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i perioden 1975-83. Den konstaterede stigning fra 1976 til 1981 i vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i de indre danske farvande skyldes altså ikke en tilsvarende stigende tilførsel med den generelt udadgående overfladestrøm fra den egentlige Østersø.

Derimod har de af størrelsesordenen 500 km^3 vand, der netto strømmer ud fra Østersøen pr. år, en fortyndende effekt på koncentrationerne af især kvælstof-næringssalte men også fosfat i de danske farvande, idet koncentrationerne i det udstrømmende Østersøvand generelt er lavere end i Øresund, Bælthavet og Kattegat. Der kommer dog væsentlige næringssaltmængder med Østersøvandet, og koncentrationerne er formentligt stigende.

Bundvandet i de indre farvande stammer hovedsageligt fra og udskiftes med vand fra Skagerrak, der som en sydgående bundstrøm trænger ind fra nord. Kun en ringe del af dette vand når normalt ind i Arkona Bækkenet og den egentlige Østersø, men blandes efterhånden op i overfladelaget og føres med den generelt nordgående overfladestrøm tilbage til Skagerrak. Samtidigt sker især i Bælthavet en nedblanding af overfladevand i bundvandet.

Dette tyder på, at en lignende udvikling i vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte, som observeret i de åbne indre farvande, også har fundet sted i Skagerrak. Udviklingen i vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i de åbne indre danske farvande er altså ikke blot betinget af de lokale belastninger men af regionale forhold, der muligvis også inkluderer belastningen fra Vest- og Mellemeuropa til den syd-østlige del af Nordsøen, idet den generelt nordgående strøm langs den jyske vestkyst kan transportere stoffer herfra til Skagerrak og det nordvestlige Kattegat.

Også sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i de dybere vandlag er steget betydeligt (ca. $100 \mu\text{g N/l}$) i Kattegat, Øresund og Store Bælt fra 1976 til 1981, mens koncentrationen i den vestlige Østersø (Femern Bælt - Arkona Bækkenet) kun i 1981 viser høje værdier.

Bundvandets sommerkoncentration af kvælstof-næringssalte udviser betydeligt ringere korrelation med sommerafstrømningen fra land, end den tilsvarende

vinterkoncentration udviser med vinterafstrømningen. Sommerafstrømningen er imidlertid lille sammenlignet med vinterafstrømningen, samtidig med at der i sommerperioden i kystområderne foregår en høj biologisk aktivitet, der ved sit forbrug af næringssalte forhindrer sommerafstrømningen i at influere væsentligt på næringssaltkoncentrationen i bundvandet i de åbne farvande. Sommerkoncentrationen af kvælstof-næringssalte i bundvandet i de åbne danske farvande synes derfor i høj grad betinget af den forudgående vinterperiodes regionale belastning og især dennes indflydelse på forholdene i Skagerrak, hvorfra bundvandet i de åbne indre farvande udskiftes.

Det kan dog ikke udelukkes, at der finder en væsentlig recycling sted i de indre farvande med opblanding af næringssalte fra bundlag til overfladelag i Bælthavet efterfulgt af en produktion af organisk stof, der med overfladestrømmen føres til Kattegat, hvor en del af det synker ned i bundvandet og mineraliseres, hvorefter næringssaltene med bundstrømmen igen føres til Bælthavet og opblandes til overfladelaget. Hvis dette er tilfældet vil den regionale belastning være af relativt mindre betydning for forholdene i de åbne indre danske farvande.

Under alle omstrændigheder vil indflydelsen af de regionale belastninger aftage ind mod kysten, og i fjordene og de kystnære områder vil den lokale belastning være dominerende og afgørende for forholdene.

6.4.2 Fosfat

Landbelastningen med fosfor i perioden 1975-81 er opgjort til at være ret konstant og relativt uafhængig af vandafstrømningen fra land (se s. 85). De relativt små observerede variationer i koncentrationerne af fosfat i de åbne indre danske farvande i perioden 1975-83 kan derfor ikke i væsentlig grad være betinget af belastningen med fosfor fra land. Variationerne må derfor hovedsageligt være betinget af:

- vandudvekslingen
- den biologiske omsætning
- udvekslingen mellem bund og vand.

På grund af de gode iltforhold, den ringe biologiske aktivitet, samt den relativt kraftige vandudveksling og blanding om vinteren, må vinterkoncentrationen af fosfat i de åbne indre farvande i høj grad være betinget af vandudvekslingen med Skagerrak og Østersøen, hvor fosfatindholdet generelt er lidt lavere. Også om sommeren afhænger fosfatkoncentrationen i bundvandet i betydelig grad af vandudvekslingen og -blandingen. I områder med tendenser til stagnerende bundvand kan der opstå høje fosfatkoncentrationer i bundvandet sidst på sommeren, mens stor blanding mellem overflade- og bundvand om sommeren medfører lave fosfatindhold i bundvandet.

Så længe mængden af kvælstof-næringssalte tilgængelige for fytoplanktonet begrænser dets produktion, vil en forøgelse af den tilgængelige mængde kvælstof-næringssalte medføre en forøget indbygning af fosfor i organisk stof. Dette har fundet sted i de senere år, specielt i 1981 (se kapitel 7). Dette medfører en forøget tilførsel af organisk bundet fosfor til bundlaget og dermed, efter en tidsforsinkelse, en forøget frigørelse af fosfat. Dette forhold kan i forbindelse med den stigende kvælstofbelastning være medvirkende til at ophobe fosfat i de indre farvande, fosfat der ellers ville være blevet ført med overfladestrømmen ud af området, hvis det ikke var blevet optaget i fytoplanktonet. En del af dette ekstra fosfat vil sandsynligvis deponeres i bunden men kan have haft betydning for den generelle mindre stigning af fosfat især i vinterkoncentrationen, der er konstateret i de seneste 3-4 år.

Under iltfrie forhold, som i den vestlige Østersø fra Flensborg Fjord til Gedser Rev i september 1981, frigives betydelige mængder fosfat fra bunden. Dette kan sammen med en stagnation af bundvandet også være årsagen til de relativt høje fosfatkoncentrationer fundet i Femer Bælt i juli 1981 og i begyndelsen af september 1983. I begge tilfælde måltet meget lave iltindhold i vandet ca. 2 m over bunden, og der kan have været iltfrit ved bunden i nærliggende områder.

6.4.3 N/P-forholdet og begrænsningen af fytoplanktonproduktionen

På baggrund af Bæltprojektets resultater blev der i den afsluttende rapport konkluderet følgende vedrørende kvælstofs og fosfors betydning for begrænsningen af fytoplanktonets produktion af organisk stof og dermed det potentielle iltforbrug i de åbne indre danske farvande:

Generelt bruger fytoplanktonet kvælstof og fosfor i vægtforholdet 7:1. I vinterperioden er forholdet i vandet mindre end dette, og der findes altså relativt mere tilgængeligt fosfor end kvælstof. Derfor opbruges kvælstof hurtigere end fosfor i overfladelaget og bliver derved begrænsende i løbet af forårsmaksimet.

Kvælstof frigøres igen hurtigere end fosfor gennem de græssende dyr. Formentlig er det dette forhold, der medfører, at også fosforet i overfladelaget efterhånden opbruges, således at også fosfor kan være en begrænsende faktor i perioden april-juni i større eller mindre grad, afhængig af opblandingen af fosforrigt bundvand, det vil sige vejrforholdene (ekstra kvælstof kan imidlertid foruden fra de græssende dyr også tilføres fra land eller atmosfæren).

Fosfor synes imidlertid at frigøres hurtigere end kvælstof, når dødt organisk stof nedbrydes i bundlaget, og normalt stiger koncentrationen af fosfat i overfladelaget på grund af opblanding, mens koncentrationen af kvælstof forbliver minimal indtil oktober. Mangelen på kvælstof-næringssalte er således generelt den mest begrænsende faktor for fytoplanktonets produktion og dermed også for størrelsen af det potentielle iltforbrug, der skal til for at nedbryde stoffet igen. Men også mangel på fosfor kan i kortere perioder være en begrænsende faktor (Ærtebjerg Nielsen et al., 1981).

Den generelle stigning i vinterkoncentrationen af kvælstof-næringssalte fra 1976 til 1981 i alle de undersøgte områder med undtagelse af Arkona Bækkenet sammen med faldet i vinterkoncentrationen af fosfat fra 1975 til 1979/80 i overfladelaget i alle områder og i bundvandet i Bælthavet medførte, at vinter-N/P-forholdet i overfladelaget fra 1975 til 1978 steg til omkring eller over 6:1 i Kattegat og Bælthavet og forblev på dette høje niveau til og med 1981.

Dette betyder, at i perioden 1978-81 har forholdet mellem kvælstof og fosfor tilgængeligt for fytoplanktonet i form af næringssalte i overfladelaget i det åbne Kattegat og Bælthavet være omkring det optimale (7:1) for fytoplanktonet ved produktionsperiodens start i marts måned, og det kan ikke ud fra vintermålinger af næringssalte i vandet alene afgøres, hvilket næringsstof der har været mest betydende for forårsmaksimets størrelse i 1978-81 i Kattegat og Bælthavet.

I Øresund og Arkona Bækkenet var vinter-N/P-forholdet i overfladelaget kun i 1981 over 6:1. I de øvrige år af perioden 1975-83 har manglen på kvælstof altså begrænset størrelsen af fytoplanktonets forårs maksimum i disse områder.

Efter fytoplanktonets forårs maksimum er startet, er det ofte ikke muligt ud fra målinger af næringssaltkoncentrationer i overfladevandet at vurdere hvilket næringsstof, der er mest mangel på og derved begrænser fytoplanktonproduktionen mest, fordi fytoplanktonet kan optage og oplagre et eller flere af næringsstofferne i overskud.

Ammonium findes næsten altid i små mængder i overfladevandet, idet det udskilles med de græssende dyrs urin. Men selv om ammonium er det eneste af kvælstof- og fosfor-næringssaltene, der er til stede i målelige mængder i vandet, kan kvælstof godt være mest bestemmende for størrelsen af fytoplanktonets produktion, hvis fytoplanktonet har oplagret fosfat i overskud, eller hvis tilførslen af fosfor er relativt større end kvælstof men blot optages og lagres lige så hurtigt, som det tilføres.

Kun hvis ét næringsstof alene (kvælstof eller fosfor) findes i betydelige mængder i vandet, kan det konkluderes, at der ikke er mangel på dette næringsstof, men sandsynligvis på det andet.

Når næringsstofkoncentrationerne i overfladelaget er små eller nul, kan en vurdering af, hvilket næringsstof der er mest mangel på, opnås ved at se på hastighederne, hvormed næringsstofferne gøres tilgængelige for fytoplanktonet. Efter at forårsmaksimet har opbrugt næringssaltene i overfladelaget, er fytoplanktonproduktionen i de åbne lagdelte farvande i væsentlig grad afhængig af tilførsel af næringssalte ved opblanding af dybvand til overfladelaget. En vurdering af hvilket næringsstof, der er mest mangel på, kan derfor opnås ved at se på N/P-forholdet i bundvandet.

I vandlagene under springlaget i det åbne Kattegat og Bælthavet var vinter-N/P-forholdet (januar-marts) med undtagelse af det syd-østlige Kattegat (station 21), generelt ligesom i overfladelaget omkring eller større end 6:1 i perioden 1978-81.

I Kattegats og Store Bælts bundlag forblev vinter-N/P-forholdet i 1982-83 omkring 6:1. Også i månederne april-juni er N/P-forholdet i bundvandet omkring eller større end 6:1 i det syd-vestlige Kattegat (station 25) og Store Bælt (station 39) i perioden 1978-83, mens det i samme periode med undtagelse af 1982 generelt er lavere i det østlige Kattegat (station 13 og 21)(figur 6-12a).

Det kan derfor ikke ud fra målinger af næringssalte i bundvandet alene afgøres, hvilket næringsstof der, efter at forårsmaksimet har opbrugt næringssaltene i overfladelaget, har været mest betydende for fytoplanktonproduktionens størrelse i månederne april-juni i årene 1978-81 i Femer Bælt-området og i årene 1978-83 i det syd-vestlige Kattegat og Store Bælt, mens der i det østlige og især syd-østlige Kattegat er tendens til mangel på kvælstof frem til og med 1981.

I Arkona Bækkenets bundvand var vinter-N/P-forholdet kun i 1980 omkring 7:1, mens det i Øresunds bundvand både i månederne januar-marts og april-juni var under 5,5:1 i hele perioden 1975-83 (figur 6-12b). I disse områder har mangel på kvælstof altså generelt begrænset fytoplanktonproduktionens størrelse mest i foråret og forsommeren 1975-83.

Størstedelen af fytoplanktonets sommerproduktion finder sted i månederne juli-september. Det gennemsnitlige N/P-forhold i disse måneder i bundvandet i Kattegat og Store Bælt var i perioden 1975-83 kun i årene 1979, 1981 og 1983 omkring eller større end 6:1. Specielt var sommer-N/P-forholdet meget højt i 1981. I Øresund var sommer-N/P-forholdet under springlaget kun i 1981 og 1983 omkring eller større end 6:1, og i Femer Bælt-området fandtes værdier over 6:1 kun i 1981. I Arkona Bækkenet var sommer-N/P-forholdet under 3:1 i hele perioden 1975-83.

Vurderet alene ud fra sommer-N/P-forholdet har fytoplanktonets sommerproduktion derfor generelt været begrænset af mangel på kvælstof-næringssalte i hele det undersøgte område i perioden 1975-83 med undtagelse af 1981, hvor mangel på fosfat kan have været begrænsende, især i Kattegat samt i 1979 og 1983, hvor det ikke er muligt ud fra sommer-N/P-forholdet i bundvandet at afgøre, hvilket næringsstof der havde størst betydning for sommerproduktionens størrelse i Kattegat og Store Bælt. Det samme gælder for Øresund i 1983.

Imidlertid var der med undtagelse af Kattegat i juli 1981 oftest målelige mængder fosfat til stede i overfladevandet i de åbne indre farvande i de omtalte år. Det er derfor heller ikke sandsynligt, at fytoplanktonets produktion har været begrænset i væsentlig grad af mangel på fosfat selv i de år, hvor N/P-forholdet var omkring eller højere end 6:1. Nyere forskningsresultater tyder da også på, at det optimale N/P-forhold for planktonalger ikke som her antaget er 7:1, men måske nærmere 11-12:1 (Kaj Sand Jensen, pers. com.).

6.5 KONKLUSION

Mens koncentrationen af fosfat kun har udvist mindre udsving i perioden 1975-83, er koncentrationen af kvælstof-næringssalte i Kattegat, Øresund og Bælt-havet generelt steget betydeligt fra 1976 til 1981 (stigningen er 40-80 μg N/l) og var i 1982-83 stadig relativt høj.

Stigningen i koncentrationen af kvælstof-næringssalte er relateret til en samtidig tilsvarende stigning i vandafstrømningen og dermed kvælstofbelastningen fra land.

I perioden 1978-81 er det ikke muligt ud fra målinger af vinter-N/P-forholdet alene at afgøre, hvilket af næringsstofferne, kvælstof eller fosfor, der har haft størst indflydelse på størrelsen af fytoplanktonets forårsmaksimum og den derpå følgende produktion (marts-juni). Fytoplanktonets sommerproduktion (juli-september) har imidlertid generelt været begrænset af mangel på kvælstof-næringssalte i alle de åbne indre danske farvande i hele perioden 1975-83, måske med undtagelse af 1981, hvor mangel på fosfat kan have været begrænsende, især i Kattegat.

Med den stigende mængde kvælstof-næringssalte fra 1976 til 1981/83 er fosformangels rolle som begrænsende faktor for fytoplanktonproduktionens størrelse i den første del af produktionsperioden altså tiltaget, især i Kattegat og Bælt-havet.

Fosformangelens begrænsende rolle aftager i løbet af produktionsperioden, ligesom den aftager fra nord til syd gennem de åbne indre danske farvande.

Det vil sige, at i de åbne indre farvande har fytoplanktonproduktionen generelt været i stand til at udnytte den stigende mængde kvælstof-næringssalte i perioden 1976-81/83 gennem en stigende produktion, der synes at kulminere i 1981 (jfr. kapitel 7).

De kystnære områder og fjordene modtager direkte belastningerne fra land, hvoraf afstrømningen er den væsentligste kvælstofkilde og spildevandsudledninger den væsentligste fosforkilde (jfr. kapitel 4). I kystområder med relativt ringe vandudskiftning og uden væsentlig fosforbelastning, men med de senere års store kvælstofbelastning stiger fosformangelens rolle som begrænsende faktor for fytoplanktonets produktion i forårs- og forsommeren i forhold til i de åbne områder. I kystområder med relativt stor fosforbelastning kan en reduktion af denne belastning derfor muligvis reducere fytoplanktonproduktionens størrelse i første del af produktionsperioden (marts-juni). Derefter vil den hurtigere frigørelse af fosfat fra dødt organisk stof med stigende temperatur sammen med den mindre sommerbelastning med kvælstof fra land oftest medføre, at der ikke mere er mangel på fosfor.

KAPITEL 7

UDVIKLING I FYTOPLANKTONBIOMASSE OG -PRODUKTION I VORE
FARVANDE 1975-82

7.1	DE ÅBNE FARVANDE	183
7.1.1	Indledning	183
7.1.2	Materiale	183
7.1.3	Resultater	184
	7.1.3.1 Fytoplanktonbiomasse	184
	7.1.3.1.1 Fytoplanktonkulstof	184
	7.1.3.1.2 Klorofyl-a	188
	7.1.3.2 Fytoplanktonproduktion	190
7.1.4	Diskussion	195
7.1.5	Konklusion	201
7.2	NÆRINGSSALTBELASTNING, FYTOPLANKTONPRODUKTION OG ILTSVIND I KYSTVANDENE	203

7.1 DE ÅBNE FARVANDE

7.1.1 Indledning

Mængden af fytoplankton til stede i overfladelaget afhænger af tilførslen, det vil sige hastigheden, hvormed fytoplankton producerer under de givne omstændigheder, og tabet af fytoplankton, det vil sige hastigheden, hvormed det fjernes ved dyrenes græsning og ved sedimentation ud af overfladelaget, hvor der er tilstrækkeligt med lys til fotosyntese.

Størrelsen af fytoplanktonets produktion af organisk stof, og dermed af det potentielle iltforbrug til nedbrydning af dette stof, afhænger i perioden marts-oktober, foruden af mængden og arten af tilstedeværende fytoplankton, især af mængden af tilgængelige næringssalte.

I det foregående kapitel behandles udviklingen i koncentrationerne af næringssalte i de indre danske farvande i perioden 1975-83. I nærværende kapitel behandles udviklingen i fytoplanktonets biomasse og produktion i samme periode og område.

7.1.2 Materiale

Datagrundlaget for vurderingen af udviklingen i fytoplanktonets biomasse og produktion af organisk stof er hovedsageligt indsamlet gennem miljøstyrelsens Bæltprojekt og efterfølgende overvågningsprogrammer i perioden 1974-82 (jfr. afsnit 6-2, s. 151).

Udviklingen belyses gennem behandling af måledata fra de stationer, der i dag indgår i miljøstyrelsens overvågningsprogram for de åbne indre farvande, se s. 112. Derudover inddrages målinger af fytoplanktonets produktion foretaget fra de danske fyrskibe: Aalborg Bugt, Anholt Nord og Halsskov Rev ca. hver 14. dag i en del af årene fra 1953 og frem til 1970 (Steemann Nielsen, 1964, Ærtebjerg Nielsen et al., 1981). For Øresunds vedkommende inddrages danske produktionsmålinger fra 1933 og 1959 (Steemann Nielsen, 1937 & Hansen, 1961) og svenske målinger fra 1972 og 1973 (Edler, 1977, Öresundskommissionen, 1980).

7.1.3 Resultater

7.1.3.1 Fytoplanktonbiomasse

7.1.3.1.1 Fytoplanktonkulstof

Fytoplanktonets indhold af kulstof er et direkte mål for biomassen, men det er vanskeligt at bestemme, fordi der i en vandmasse også findes organisk kulstof opløst i vandet samt i zooplankton, bakterier, detritus m.m.

En indirekte bestemmelse af mængden af kulstof bundet i fytoplankton kan foretages ved at tælle antallet af celler af hver tilstedeværende plankton-algeart, beregne cellernes volumen, og derefter omregne volumet til kulstof ud fra erfaringstal for hver enkelt art eller gruppe (Smetacek, 1977, Edler, 1977, Pedersen, 1982).

Sådanne bestemmelser af den gennemsnitlige koncentration af fytoplanktonkulstof i de øverste 10 m vand påbegyndtes i april 1979 på 4 overvågningsstationer (station 25, 31, 39 og 44 - se s. 112). og blev i 1981 udvidet med 2 ekstra stationer i Kattegat (station 9 og 13).

Resultaterne frem til juni 1982 er vist i figur 7-1 a-f. De enkelte søjler i figurerne er opdelt i følgende algegrupper:

- blåtrønalger (Nostocophyceae)
- dinoflagellater = furealger (Dinophyceae)
- diatomer = kiselalger (Diatomophyceae)
- uidentificerede monader mindre end 16 μm
- restgruppen "andre".

I Kattegat, Øresund og Store Bælt domineres fytoplanktonbiomassen generelt af diatomer, dinoflagellater og små uidentificerede monader. Kun i månederne august-september forekommer undertiden væsentlige mængder af blåtrønalger. Den største biomasse af diatomer fandtes oftest i marts og oktober, mens den største biomasse af dinoflagellater oftest fandtes i

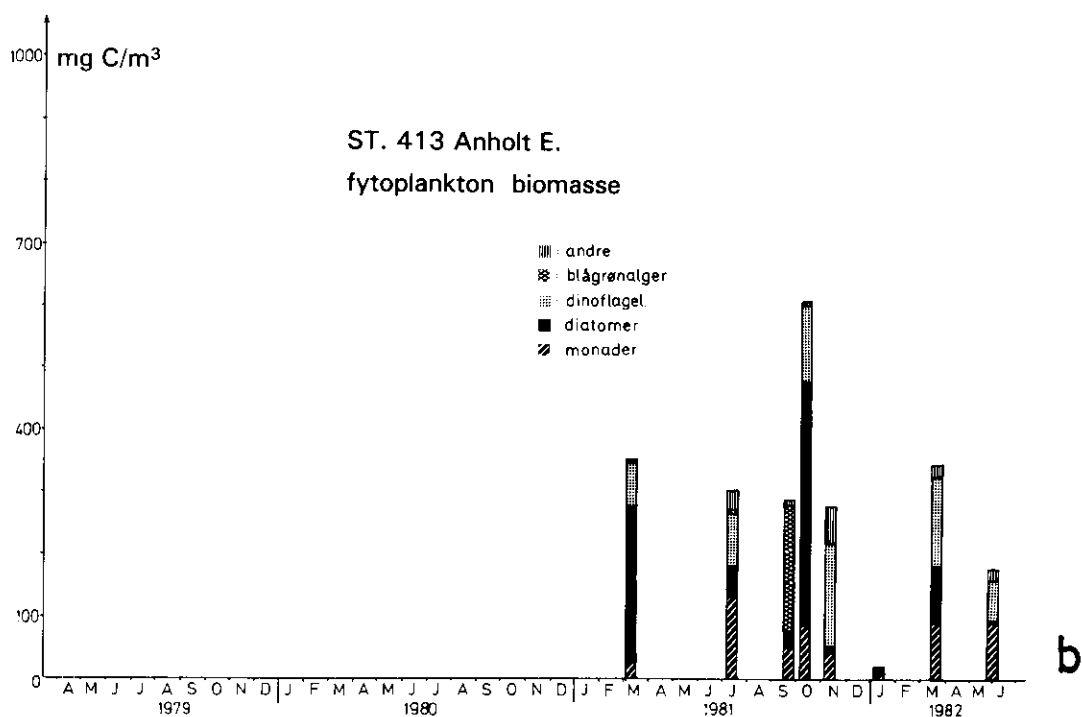
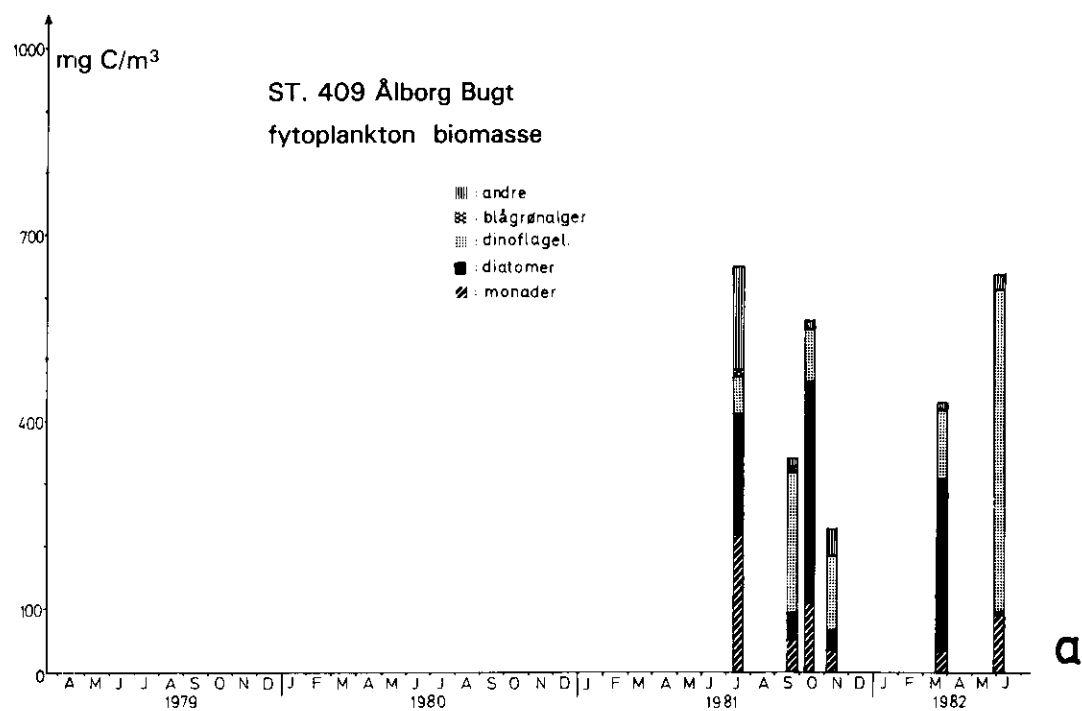


Fig. 7-1 a,b

Fytoplankton biomasse 1979-82 i overfladelaget (0-10 m) på 2 stationer i de åbne indre farvande udtrykt som mængden af kulstof bundet i planktonalger og opdelt på forskellige algegrupper.

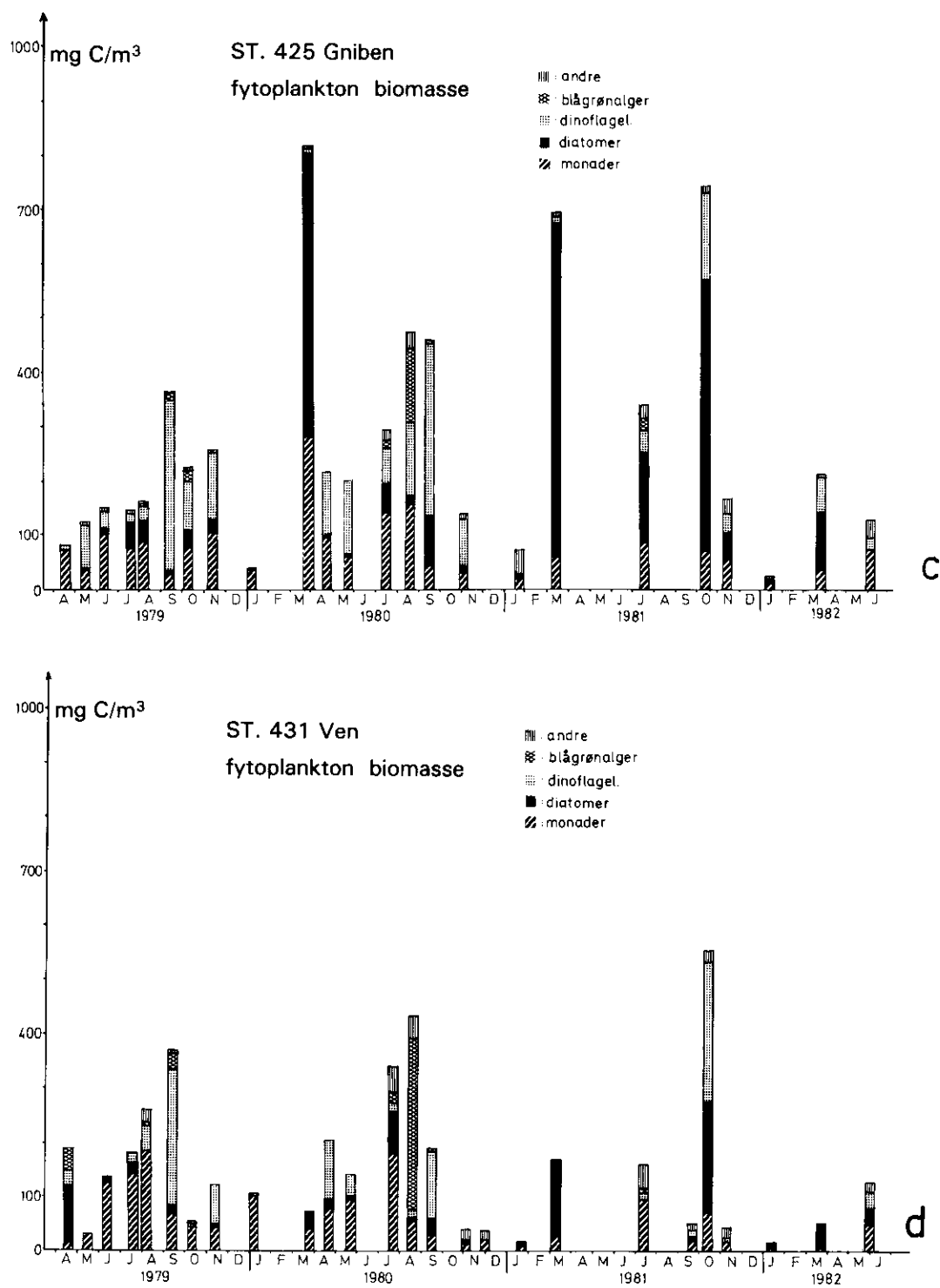


Fig. 7-1 C,d

Fytoplankton biomasse 1979-82 i overfladelaget (0-10 m) på 2 stationer i de åbne indre farvande udtrykt som mængden af kulstof bundet i planktonalger og opdelt på forskellige algegrupper.

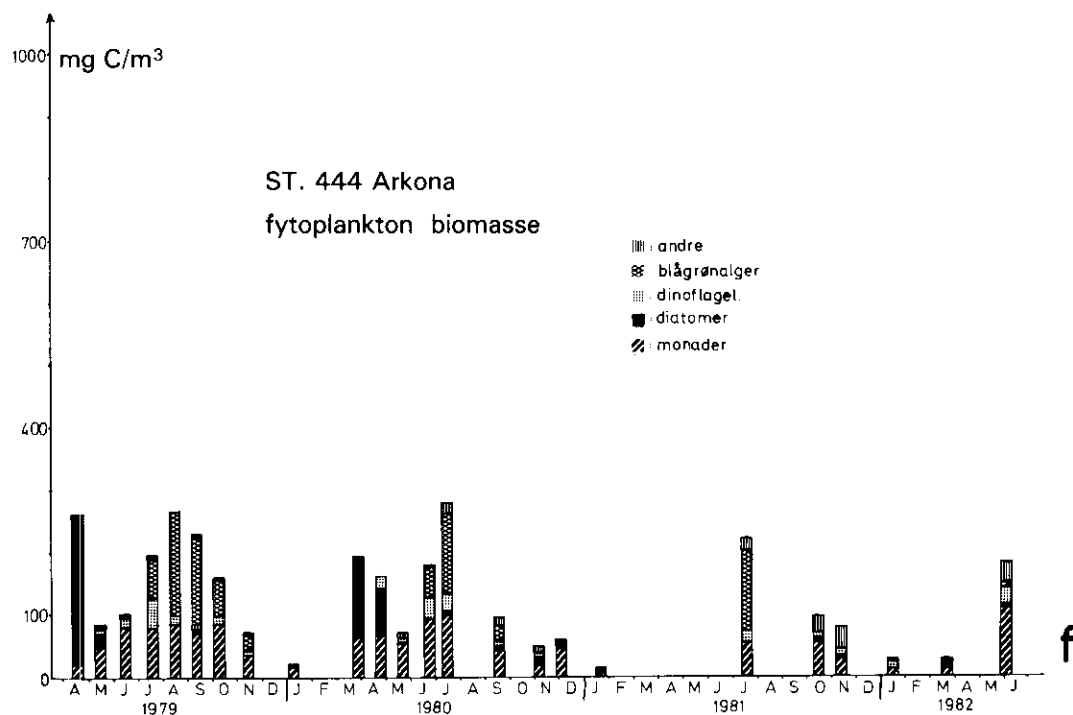
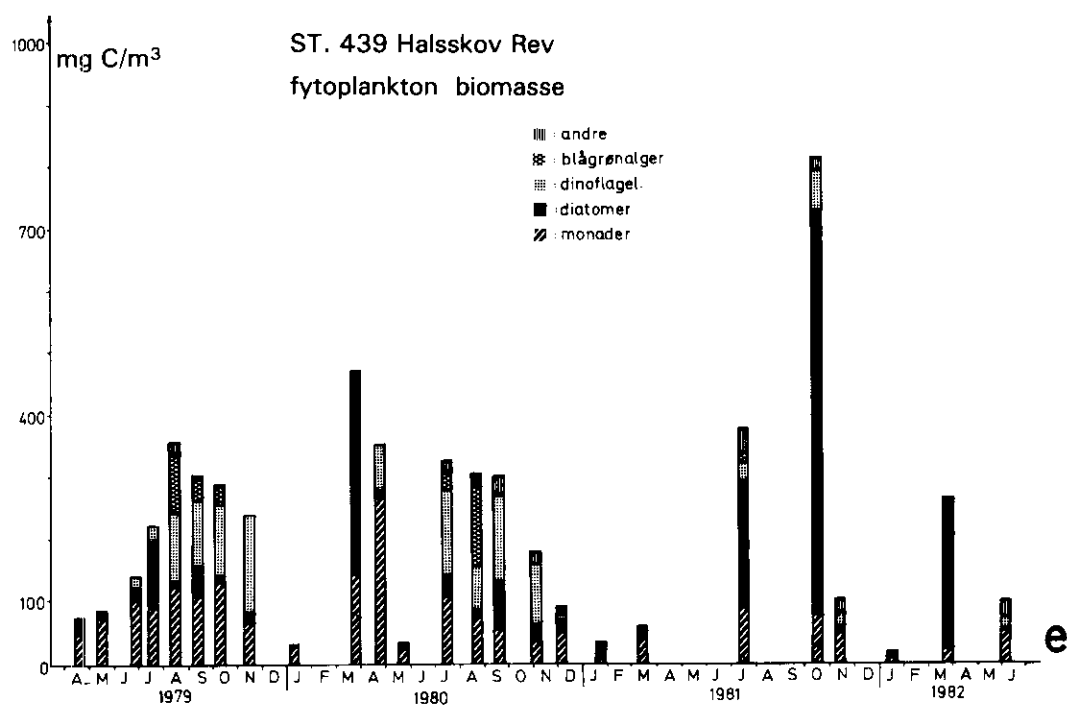


Fig. 7-1 e,f

Fytoplankton biomasse 1979-82 i overfladelaget (0-10 m) på 2 stationer i de åbne indre farvande udtrykt som mængden af kulstof bundet i planktonalger og opdelt på forskellige algegrupper.

september. I Arkona Bækkenet (station 44) kan blågrønalger findes i betydelige mængder i hele perioden juni-oktober, mens dinoflagellater her kun spiller en ringe rolle.

Den fundne fytoplanktonbiomasse i marts varierer betydeligt fra station til station og fra år til år, afhængigt af om prøvetagningen faldt i fytoplanktonets relativt korte forårsmaksimum eller ikke.

Der er desværre kun få målinger fra 1981. I juli fandtes en høj biomasse i Aalborg Bugt (station 9), mens koncentrationen på de øvrige stationer var forholdsvis "normal".

På alle stationer, undtagen station 44, fandtes i oktober 1981 en meget høj fytoplanktonbiomasse, hovedsageligt bestående af diatomer og dinoflagellater, bl.a. den toksiske dinoflagellat Gyrodinium aureolum. Denne top forekom efter, at problemerne med lave iltindhold i bundvandet var overstået, da der var sket en opblanding af vandmasserne og udskiftning af bundvandet. Dette havde tilført overfladelaget næringssalte, som udnyttedes af fytoplanktonet til en opblomstring, mens lysmængden endnu var tilstrækkelig.

7.1.3.1.2 Klorofyl -a

Indholdet af klorofyl -a benyttes ofte som et mål for koncentrationen af fytoplankton i en vandmasse, selv om indholdet af klorofyl-a i forhold til f.eks. kulstof ikke er konstant fra art til art eller for den enkelte art i løbet af året.

Det er imidlertid klorofylet, der opfanger den energi fra sollyset, som benyttes til fytoplanktonets produktion af organisk stof. Klorofylkoncentrationen kan derfor både betragtes som et relativt biomasse-mål og som et udtryk for den tilstedeværende biomasses potentielle produktionsformåen.

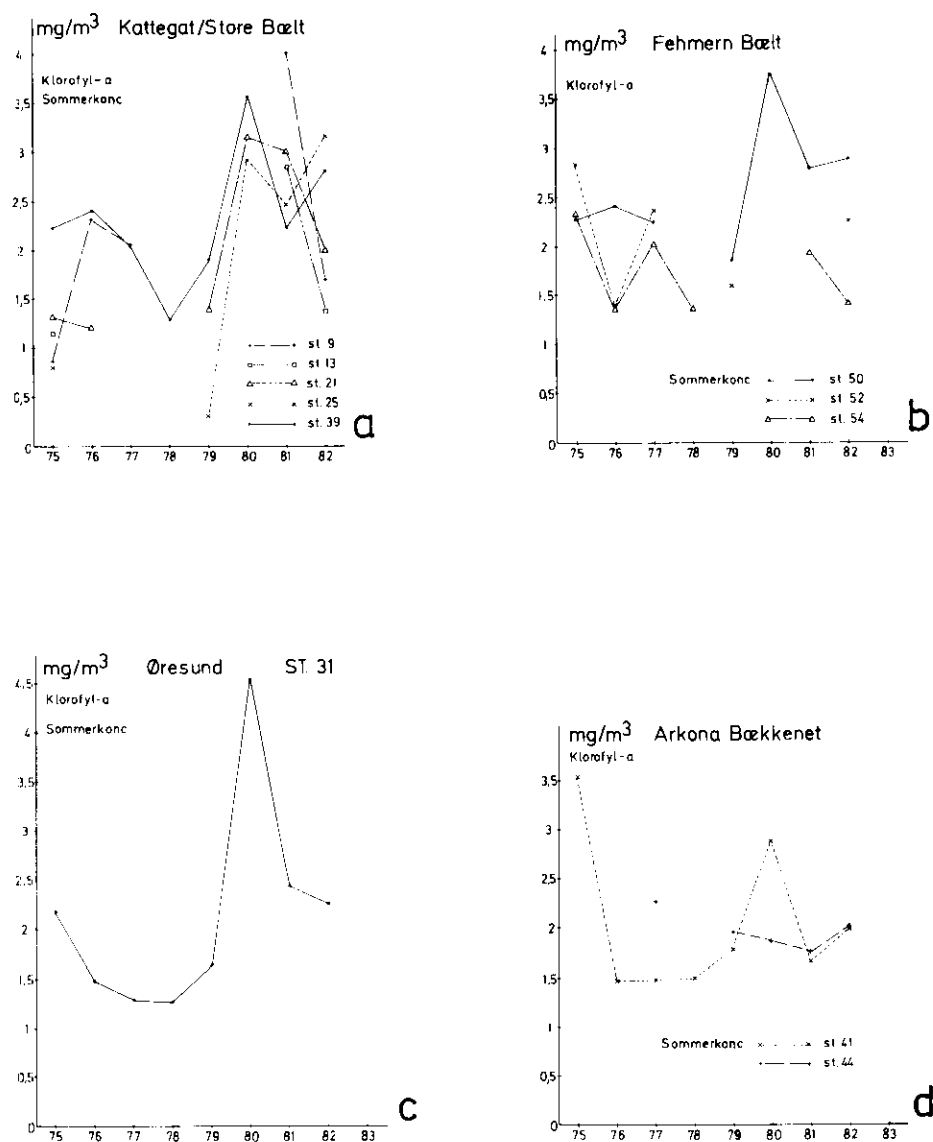


Fig. 7-2

Gennemsnitlig sommerkoncentration (juli-september) af klorofyl-a i overfladelaget i Kattegat-Store Bælt (a), Femer Bælt-området (b), Øresund (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1975-82.

I figur 7-2 a-d er den gennemsnitlige sommerkoncentration (juli-september) af klorofyl-a i overfladelaget vist for forskellige områder af de åbne farvande. Fra sommeren 1978 til og med sommeren 1979 var der problemer med målemetoden, så værdierne fra disse år er sandsynligvis underestimerede.

I Kattegat og Bælthavet fandtes relativt høje sommerkoncentrationer af klorofyl -a i 1980-81, og i Store Bælt-området (station 25, 39 og 50) også i 1982 (figur 7-2 a og b). I Øresund var sommerkoncentrationen meget høj i 1980 og relativt høj i 1975, 1981 og 1982 (figur 7-2c). I Arkona Bækkenet fandtes relativt høje sommerkoncentrationer af klorofyl -a i 1975 og 1980 (figur 7-2d).

7.1.3.2 Fytoplanktonproduktion

Udviklingen i fytoplanktonets årsproduktion fra 1953 til 1980 i Aalborg Bugt og det centrale Kattegat, Store Bælt og Øresund er vist i figur 7-3 i den udstrækning, bestemmelser af årsproduktionen forefindes.

I Aalborg Bugt ses en mindre stigning gennem sidste halvdel af 1960'erne og en høj årsproduktion i 1977. I det centrale Kattegat (Anholt Nord) varierer fytoplanktonets årsproduktion uregelmæssigt fra 1954 til 1970, og relativt høje produktioner findes i 1975 og 1977. I Store Bælt er årsproduktionen ret konstant i 1950'erne og stiger derpå ligesom i Aalborg Bugt i sidste halvdel af 1960'erne og er meget høj i 1978-80. I Øresund er årsproduktionen steget fra 1933 og 1959 til 1970'erne, hvor den er relativt høj i 1973, 1975 og 1978-80.

Efter 1980 er der ikke foretaget målinger hyppigt nok til, at fytoplanktonets årsproduktion kan estimeres. Det er derfor nødvendigt at se nærmere på udviklingen i produktionen i forskellige dele af produktionsperioden.

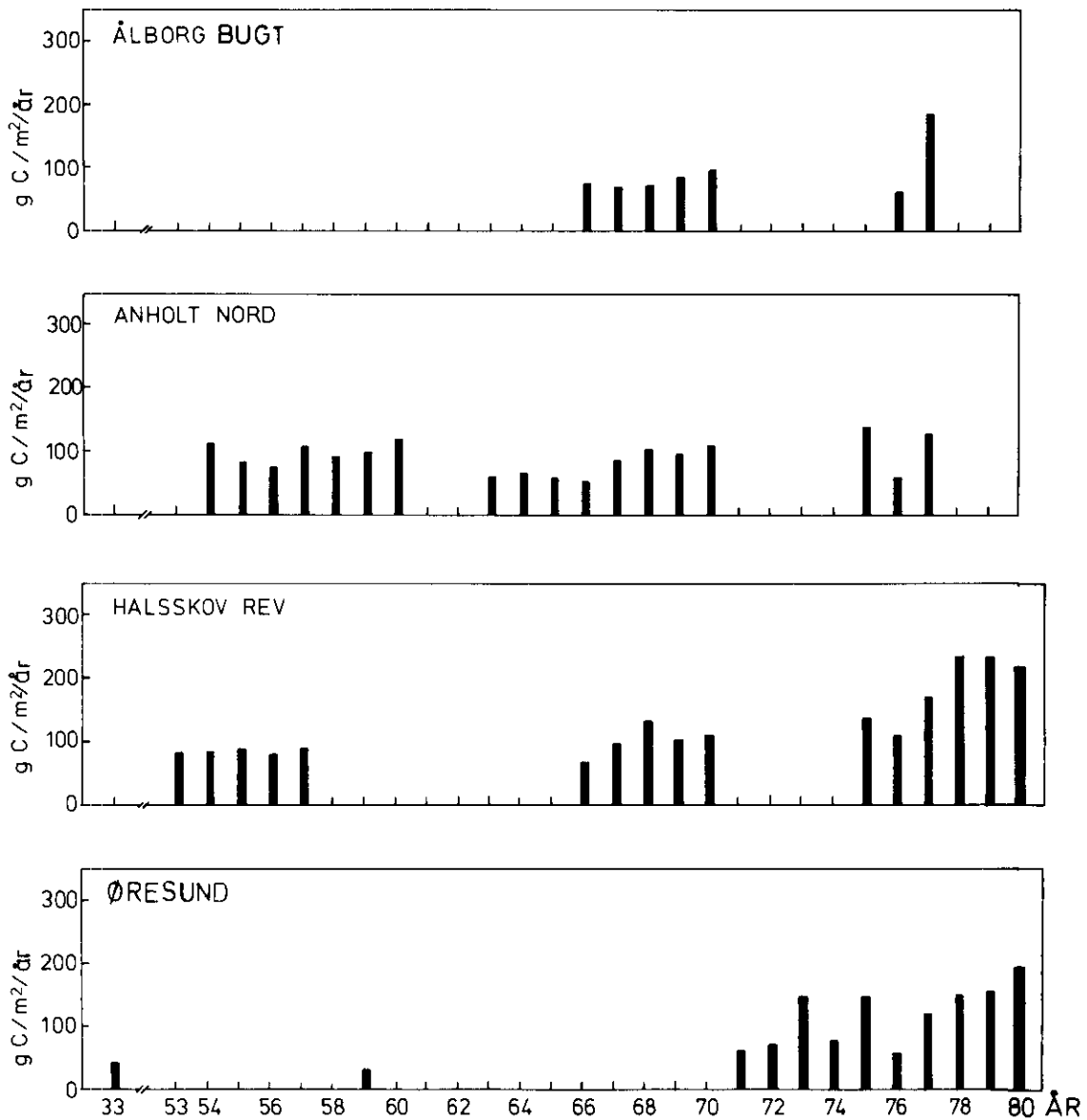


Fig. 7-3

Fytoplanktonets årsproduktion ved 3 fyrskibe 1953-70 i Kattegat og Store Bælt sammen med senere målinger på nærliggende stationer, samt eksisterende målinger af fytoplanktonets årsproduktion i det nordlige Øresund 1933-80.

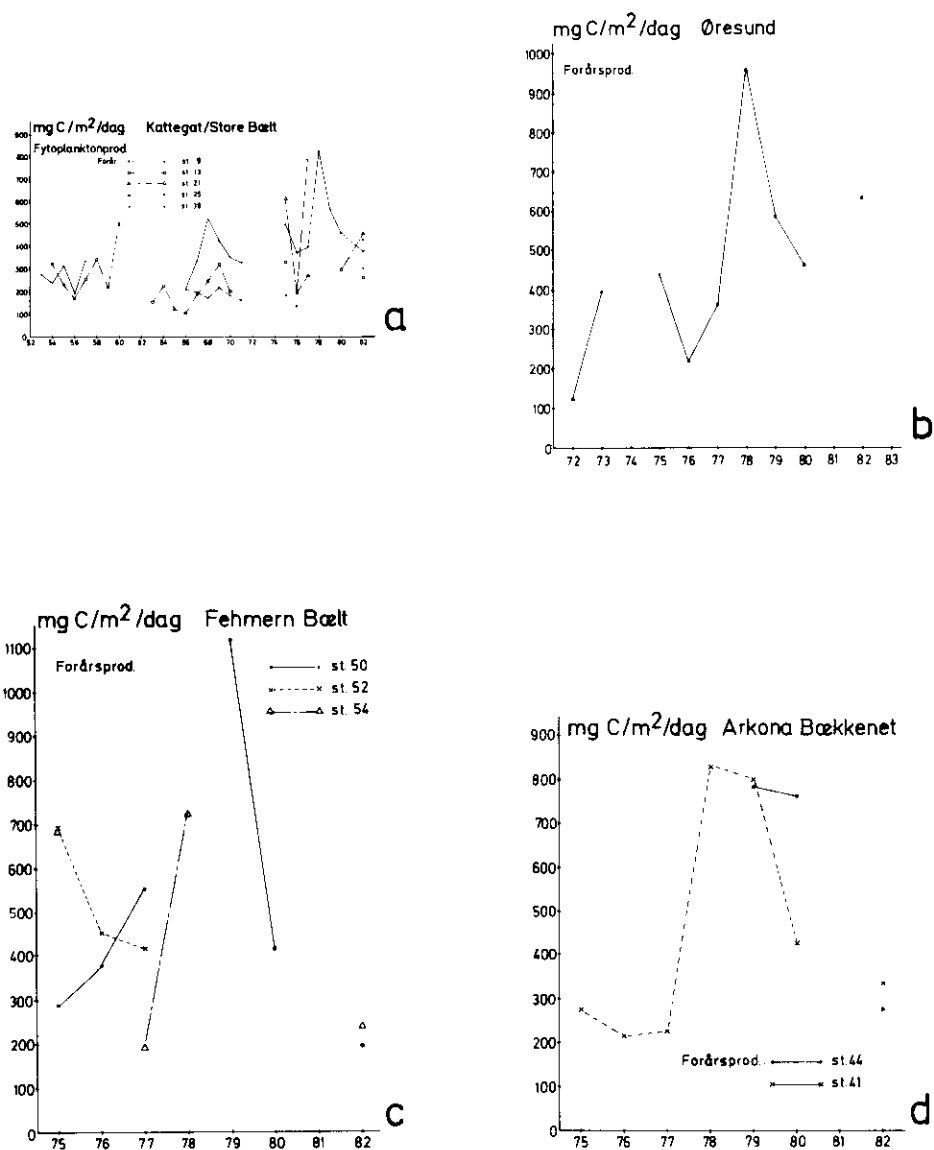


Fig. 7-4

Gennemsnitlig fytoplankton dagsproduktion i april-juni i Kattegat-Store Bælt (a), Øresund (b), Femern Bælt-området (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1953-82.

Den stigende vinterkoncentration af kvælstofnæringssalte i perioden 1976-81 (se s. 160) har sandsynligvis medført en tilsvarende stigning i forårsmaksimets størrelse i samme periode. Forårsmaksimet er imidlertid af relativ kort varighed (1-4 uger) og forekommer ikke på samme tidspunkt i de forskellige dele af farvandene eller fra år til år. Dets størrelse er derfor meget vanskelig at bestemme uden intensive målinger i den aktuelle periode, og der er ingen reelle målinger af forårsmaksimets størrelse i de forskellige år undtagen i Kiel Bugt i 1980 (Peinert et al., 1982) og i Arkona Bækkenet i 1981 (Schulz et al., 1983). En forøgelse af mængden af tilgængelige kvælstofnæringssalte for forårsmaksimet synes ikke at forhøje produktionen pr. dag væsentligt, men forlænger i stedet maksimets varighed.

I figur 7-4 a-d er fytoplanktonets gennemsnitlige produktion i månederne april-juni i forskellige områder af de åbne indre farvande vist for perioden 1953-82. Der er ingen målinger fra april-juni 1981.

Den fundne gennemsnitlige produktion for månederne april-juni varierer generelt betydeligt på den enkelte station fra år til år afhængigt af, om forårsmaksimet var overstået ved en eventuel måling i april, eller overfladelaget havde fået tilført væsentlige mængder næringssalte ved opblanding forud for måletidspunktet. Kun i Øresund (figur 7-4b) samt i Aalborg Bugt (station 9) og Store Bælt (station 39)(figur 7-4a) dokumenterer målingerne en generel stigning i løbet af den viste periode.

Efter forårsmaksimet finder størstedelen af fytoplanktonets produktion generelt sted i månederne juli-september. I figur 7-5 a-d er den gennemsnitlige fytoplanktonproduktion i disse måneder i forskellige områder af de åbne indre farvande vist for perioden 1953-82.

I Kattegat og Store Bælt (figur 7-5a) ses en stigende sommerproduktion i slutningen af 1960'erne. Der er desværre ingen målinger fra begyndelsen af 1970'erne. I 1975-77 fandtes en relativt lav sommerproduktion. Derefter stiger denne, undtagen ved Anholt Nord (station 13), og kulminerer i Store Bælt allerede i 1979, mens den i Kattegat var højest i 1981, dog var sommerproduktionen på station 21, Kullen, højest i 1982.

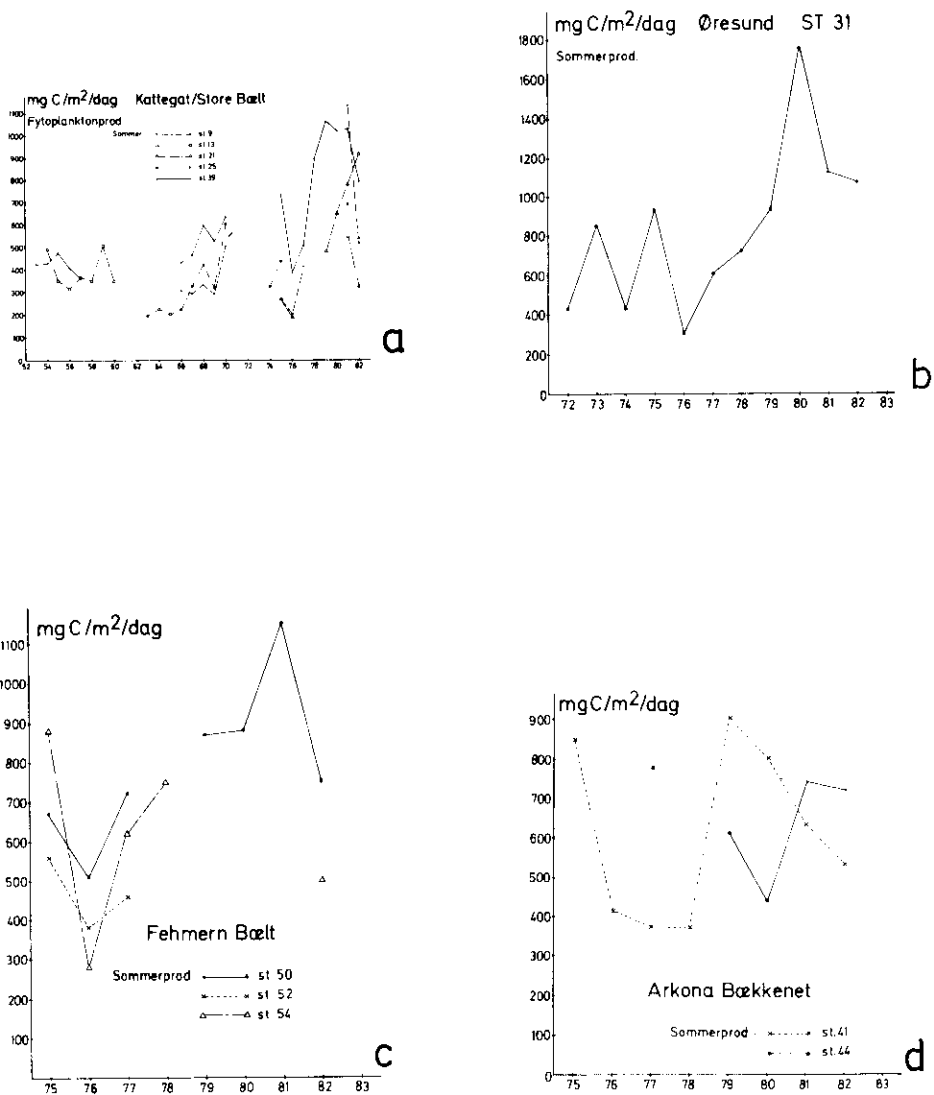


Fig. 7-5

Gennemsnitlig fytoplankton dagsproduktion i juli-september i Kattegat-Store Bælt (a), Øresund (b), Femer Bælt-området (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1953-82.

I Øresund var fytoplanktonets sommerproduktion relativt høj i 1980-82 med den højeste værdi i 1980 (figur 7-5b). I Femer Bælt-områdets vestlige del (station 50) var sommerproduktionen relativt høj i 1979-82 med den højeste værdi i juli 1981 (figur 7-5c).

I Arkona Bækkenet varierede fytoplanktonets sommerproduktion betydeligt fra år til år. På den kystnære station 41 fandtes de højeste værdier i 1975 og 1979-81. På station 44 i den åbne del af Arkona Bækkenet fandtes de højeste værdier i 1977 og 1981-82 (figur 7-5d).

7.1.4 Diskussion

Selvom der ikke findes reelle målinger af størrelsen af forårsmaksimet i fytoplanktons produktion i de forskellige år, må dette være steget parallelt med stigningen i mængden af tilgængelige kvælstofnæringssalte fra 1976 til 1981-82 i Kattegat, Bælthavet og Øresund. I 1975-77 begrænsedes størrelsen af forårsmaksimet generelt af manglen på kvælstof. Det samme har i hele perioden 1975-83 været tilfældet i Øresund og Arkona Bækkenet. I perioden 1978-81 er det ikke muligt ud fra N/P-forholdet at afgøre, hvilket af næringsstofferne, kvælstof eller fosfor, der var mest mangel på i Kattegat og Bælthavet. Alligevel opbrugte forårsmaksimet de tilgængelige næringssalte i overfladelaget. Dette kan kun være sket gennem en større produktion af organisk stof. Forårsmaksimet synes da også i de senere år at strække sig over en længere periode end tidligere.

Forårsmaksimet græsses kun i meget ringe grad i overfladelaget, men sedimenterer til bundlaget, efterhånden som algerne dør og konsumeres af bunddyrene eller forrådner under iltforbrug i løbet af foråret og sommeren (Peinert et al., 1982, Schultz et al., 1983).

Forårsmaksimet udgør en væsentlig del af fytoplanktonets årsproduktion. I områder med kraftig lagdeling og ringe blanding mellem vandlagene kan

forårsmaksimet sandsynligvis udgøre op imod halvdelen af årsproduktionen. Med aftagende lagdeling og stigende blanding stiger sommerproduktionens størrelse i forhold til forårsmaksimets. Dette udgør dog under alle omstændigheder en væsentlig del af den årlige tilførsel af organisk stof til bundlaget og må i 1981 have været usædvanligt stor.

Efter forårsmaksimet omsættes en væsentlig del af fytoplanktonproduktionen gennem det græssende zooplankton, og det organiske stof tilføres i højere grad bundlaget i form af fækalie piller fra zooplanktonet.

Græsningen er muligvis - sammen med næringssaltmangel og den langsomme nedbrydning og omsætning af organisk stof på grund af relativt lav temperatur - medvirkende til den relativt lave fytoplanktonproduktion, der oftest findes i de første måneder efter forårsmaksimet.

Ud fra bestemmelser af N/P-forholdet i bundvandet er det ikke muligt at afgøre, hvilket næringsstof der, efter at forårsmaksimet har opbrugt næringssaltene i overfladelaget, har været mest mangel på i månederne april-juni i årene 1978-81 i Femer Bælt-området og i årene 1978-83 i Store Bælt-området, mens der især i det østlige Kattegat er tendens til mangel på kvælstof frem til og med 1981, ligesom i Øresund og Arkona Bækkenet i alle årene 1975-83 (jfr. kapitel 6).

Afbildes den gennemsnitlige fytoplanktonproduktion i april-juni som funktion af den gennemsnitlige koncentration af kvælstofnæringssalte i bundvandet i de samme måneder (fig. 7-6 a-b), ses for Kattegats (st. 13, 21 og 25) og Øresunds (st. 31) vedkommende en generel stigende fytoplanktonproduktion ved stigende koncentration af kvælstofnæringssalte i bundvandet. Samme tendens ses også i Store Bælt (st. 39), men her er co-variationen betydeligt svagere. I 1978 fandtes usædvanligt høje produktionsrater i Øresund og Store Bælt i henholdsvis april og juni. Derfor er 1978 ikke medtaget i beregningerne af regressionslinierne for station 31 og 39 i figur 7-6 a-b. Udelades de nævnte høje produktionsrater ved beregningen af den gennemsnitlige produktion for perioden april-juni 1978, bliver denne af normal størrelse og passer med de fundne co-variationer.

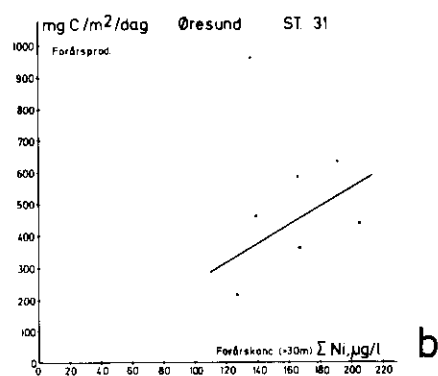
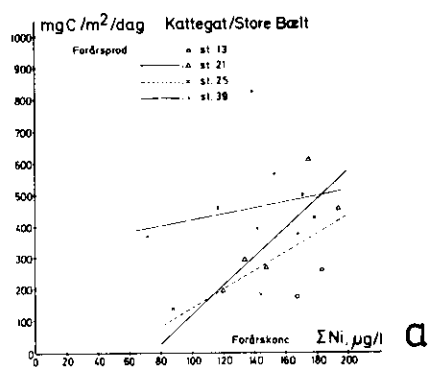


Fig. 7-6

Gennemsnitlig fytoplankton dagsproduktion i april-juni som funktion af den gennemsnitlige koncentration af kvælstof-næringssalte i bundlaget i samme måneder i Kattegat-Store Bælt (a) og Øresund (b) i perioden 1975-82. Regressionslinier for de enkelte stationer er indtegnet.

Den største del af fytoplanktonets produktion i sommerperioden finder generelt sted i månederne juli-september. Vurderet alene ud fra bestemmelser af N/P-forholdet i bundvandet er fytoplanktonets produktion i disse måneder generelt begrænset af mangel på kvælstofnæringssalte i alle de åbne indre farvande i perioden 1975-82, måske med undtagelse af 1981, hvor mangel på fosfat kan have været begrænsende i Kattegat.

I figur 7-7 a-d er den gennemsnitlige fytoplanktonproduktion i juli-september vist som funktion af den tilsvarende gennemsnitlige koncentration af kvælstofnæringssalte i bundvandet i perioden 1975-82 for forskellige områder af de åbne indre farvande. Regressionslinier for de enkelte stationer er indtegnet. I juli 1980 målttes en usædvanlig høj produktionsrate i Øresund ($3,9 \text{ g C/m}^2/\text{dag}$). Året 1980 er derfor ikke medtaget ved beregningen af regressionslinien i figur 7-7c.

I Kattegat, Øresund og Bælthavet ses i modsætning til Arkona Bækkenet en kraftig co-variation, hvor fytoplanktonproduktionen stiger med stigende koncentration af kvælstofnæringssalte i bundvandet.

Den stigende fytoplanktonproduktion pr. enhed af kvælstofnæringssalte i bundvandet og den generelt stigende hældning på regressionslinierne i figur 7-7 a-b fra station 13 i det åbne østlige Kattegat over station 25 i det syd-vestlige Kattegat til station 39 i det centrale Store Bælt og stationerne 50 og 54 i Femer Bælt-området er udtryk for en tilsvarende stigende blandingsintensitet mellem overfladevand og bundvand.

På grund af den ringe blanding øst for Anholt (Anholt Nord fyrskib, station 13) er fytoplanktonets sommerproduktion her relativt svagt påvirket af koncentrationen af kvælstofnæringssalte i bundlaget, og produktionen har her i modsætning til på de øvrige Kattegatstationer holdt sig inden for samme størrelsesområde i hele perioden 1954-82 (figur 7-3, 7-4a og 7-5a).

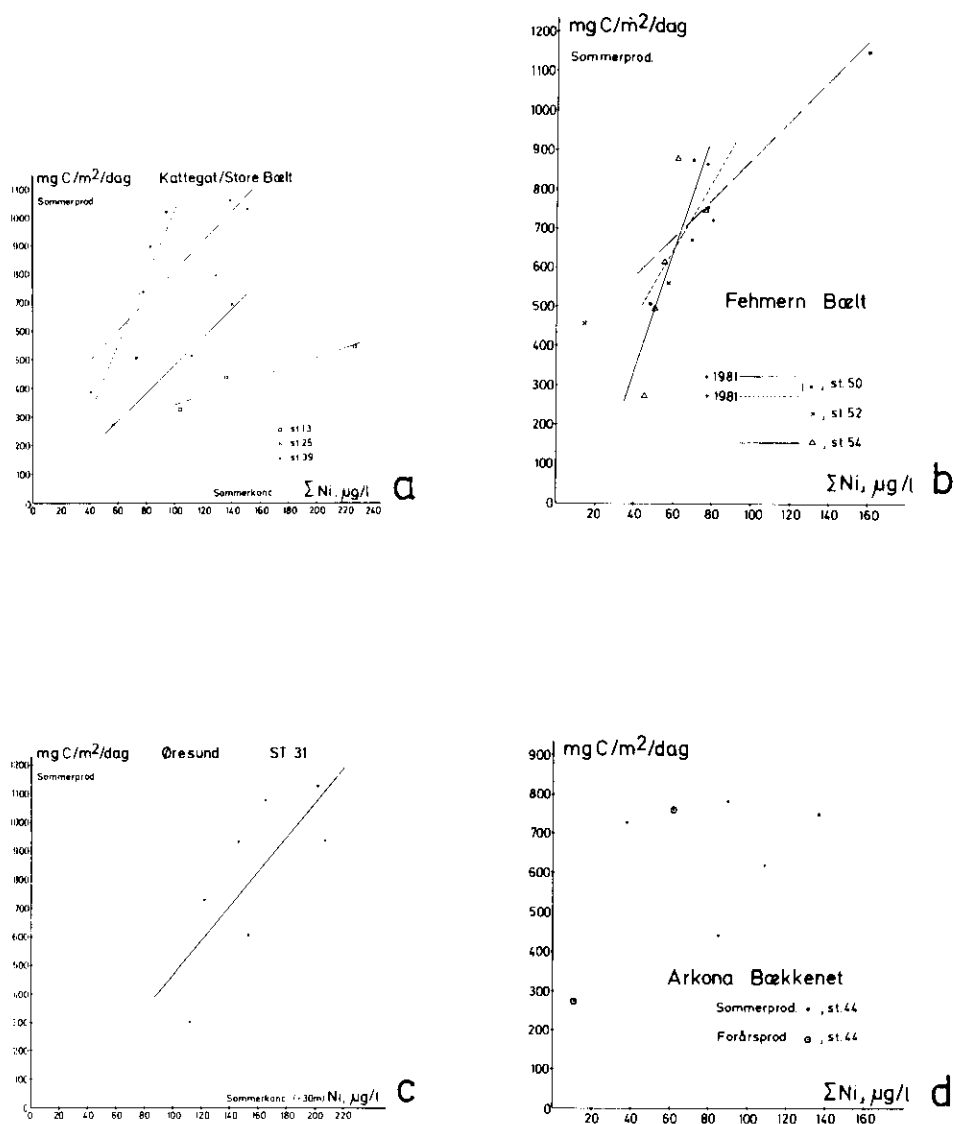


Fig. 7-7

Gennemsnitlig fytoplankton dagsproduktion i juli-september som funktion af den gennemsnitlige koncentration af kvælstof-næringssalte i bundlaget i samme måneder i Kattegat-Store Bælt (a), Femer Bælt-området (b), Øresund (c) og Arkona Bækkenet (d) i perioden 1975-82. Regressionslinier for de enkelte stationer er indtegnet.

I Store Bælt synes fytoplanktonets sommerproduktion (juli-september) ikke at stige yderligere ved koncentrationer af kvælstofnæringssalte i bundvandet på over $100 \mu\text{g N/l}$. Udelades år med over $100 \mu\text{g N/l}$ i bundvandet i gennemsnit for månederne juli-september på station 39, fås den stiplede regressionslinie i figur 7-7a. Hældningen på denne regressionslinie er i overensstemmelse med hældningen på de tilsvarende regressionslinier for Femer Bæltområdet (figur 7-7b) og med den intensive blanding mellem vandlagene i Bælt-havet.

Dette tyder på, at fytoplanktonets produktion i Store Bælt i de senere år (1979-82) ikke mere i væsentlig grad er begrænset af mangel på kvælstofnæringssalte men af andre faktorer. Det eventuelt overskydende kvælstof i Store Bælt vil da med den generelt nordgående overfladestrøm føres til og omsættes i Kattegat.

Græsningen frigiver næringssalte, især kvælstof, i overfladelaget, der også med nedbøren tilføres relativt mere kvælstof end fosfor (s. 79).

Alligevel viser figur 7-6 og 7-7, at det er koncentrationen af kvælstofnæringssalte i det bundvand, der tilføres overfladelaget, der betinger størrelsen af fytoplanktonets sommerproduktion og dermed hvor meget, der kan omsættes gennem græsning i overfladelaget.

Tilførsel af kvælstofnæringssalte til overfladelaget via blågrønalgers fiksering af frit kvælstof anses generelt for at være uden væsentlig betydning i de åbne danske farvande med undtagelse af Arkona Bækkenet.

I Arkona Bækkenet er der ikke konstateret nogen generel udvikling i koncentrationen af næringssalte eller fytoplanktonets produktion i perioden 1975-82. Der er ud over perioden april-juni heller ikke konstateret en co-variation mellem fytoplanktonets sommerproduktion (juli-september) og den tilsvarende koncentration af kvælstofnæringssalte i bundvandet, selv om Arkona Bækkenet bedømt ud fra bestemmelser af N/P-forholdet er et udpræget kvælstofbegrænset område. Dette kan skyldes, at springlaget i Arkona Bækkenet er svagt og oftest ligger i mere end 35 m dybde tæt ved bunden, hvilket medfører, at der er en mindre men mere konstant udveksling

mellem overfladelag og bundlag. Desuden domineres fytoplanktonets sommerpopulation af blågrønalger, der er i stand til at udnytte frit kvælstof.

7.1.5 Konklusion

Den usædvanligt høje koncentration i 1981 af kvælstofnæringssalte, både i overfladelaget ved produktionsperiodens start og i bundvandet i hele produktionsperioden, i de åbne indre farvande med undtagelse af Arkona Bækkenet har medført en usædvanlig høj fytoplanktonproduktion i hele produktionsperioden, selv om lagdelingen i sommeren 1981 muligvis var kraftigere end normalt (se s. 116).

Frem til september adskilte sommeren 1981 sig imidlertid ikke væsentligt fra normalen med hensyn til vindaktivitet.

Dette har medført en usædvanlig stor tilførsel af organisk stof til bundlaget og dermed et større iltforbrug end normalt.

I september 1981 er tilførslen af ilt til bundvandet nedsat på grund af meget lav vindaktivitet og kraftigere lagdeling end normalt. Derfor falder iltindholdet i bundvandet til meget lave værdier eller nul.

På grund af indstrømningen af bundvand med høj saltholdighed gennem Store Bælt til den vestlige Østersø og det sydlige Lille Bælt-område i maj-juni 1981 uden nogen efterfølgende fornyelse af dette vand frem til slutningen af september bliver iltmanglen her ekstra udtalt (se s. 147).

I farvandene nord for Fyn og nord for Djursland viser satellitbilledet (s. 118) fra 9. juli 1981 opblanding af bundvand til overfladen. Dette kan have medført en større fytoplanktonproduktion og dermed efterfølgende et større iltforbrug i disse områder. I overensstemmelse hermed fandtes en meget stor fytoplanktonbiomasse og -produktion i Aalborg Bugt (station 9) den 14. juli 1981 (figur 7-1a, 7-2a og 7-5a).

Stigningen i kvælstofkoncentrationen fra 1976 til 1981 er i kapitel 4 relateret til en tilsvarende stigning i vandafstrømningen fra land. Vandafstrømningen var ekstremt høj i vinteren 1980/81 (s. 89), men vandafstrømningen har f.eks. inden for de sidste 30 år også været betydeligt over normalen i 1954, 1958, 1962, 1966-67 og 1974 (se s. 108).

Hvis forholdet mellem afstrømning og diffus kvælstofbelastning før 1975 var det samme som fundet for perioden 1975-81 (jfr. kapitel 4), burde den relativt store afstrømning i de ovenfor nævnte år give sig udslag i en højere fytoplanktonproduktion i samme eller efterfølgende år, afhængigt af om størstedelen af en årsafstrømning har fundet sted om vinteren eller det følgende efterår i det pågældende år.

Variationen i afstrømningen omkring midten af 1950'erne (s. 108) synes ikke at have influeret væsentligt på fytoplanktonets produktion i Store Bælt (figur 7-3, 7-4a og 7-5a), og variationerne ved Anholt Nord fyrskib må sandsynligvis hovedsageligt tilskrives varierende opblandingsforhold fra år til år.

De store afstrømninger i 1966, 1967 og 1970 synes at have haft indflydelse på fytoplanktonproduktionens størrelse. Således var produktionen i april-maj høj i 1968 i Store Bælt og relativt høj ved Anholt Nord fyrskib, hvor den dog var endnu højere i 1969 (figur 7-4a). I juli-september var produktionen ligeledes høj både i 1968 og 1970 (figur 7-5a). De beregnede årsproduktioner var i Store Bælt relativt høje i 1967-70, højest i 1968 og 1970, og samme tendens ses ved Anholt Nord fyrskib (figur 7-3).

Den sandsynlige indflydelse af afstrømningen på fytoplanktonets produktion i de åbne farvande i slutningen af 1960'erne er dog væsentlig mindre end i 1978-82 i Store Bælt og i 1980-82 i Øresund og Kattegat (figur 7-3, 7-4 og 7-5).

Det er således sandsynligt, at den diffuse kvælstofbelastning pr. m³ vand-afstrømning fra land er steget en del fra midten af 1950'erne til slutningen af 1960'erne og endnu mere herfra og frem til slutningen af 1970'erne.

7.2 NÆRINGSSALTBELASTNING, FYTOPLANKTON OG ILTSVIND I KYSTVANDENE

I forbindelse med miljøstyrelsens **Bæltprojekt** blev der foretaget en vurdering af eutrofieringsniveauet i en række danske fjordsystemer og kystvande. Denne vurdering, blev foretaget ved registrering af målte værdier for total-kvælstof og total-fosfor, ligesom de foreliggende målinger af algeprimærproduktion blev samlet. Næringssaltmålingerne er samlet fra en række undersøgelser gennemført hovedsageligt i løbet af det forløbne årti. Middelkoncentrationen af total-kvælstof og total-fosfor i overfladevandlag (0-10 m) i kystvandene er sammenholdt med de tilsvarende målinger foretaget i de åbne farvande som led i Bæltprojektet (fig. 7-8).

Mens disse middelkoncentrationer ligger på et nogenlunde ensartet niveau i de åbne farvande - Kattegat, bælterne og Østersøen - ses det, at værdierne i en række kystvande er stærkt forhøjet i forhold til, hvad der findes i de åbne farvande. En nøjere gennemgang af søjlediagrammerne på figuren viser, at åbne bugter og fjorde med et godt vandskifte har værdier, der ikke afviger stærkt fra forholdene i de åbne farvande. Dette gælder f.eks. Køge Bugt, Kalundborg Fjord, Århus Bugt. I mere lukkede bugter og fjorde er værdierne til gengæld uden undtagelse stærkt forhøjet i forhold til de åbne farvande. Fjorde med et meget stort afstrømningsareal i forhold til vandskiftet har fortrinsvis høje kvælstofbelastninger. Det gælder f.eks. Randers Fjord og Nakskov Fjord. I lukkede områder med beskedent afstrømningsområde, men med ret kraftig belastning af byspildevand ses fosforkoncentrationen at være særlig forhøjet. Det gælder for eksempel Roskilde Fjord, Haderslev Fjord og Flensborg Fjord.

Figur 7-9 viser henholdsvis den målte maksimale og minimale planteplanktonproduktion for perioden maj-september 1971-79. Der er angivet værdier for en række fjorde og kystvande sammenholdt med Bæltprojektets målinger fra de åbne vandområder.

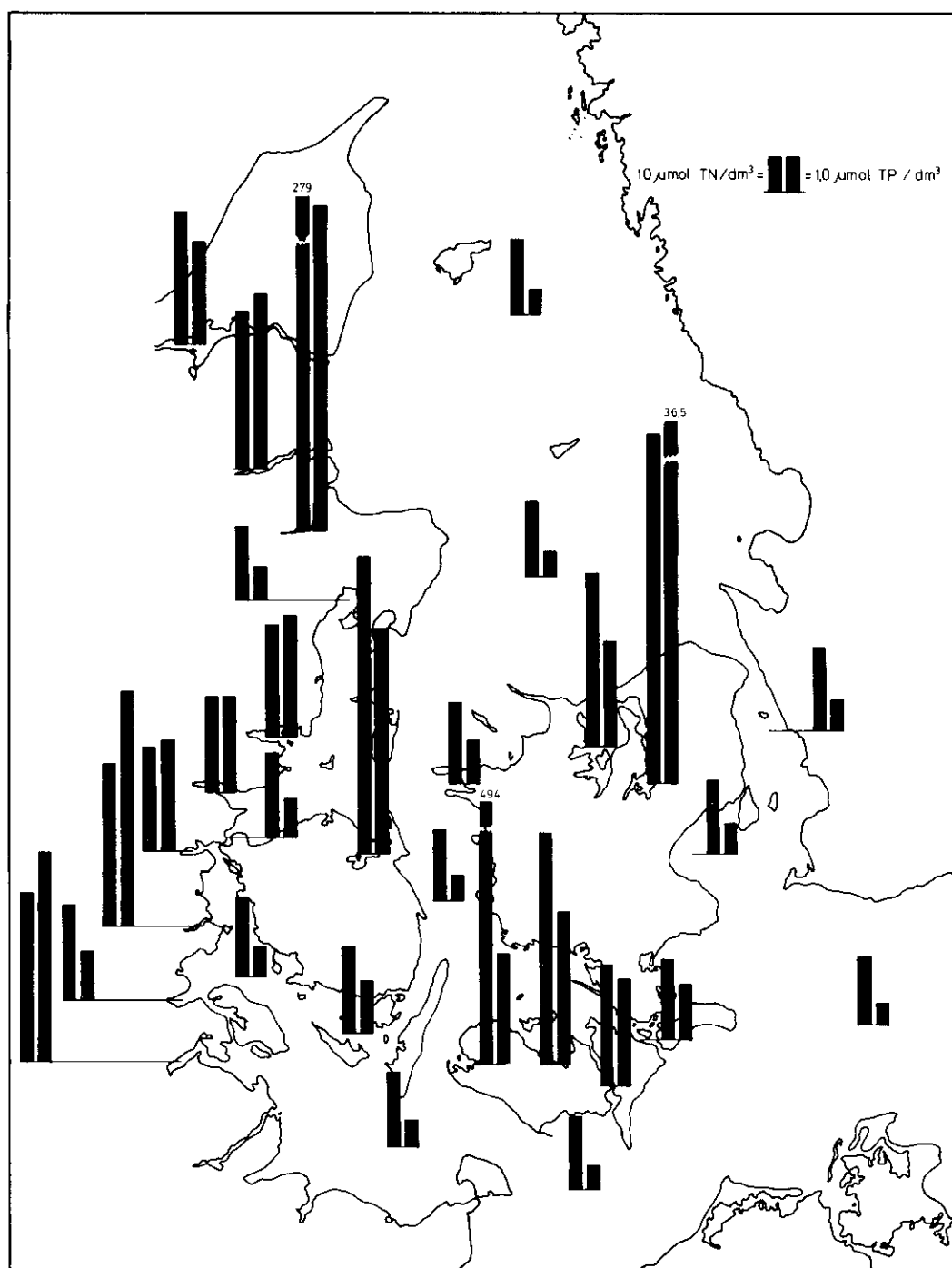


Fig. 7-8

Gennemsnitlig koncentration af total-kvælstof (venstre søjler) og total-fosfor (højre søjler) i overfladelaget (0-10 m) i fjorde, kystnære og åbne områder af de indre danske farvande 1970-78.

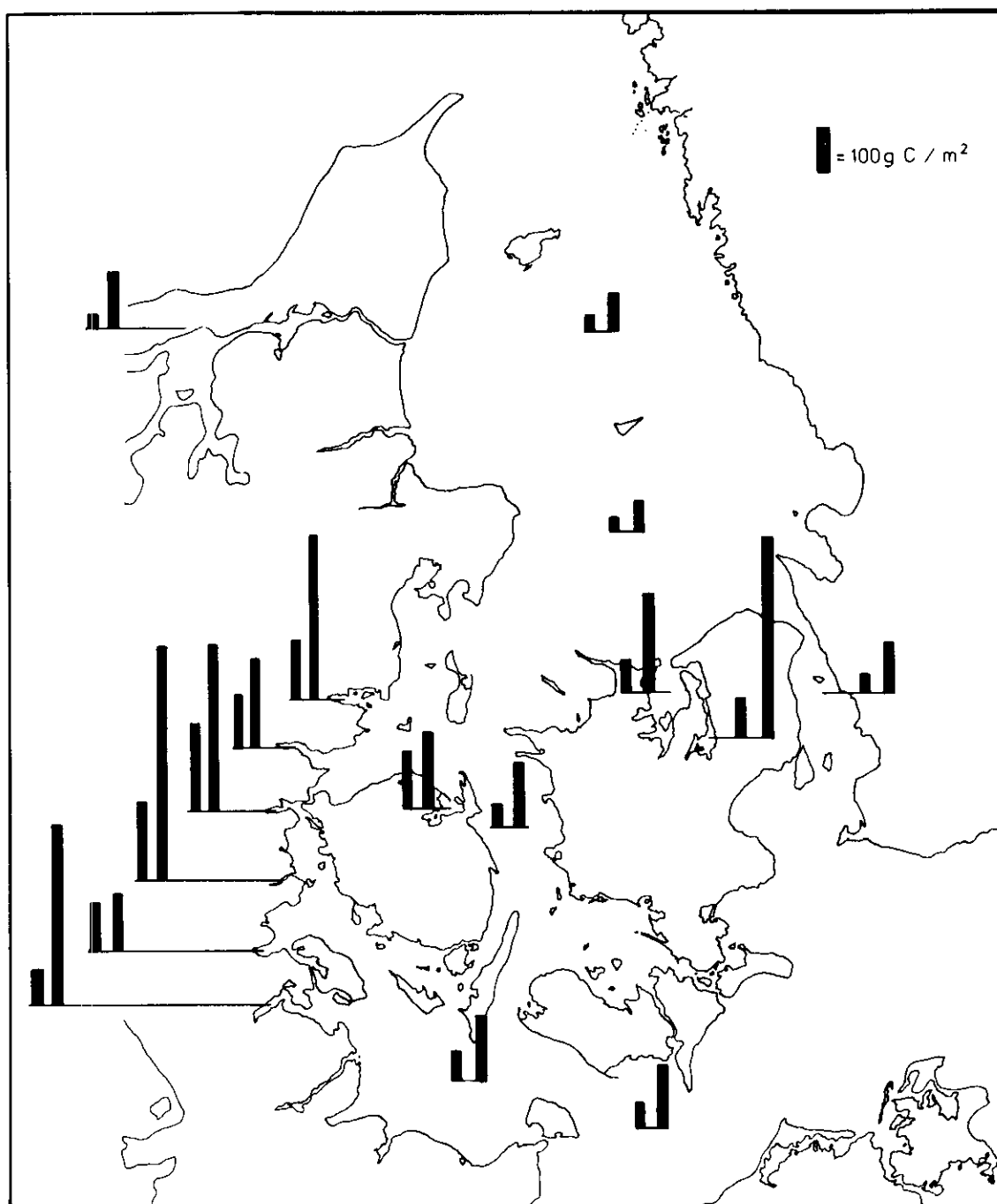


Fig. 7-9

Minimums og maksimums værdier af fytoplanktonproduktionen i løbet af perioden maj-september i forskellige områder af de indre danske farvande i perioden 1971-79.

Også her ser man, at primærproduktionen særligt i de mere lukkede fjordområder er stærkt forhøjet i forhold til produktionen i de åbne farvande.

Recipientundersøgelser gennemført af amtskommunerne igennem de senere år har vist, at der i adskillige fjordområder hersker dårlige iltforhold hovedsagelig i sommer- og eftersommerperioden.

Der er endvidere i en række kystvande konstateret påvirkninger af flora og fauna, som i undersøgelserne vurderes som hidrørende fra eutrofiering forårsaget fra landbaserede kilder. Sådanne påvirkninger menes konstateret ikke blot i de områder, der på figur 7-8 ses at have høje næringssaltkoncentrationer, men også f.eks. i de mere kystnære dele af Århus Bugt, der som helhed ikke er særligt kraftigt belastet i forhold til de åbne farvande.

I forbindelse med den igangværende recipientkvalitetsplanlægning er man i amtskommunerne og hovedstadsrådet i gang med at bedømme, hvordan man kan imødegå den her beskrevne udvikling. I adskillige af de indtil nu foreliggende udkast til recipientkvalitetsplaner for kystvande peges der på nødvendigheden af at gribe ind over for udledningen af næringssalte.

I store træk gælder det, at der i kystvande, der er særligt belastet med fosforrigt byspildevand hersker en situation, hvor kvælstof er den begrænsende faktor for produktionen, således at algeproduktionen kan nedbringes hurtigst ved begrænsning af kvælstoftilførslen. Omvendt er det i kystvande med en beskeden tilførsel af byspildevand og relativt store afstrømningsområder fra land. Her er der en stor tilførsel af kvælstofnæringssalte, hvorved fosfor bliver den begrænsende faktor for produktionen i en del eller hele den produktive periode af året. Her vil man ofte forvente, at en begrænsning af fosforudledningen vil føre til en forbedring af forholdene.

Man står derfor over for det paradoks, at man i vandområder, der er særligt belastet med fosfor, forventer en hurtig forbedring ved at begrænse udledningen af kvælstof, mens man i vandområder, der er særligt belastet med kvælstof, peger på, at begrænsningen af udledning af fosfor vil give det bedste resultat. Dette er imidlertid en forenklet beskrivelse af forholdene. Det vil i alle tilfælde være hensigtsmæssigt at begrænse udledningen af begge næringsalte.

Referencer:

- Alderice, D.F. et al. 1958. Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on pacific salmon eggs. J. Fish. Res. Board Can. 15:229-249.
- Arntz, W.E. 1981. Zonation and dynamics of macrobenthos biomass in an area stressed by oxygen deficiency. In: Barrett, G.W. & R. Rosenberg (eds). Stress effects on natural ecosystems pp 215-225. John Wiley & Sons Ltd.
- Bagge, O. 1970. The reaction of plaice to transplantation and taggings. Medd. Danm. Fisk. Havunders. N.S. 6(5):149-332.
- Bayne, B.L. et al. 1979. Measurement of the responses of individuals to environmental stress and pollution. Phil. Trans. R. Soc., Ser. B. 286:563-581.
- Beadle, L.C. 1961. Adaptations of some aquatic animals to low oxygen levels and to anaerobic conditions. Symp. Soc. exp. Biol., 15:121-131.
- Billen, G., M. Somville 1982. Utilization of primary products by planktonic and benthic bacteria. ICES, CM 1982/L:35 pp. 91-117.
- Blackburn, T.H., K. Henriksen 1983. Nitrogen cycling in different types of sediments from Danish waters. Limnol. Oceanogr. 28(3):477-493.
- Boesch, D.F., R. Rosenberg 1981. Response to stress in marine benthic communities. In: Barrett, G.W. & R. Rosenberg (eds). Stress effects on natural ecosystems pp 179-201. John Wiley & Sons Ltd., London.
- Braefield, A.E. 1963. The effects of oxygen deficiency on the behaviour of Macoma balthica (L). Anim. Behav. 11:345-346.
- Braum, E. 1973. Einflüsse Chronischen exogenen Sauerstoff-mangels auf die Embryogenese des Herring. Netherl. J. Sea Res. 7:363-375.
- Cook, R.H., C.M. Boyd 1965. The avoidance of Gammarus oceanicus Segersstråle (Amphipoda, Crustacea) of anoxic regions. Can. J. Zool. 43:971-975.

- Det Danske Hedeselskab 1982. Tilstrømning til indre danske farvande 1975-81. Det Danske Hedeselskab, Hydrometriske Undersøgelser, Slagelse 1982. pp. 35.
- Det Danske Hedeselskab 1983. Tilstrømning til de indre danske farvande dec. 1974, jan., feb. og dec. 1982, jan. og feb. 1983. Det Danske Hedeselskab, Hydrometriske Undersøgelser. Upubliceret.
- Doudoroff, P., C. Warren 1965. Dissolved oxygen requirements of fishes. In: Trazwell, C.M. (ed). Biological problems in water pollution pp. 145-155. U.S. Public Health Serv.
- Dries, R.-R., H. Theede 1974. Sauerstoffmangelresistenz mariner Bodenevertebraten aus der westlichen Ostsee. Mar. Biol. 25:327-333.
- Edler, L. 1977. Phytoplankton and primary production in the Sound. Dissertation, University of Gothenburg, Sweden, pp. 1982.
- Edler, L. 1981. Massutveckling av dinoflagellater, problemer aktualiserade av händelser i Laholmsbukten 1980. Svenska Havsforsknings Foreningen nr. 1: 3-10.
- EEC 1979. Report on the Exchange of Information on the Quality of Surface Fresh Water in the Community - 1976, (VOL. 3: Danmark).
- Eliassen, A. et al. 1982. A Lagrangian long-range transport model with atmospheric boundary layer chemistry. J. Applied Meteor., 21:1645-1661.
- Engvall, A.-G. 1978, b. Ammonium flux from an anoxic Baltic sediment. (MS). Contributions in Microbial Geochemistry no 2:41-64. Univ. Stockholm.
- Engvall, A.-G. 1978, c. Interrelationships and distribution of organic matter and nitrogen in Baltic sediments (MS). Contributions in Microbial Geochemistry, no 2:65-84. Univ. Stockholm.
- Erhardt, M., A. Wenck 1982. Wind pattern and hydrogen sulphide in shallow Waters of the Western Baltic Sea, a cause effect relationship? Baltiske Oceanografer 13. Konferens, Helsinki 1982. pp. 221-234.
- European monitoring and evaluation programme. Datarapporter fra Norsk institutt for luftforskning, 1977-1981. Station: 001 Westerland, Sylt.

- EØF 1981. Sammenfattende rapport om den fælles procedure for udveksling af oplysninger vedrørende kvaliteten af fersk overfladevand i Fællesskabet - 1977, (VOL. 3: Danmark).
- EØF 1982 a. Tredie sammenfattende rapport om fælles procedure for udveksling af oplysninger vedrørende kvaliteten af fersk overfladevand i Fællesskabet (77/795-EØF). Årene 1978 og 1979, (VOL. 2: Danmark).
- EØF 1982 b. Fjerde sammenfattende rapport om den fælles procedure for udveksling af oplysninger vedrørende kvaliteten af fersk overfladevand i Fællesskabet (77/795-EØF). 1980, (VOL. 2: Danmark).
- Falkowski, P.G., et al. 1980. An analysis of factors affecting oxygen depletion in the New York Bight. J. Mar. Res. 38:479-506.
- Fleischer, S. et al. 1982. Transport av kväve och fosfor til Laholmsbukten. Vatten, nr. 38, Lund 1982.
- Friligos, N. 1983. Preliminary observations on nutrient cycling and a stoichiometric model for Elefsis Bay, Greece. Marine Environ. Res. 8:197-213.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Hoar, W.S. & D.J. Randall Fish Physiology Vol. VI Environmental Relations and Behaviour pp 1-99. Academic Press. New York and London.
- Fyns amtskommune 1982. Notat af den 15. januar 1982 vedrørende fiskedød i de kystnære havområder omkring Fyn, i september-oktober 1981. 11 pp.
- Gamble, J.C. 1970. Effect of low dissolved oxygen concentrations on the ventilation rhythm of three tubicolous crustaceans, with special reference to the phenomenon of intermittent ventilation. Mar. Biol. 6:121-127.
- Gravenhorst, G. & A. Böttger 1982. Field measurements of NO and NO₂-fluxes to and from the ground. Acid deposition, proceedings of the CEC workshop Berlin, 9. september, p. 178-193.
- Grenfeldt, P. & Å. Sjøden 1982. Kväveoxider i bakgrundsluft i Sverige. Kol, Hälsa, Miljö, nr. 46.
- Hansen, Vagn, et al. 1969. De døde fisk og planteplanktonet i Nordsøen i 1968. Skrifter fra Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser nr. 29:36-53.

- Hallberg, R.O. et al. 1976. Dynamics of phosphorus, sulphur and nitrogen at the sediment-water interface. *Environmental Biogeochemistry* vol 1. pp 295-308 Ann Arbor Science.
- Harper, R.E. et al. 1981. The occurrence of hypoxic water off the upper Texas coast and its effects on the benthic biota. Contr. mar. Sci. Univ. Tex., 24:53-79.
- Hermann, F., V. Olsen 1976. Bæltprojektets kemiske undersøgelser. Miljøstyrelsens Bæltprojekt.
- Holm, N.G. 1978, b. The pool of mobile phosphorus in the Baltic Sediments (MS). Contributions in Microbial Geochemistry, no 3:29-77. Univ. Stockholm.
- Holm, N.G. 1978, c. Rates of phosphate release in exchange processes between sediments and bottom water. Contributions in Microbial Geochemistry, no 3:79-110. Univ. Stockholm.
- ICES. *Annales Biologiques* for 1981 (38). Påregnes at udkomme i 1984. Oplysninger er citeret efter aftale med ICES.
- IHD 1971. Hydrological data - Norden, IHD stations. Basic data 1965-1969. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.
- IHD 1973. Hydrological data - Norden, IHD stations. Basic data 1970-1971. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.
- IHD 1977. Hydrological data - Norden, IHD stations. Basic data 1972-1974. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.
- Jacobsen, T. The oxygen balance in the Kattegat deep water. *Baltiske Oceanografer* 13. konference, Helsinki 1982. pp. 329-341.
- Jørgensen, B.B. 1975. Sedimentets svovlkredsløb og iltbalance i Limfjordens østlige Bredninger. Limfjordskomiteen. pp. 84.
- Jørgensen, B.B. 1980. Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish Fjord and its effect on the benthic community. Oikos 34:68-76.

- Jørgensen, V. 1979. Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. 1434. Beretning fra Statens Planteavlsforsøg, 633-656.
- Kemp, T. & A. Nielsen 1967. Statistik for medicinere. pp 154, Munksgaard.
- Kristiansen, Jørgen, 1974. Rødfarvning af Horn Sø ved Lemvig forårsaget af dinoflagellaten Oxyrrhis marina. Flora og Fauna 80:65-69.
- Landbrugsministeriet 1982. Redegørelse vedrørende "arealtypefordelinger for hovedoplande samt kvælstofbidrag til vandløb fra landbrugsarealer og skov". Landbrugsministeriet, Arealdatakontoret Vejle, juli 1982. pp. 47.
- Leppäkoski, E. 1969. Transitory return of the benthic fauna of the Bornholm Bassin after extermination by oxygen insufficiency. Cah. Biol. Mar. 10: 163-172.
- Leppäkoski, E. 1971. Benthic recolonization of the Bornholm Bassin (Southern Baltic) in 1969-1971. Thal. Jugosl. 7:171-179.
- May, E.B. 1973. Extensive oxygen depletion in Mobile Bay, Alabama. Limnol. Oceanogr. 18:353-366.
- Meteorologisk Institut: Oceanografiske observationer fra danske fyrskibe og kyststationer, årbøger 1962-1976.
- Meteorologisk Institut: "Ugeberetning om nedbør m.m." for 1981.
- Miljøstyrelsen 1979. Undersøgelser vedrørende forekomsten af blågrønalgen Nodularia spumigena i sommeren 1977. Samlerapport. Miljøprojekter 18: 1-73.
- Miljøstyrelsen 1980. Analyse af spildevandsplaner. Miljøprojekter 24. Udført af COWIconsult A/S, 1980.
- Miljøstyrelsen 1983. Opgørelsen af belastningen fra land af de indre danske farvande med organisk stof, total-N og total-P. Udarbejdet for miljøstyrelsen af Vandkvalitetsinstituttet, ATV, (VKI), februar 1983.
- Mills, E.L. 1971. Views of the community concept, with comments on continua and the role of instability in some marine benthic communities. Vie Milieu Suppl. 22:145-153.

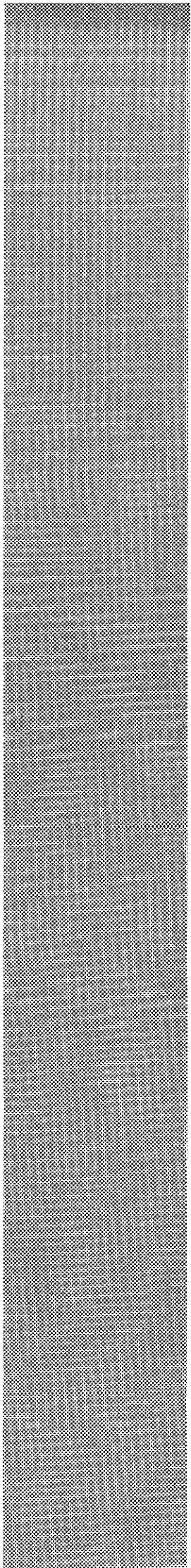
- Muus, B. 1967. The fauna of danish estuaries and lagoons. Distribution and ecology of dominating species in the shallow reaches of the mesohaline zone. Medd. Danm. Fisk. Havunders. N.S. 5(1):1-316.
- Muus, B., P. Dahlstrøm 1968. Havfisk og fiskeri. pp. 244. G.E.C. Gads Forlag.
- Nehring, D. 1979. Relationships between salinity and increasing nutrient concentration in the mixed winter surface layer of the Baltic from 1969 to 1978. ICES paper C.M. 1979/C:24.
- Nehring, D. 1982. Relationen der Phosphor- und Stickstoffverbindungen untereinander und zu anderen chemischen Grössen der Ostsee. Beiträge zur Meereskunde, no. 47:51-60.
- Nehring, D. 1982. Langzeittrends des Phosphat- und Nitratgehalts in der Ostsee. Beiträge zur Meereskunde, no. 47:61-86.
- Nehring, D. 1982. Nährstoffbilanzen der Ostsee. Beiträge zur Meereskunde, no. 47:87-93.
- NOAA satellitbillede af overfladetemperaturer i Kattegat, fra T. Rye Nielsen, Rude Skov Observatoriet.
- Odén, S. 1976. The Acidity Problem - An Outline of Concepts. Water, Air and Soil Pollution 6:137-166.
- Oertzen, J.A., G. Schlungbaum 1972. Experimentell-ökologische Untersuchungen über O₂-mangel und H₂S-resistenz an marinen Evertebraten der westlichen Ostsee. Beitr. Meereskunde 29:79-91.
- Olrik, Kirsten og Jytte Heslop Christensen, 1983. Giftige alger. Et miljø- og sundhedsproblem i kystnære områder og søer? Stads- og Havneingeniøren nr. 2:32-35.
- Parker, M. 1982. Expetional marine blooms and their significance for fisheries. ICES C.M. 1982/L:43.
- Pearson, T.H., R. Rosenberg 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16:229-311.

- Pearson, T.H. 1981. Stress and catastrophe in marine benthic ecosystems. In: Barrett, G.W., R. Rosenberg (eds). Stress effects on natural ecosystems pp. 201-215. John Wiley & Sons Ltd. London.
- Pedersen, S.M. 1983, a. Phytoplankton in open Danish waters. Rep. Mar. Pollut. Lab., 5, pp 98.
- Pedersen, S.M. 1983, b. Udbredelsen af Prorocentrum minimum i danske farvande i august 1983. Marin Id 1983, pp. 7.
- Peinert, R. et al. 1982. Dynamics of primary production and sedimentation in a coastal ecosystem. Neth. J. Sea Res. 16:276-289.
- Poulsen, E.M. 1979. Havbundens fisk. In: Nørrevang, A., J. Lundø (eds). Danmarks Natur bind 3 Havet pp. 220-299. Politikens Forlag.
- Poulsen, E.M. 1979. Fiskene i de frie vandmasser. In: Nørrevang, A., J. Lundø (eds). Danmarks Natur, bind 3 Havet pp. 370-402. Politikens Forlag.
- Paasche, E., S. Kristiansen, 1982. Nitrogen nutrition of the phytoplankton in the Oslofjord. Estuarine, Coastal and Shelf Science 14:237-249.
- Rasmussen, E. 1973. Systematics and ecology of the Isefjord marine fauna (Denmark). Ophelia 11:1-496.
- Rasmussen, L. 1981. Et lavtryk midt i høsten. Vejret 4:21-29.
- Rhoads, D.C. et al. 1978. Disturbance and production on the estuarine seafloor. Am. Scientist, 66:577-586.
- Rosenthal, H., D.F. Alderice 1976. Sublethal effects of environmental stressors, natural and pollutional on marine fish eggs and larvae. J. Fish. Res. Bd. Can., 33:2047-2065.
- Rydberg, L. 1983. Väst kustens hydrografi och närsalttransporten. Trender och klimatberoende i Östersjön och Västerhavet. Göteborgs Universitet, Oceanografiska Institutionen, pp 28.
- Saunders, R.L. 1962. Respiration of the Atlantic cod. J. Fish. Res. Bd. Can., 20:373-386.
- Schulz, S. et al. 1983. Results of ecological investigations during the spring bloom in the Arkona Sea. Ophelia (in press).

- Schytte, Andreas, 1782. Dänemarks und Norwegens natürliche und politische Verfassung. Flensburg und Leipzig.
- Simon, J.L., D.M. Dauer 1977. Re-establishment of a benthic community following natural defaunation. In: Coull, B.C. (ed). Ecology of marine benthos pp 139-154. Belle W. Baruch Library in Marine Science nr. 6. Univ. Press, Columbia, S. Carolina.
- Sindermann, C.J. 1980. The use of pathological effects of pollutants in marine environmental monitoring programs. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. 179:124-134.
- Smetacek, V. 1975. Die Sukzession des Phytoplanktons in der westlichen Kieler Bucht. Kiel University, (thesis), pp 151.
- Steemann Nielsen, E. 1937. The annual amount of organic matter produced by the phytoplankton in the Sound off Helsingør. Meddr. Kommn. Havunders. Ser. Plankton. Bd. III nr. 3, pp 37.
- Steeman Nielsen, E., 1951. The marine vegetation of the Isefjord - a study on ecology and production. Medd. fra Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Planktonserien, V, nr. 4, 114 pp.
- Steemann Nielsen, E., & V. Hansen, 1961. Influence of surface illumination on plankton photosynthesis in Danish Waters (56°) throughout the year. Physiol. Pl. no. 14:595-613.
- Steemann Nielsen, E., 1964. Investigations of the rate of primary production at two Danish light ships in the transition area between the North Sea and the Baltic. Medd. Danm. Fiskeri- og Havunders., N.S. 4(3):31-77.
- Söderlund, R. 1977. NO_x pollutants and ammonia emissions. A mass balance for the atmosphere over NW Europe. AMBIO 6:118-122.
- Sønderjyllands amtskommune 1981. Notat af den 10. december 1981 vedrørende iltsvindsproblemer i de kystnære områder i 1981. pp. 9.
- Sønderjyllands amtskommune 1982. Notat af den 19. juli 1982 vedrørende iltsvindsfænomener og fiskedødshændelser i Kattegat og andre danske farvande i 1981. pp. 4.

- Tangen, K. 1979. Blooms of Gyrodinium aureolum (Dinophyceae) in north European Waters, accompanied by mortality in marine organisms. Sarsia 63:123-133.
- Tangen, Karl, 1983. Giftige alger: forekomst, virkning og tiltak. Foredragsmanuskript fra Danmarks Naturfredningsforenings årsmøde, april 1983, pp. 21.
- Taylor, D.L., H.H. Seliger 1979. Toxic dinoflagellate blooms. Proceedings of the second international conference on toxic dinoflagellate blooms. Developments in marine biology vol 1. 505 pp. Elsevier/North Holland N.Y.
- Theede, H. et al. 1969. Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulphide. Mar. Biol. 2:325-337.
- Thompson, G.B., S.K. Yeung, 1982. Phosphorus and organic carbon in the sediments of a polluted subtropical estuary, and the influence of coastal reclamation. Marine Pollution Bulletin 13(10):354-359.
- Thorson, G. 1979. Infaunaen, den jævne havbunds dyresamfund. In: Nørrevang, A., J. Lundø (eds). Danmarks Natur bind 3 Havet pp. 82-157. Politikens Forlag.
- Thorson, G. 1979. Epifaunaen: dyrelivet på vegetationen, på sten, klipper, skaller, bolværker m.m. In: Nørrevang, A., J. Lundø (eds). Danmarks Natur, bind 3 Havet pp. 167-219. Politikens Forlag.
- Vandkvalitetsinstituttet, ATV, 1979. Atmosfærisk nedfald i området Århus Bugt - Kalø Vig. Rapport til Århus Kommune. December 1979.
- Vejle amtskommune 1981. Notat af den 12. oktober 1981 vedrørende fiskedød i Vejle Fjord den 5. og 6. oktober 1981. pp. 9.
- Viborg amtskommune 1982. Masseforekomster af furealger og ciliater i Limfjorden 1982. 13 pp. Viborg amtsvand og miljøvæsen.
- Vernberg, F.J. 1972. Dissolved Gases. In: Kinne, O. Marine Ecology vol 1, part 3:1451-1527.
- White, A.W. 1982. Toxic dinoflagellate blooms in the Bay of Fundy since 1944. ICES C.M. 1982/L:13, 13 pp.

- Wollast, R. 1981. Interactions between major biogeochemical cycles in marine ecosystems. In: Likens, G.E. (ed). Some perspectives of the major biogeochemical cycles. Proc. SCOPE Workshop, Stockholm June 1979. pp 125-142.
- Wood, G.L. 1975. Først og størst. Dyrenes Rekordbog. pp 190. Politikens Forlag, København.
- Ærtebjerg et al. 1981. Evaluation of the physical, chemical and biological measurements. The Belt Project,
- Øresundskommissionen 1980. Øresund. Tillstånd - effekter av närsalter. pp 252.
- Århus amtskommune 1981. Notat af den 10. november 1981 vedrørende fiske-død i Kattegat i 1981. 13 pp.



KAPITEL 8

VURDERING AF BEHOV FOR YDERLIGERE INITIATIVER

8.1	INDLEDNING	218
8.2	MYNDIGHEDERNES OVERVÅGNING AF SØTERRITORIET	218
8.2.1	Den nationale overvågning	218
8.2.2	Den amtskommunale overvågning	220
8.3	KENDSKABET TIL ILTSVINDSOMRÅDERNE	222
8.4	KENDSKABET TIL BELASTNINGEN	223
8.4.1	Standardisering og løbende opdatering af belastningsdata	223
8.4.2	Transport af næringssalte fra land	224
8.4.3	Transport af næringssalte med havstrømme og atmosfære	225
8.4.4	Næringssaltenes kredsløb i havområderne	226
8.4.5	Havbundens stofskifte	227
8.5	KENDSKABET TIL VANDMASSERNES BEVÆGELSER	228
8.6	KENDSKABET TIL PLANTEPLANKTONET	228
8.6.1	Beredskab vedrørende masseforekomst af alger	228
8.6.2	Planteplanktonets vækst	229
8.6.3	Vandkvalitetsmodeller	230
8.7	SAMMENFATNING	231

8.1 INDLEDNING

Udredningen er baseret på oplysninger, der eksisterede, da udredningen blev iværksat eller oplysninger, der er tilvejebragt i udredningsperioden gennem tidligere planlagte undersøgelser. Det falder derfor naturligt at foretage en vurdering af det eventuelle behov for specifikke undersøgelsesprogrammer og en eventuel justering af de nuværende overvågningsprogrammer for Kattegat og andre danske farvande.

Formålet med overvågningsprogrammerne er igennem en rutinemæssig oparbejdning af udvalgte miljødata at tilvejebringe en tidsserie ved hjælp af hvilken, vi kan blive gjort opmærksomme på "unaturlige" eller mulige skadelige ændringer i miljøet.

8.2 MYNDIGHEDERNES OVERVÅGNING AF SØTERRITORIET

Overvågningen af søterritoriet udføres af såvel de statslige som de decentrale myndigheder. Den nationale overvågning omfatter de åbne farvandsområder. Den kystnære del af søterritoriet - kystvandene - overvåges af amtskommunerne/Hovedstadsrådet.

Kystvanden arealmæssige udstrækning er administrativt fastlagt (Vejledning nr. 2/83 fra miljøstyrelsen af januar 1983). Den omfatter udover fjorde og bugter (figur 8-1) også lavvandede områder inden for 6-meter dybdekurven samt alle kystnære områder inden for en afstand af 1 sømil (1.852 m). Til kystvandet regnes også nærområder omkring udledninger af spildevand/spildvarme, også hvor de går uden for den egentlige kystnære del af søterritoriet. Endelig indgår særlige referenceområder i kystvandene.

8.2.1 Den nationale overvågning

For de åbne farvandsområder gennemføres et nationalt overvågningsprogram udformet på grundlag af erfaringerne fra miljøstyrelsens Bæltprojekt samt be-

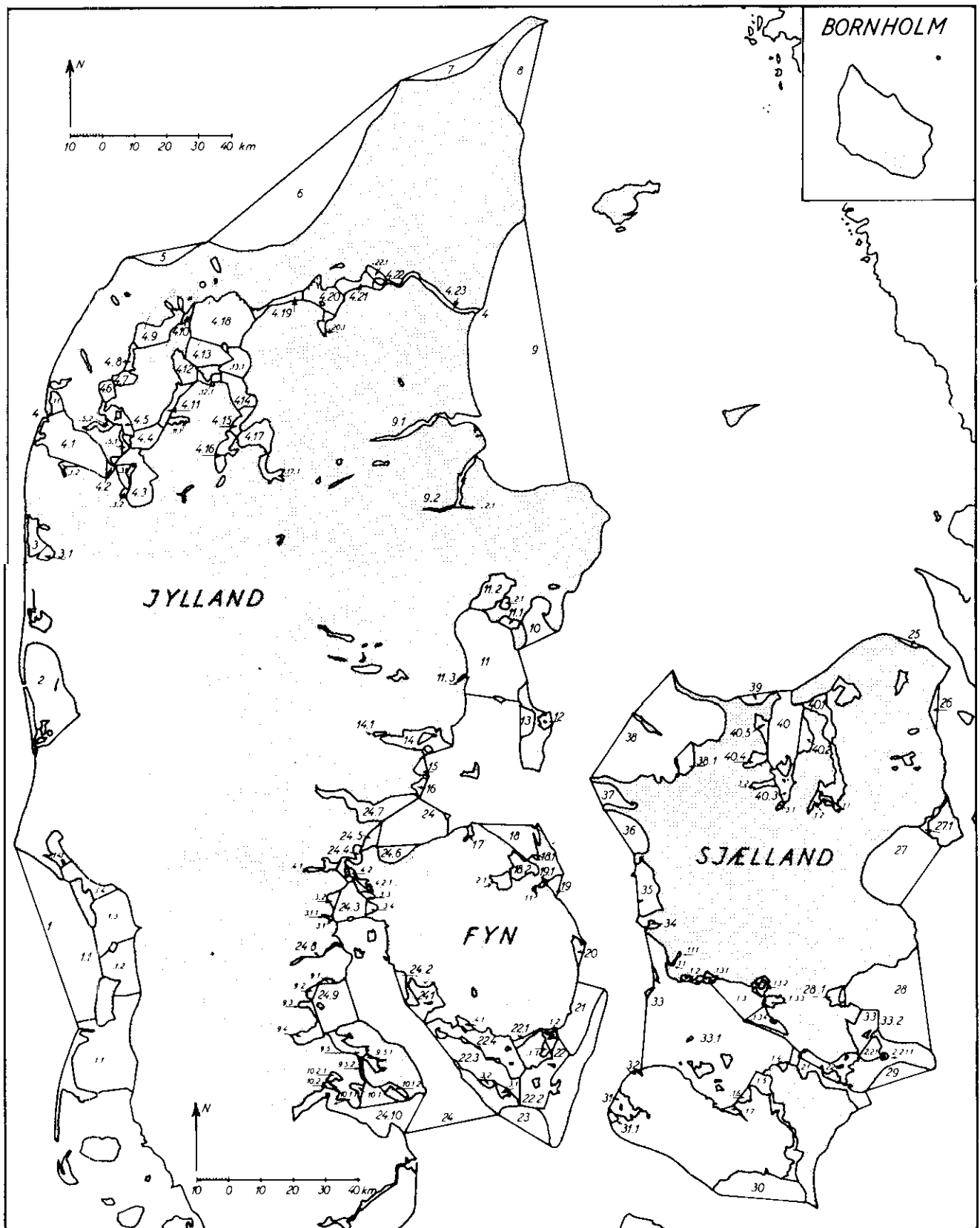


Fig. 8-1. Afgrænsning af fjorde og bugter.

stemmelser og rekommandationer vedtaget inden for rammerne af Helsingfors-, Oslo- og Paris-konventionernes arbejdsområder. Endvidere er Øresund også omfattet af Øresundskommissionens bestemmelser.

Ifølge beslutninger taget inden for rammerne af Helsingforskommissionens arbejdsområder er Danmark alene ansvarlig for overvågningen i Store Bælt og sammen med Sverige ansvarlig for aktiviteten i Øresund og Kattegat. Aktiviteterne i Kiel Bugt og Mecklenburg Bugt deles sammen med Forbundsrepublikken Tyskland og Den tyske Demokratiske Republik.

Overvågningen består blandt andet i en regelmæssig måling og registrering af følgende forhold:

- temperatur
- saltholdighed
- iltmængde
- næringsstofferne mængde
- spormetaller
- planteplanktonets sammensætning, produktion og indhold af klorofyl-a
- dyreplanktonets sammensætning og mængde
- bunddyr.

Programmets hensigt er at beskrive vandkvaliteten i de åbne farvandsområder. Det er derfor i nogen grad centreret om planteplanktonet, der har stor betydning generelt for vandkvaliteten, herunder iltforholdene i bundvandet.

Resultaterne udveksles løbende imellem de nationale myndigheder, som udfører konventionsbundet overvågning i området. De internationale relationer er fuldt udbyggede i overvågningssammenhæng. En yderligere styrkelse kan formentlig komme på tale i det omfang, der opstår et fælles behov i det fælles vandområde, som kun kan afhjælpes igennem en fælles koordineret indsats.

8.2.2 Den amtskommunale overvågning

Overvågningen af kystvandene skal ses i relation til ændringen i miljøbeskyt-

telsesloven af 1974, der trådte i kraft den 1. januar 1983. Der er her sket en præcisering af bestemmelserne om recipientkvalitetsplanlægningen, således at denne styrkes som et koordinerende styringsinstrument i forhold til spildevandsplanlægningen og den konkrete administration af miljøbeskyttelsesloven. Heraf følger et behov for øget tilsyn med recipienterne. Der er imidlertid endnu ikke et rimeligt erfaringsgrundlag for en samlet vurdering af den regionale overvågning af kystvandene.

Ved recipientkvalitetsplanlægningen for kystvande er der fastlagt en generel målsætning, der gælder overalt. Undtaget herfra er nærmere afgrænsede lokaliteter, hvor kravene til den generelle målsætning ikke kan overholdes.

I miljøstyrelsens Vejledning nr. 2/83, Recipientkvalitetsplanlægning for kystvande, er den generelle målsætning og overvågningen heraf beskrevet på følgende måde:

" Forureningen af åbne havområder skal undgås. Udledning af forurenende stoffer må ikke medføre, at der sker ændringer af det naturlige miljø i disse områder. Udledning af forurenende stoffer til kystvandene må ikke føre til påvirkning af åbne havområder. Ved vurderingen af tilstandene i havområderne må der tages hensyn til de ændringer, som fremkaldes af naturlige årsager.

Udledninger til kystvandene bør foretages på en sådan måde, at der ved kysterne - bortset fra afgrænsede nærområder - vil være et upåvirket eller kun svagt påvirket plante- og dyreliv og en god hygiejnisk vandkvalitet.

Det tilstræbes således at bevare havområderne i en naturlig tilstand. Denne generelle målsætning gælder overalt med undtagelse af nærmere afgrænsede lokaliteter, hvor kravene til den generelle målsætning ikke kan overholdes (anvendelser med lempede krav).

Områder udlagt med lempet målsætning bør gøres så små som muligt i en afbalancering af miljøhensyn og samfundsøkonomi, jfr. miljøbeskyttelseslovens formålsparagraf.

For den generelle målsætning skal der kunne opstilles kvalitetskrav, der kan kontrolleres.

Det kan gøres direkte og indirekte.

En direkte kontrol af målsætningen indebærer en påvisning af tilstedeværelsen af et upåvirket eller kun svagt påvirket dyre- og planteliv. Under hensyntagen til de kystnære områders mangfoldighed og den tilgængelige

viden, kan der ikke opstilles generelle kvantitative biologiske krav, men kun generelle retningsgivende biologiske kriterier, som kan indgå i en vurdering af målsætningens overholdelse. Vurderingerne vil derfor indebære et væsentligt subjektivt element, og det er nødvendigt at gennemføre biologiske undersøgelser, således at der over en årrække opbygges et kvantitativt og kvalitativt grundlag for en direkte kontrol. På det badevandshygiejniske område foreligger der dog allerede i dag kvantitative bakteriologiske krav.

En indirekte kontrol af den generelle målsætning er en kontrol af en række fysisk-kemiske omgivelsesfaktorer, der må være opfyldt, for at der kan eksistere et upåvirket eller kun svagt påvirket dyre- og planteliv. De generelle fysisk-kemiske krav må derfor med god tilnærmelse repræsentere en ikke forureningspåvirket tilstand eller en "baggrunds-tilstand".

Den generelle målsætning er at bevare de biologiske systemer, og det må tilstræbes, at kontrollen i stadig højere grad kan foretages direkte. Samtidig må det erkendes, at det nuværende kendskab til kvantitative sammenhænge i de økologiske systemer er for begrænset til, at der alene på dette grundlag kan opstilles udledningskrav. Disse krav må derfor indtil videre i en vis udstrækning opstilles som generelle fysiske og kemiske grænseværdier.

Den generelle målsætning behøver ikke at kontrolleres overalt, hvor den gælder. Det er afgrænsningen af de områder, hvor målsætningen gælder, der skal kontrolleres. Kontrollen skal så vidt muligt udøves ved konfliktfronter - zoner, hvor områder med lempede målsætninger støder op mod områder med generel eller skærpet målsætning.

Derudover skal den generelle målsætning kontrolleres i referenceområder. Sådanne områder vælges, således at de kan anses for karakteristiske for et vist havområde, samtidig med at de skal være beskyttet mod indflydelse fra udledninger og andre menneskelige påvirkninger, der kan influere på vandkvaliteten.

I lukkede områder kan det være svært at finde tilstrækkeligt ubelastede referenceområder. Det er i Vejledning nr. 2/83, bilag 4, beskrevet, hvordan referenceværdier kan korrigeres i sådanne tilfælde."

8.3 KENDESKABET TIL ILTSVINDSOMRÅDERNE

Overvågningshyppigheden fastlægges ud fra en række kriterier, som tilsammen skal tilgodese en rimelig overvågning af farvandsområderne. Sammenfattende er det muligt ved hjælp af de eksisterende overvågningsprogrammer at påvise ilt-svindsområder, når disse har en vis udbredelse i tid og rum. Derimod indgår en vurdering af iltsvindets eventuelle konsekvenser for dyre- og plantelivet endnu

kun i begrænset omfang i myndighedernes overvågningsprogrammer. Undtagelser findes blandt andet i det undersøgelsesarbejde, som Ringkjøbing, Viborg og Nordjyllands amter i Limfjordskomiteen udfører i Limfjorden, som i en årrække har været kendt for sine iltsvindsområder.

I Århus Bugt lykkedes det på grundlag af fiskernes meldinger samt opskyl af døde dyr at påvise en beskadigelse af dyresamfundene i 1981. Det lykkedes ikke at afgrænse iltsvindsområdets udstrækning i tid og rum, ligesom det heller ikke kunne fastlægges, hvor omfattende beskadigelserne havde været.

Undersøgelser af havbundens dyreliv har traditionelt udgjort en vigtig del i vurderingen af forureningsbetingede ændringer ved spildevandsudledninger. Disse undersøgelser er blevet gentaget med mellemrum for om muligt at følge eventuelle forureningsbetingede ændringer i økosystemerne. I sådanne undersøgelser er det imidlertid et stort problem at skelne de forureningsbetingede ændringer fra de naturlige svingninger og de tilfældige variationer.

Det er imidlertid altid meget foruroligende, når der bliver konstateret en påvirkning på økosystemniveau. De registrerede tilfælde af iltsvind, der medførte beskadigelse af dyrelivet, fandt sted ikke bare i kystvandene, men også i de åbne farvandsområder.

Derfor er det væsentligt at forbedre grundlaget for vurderingen af, om den generelle målsætnings overordnede krav om at undgå forureningen af åbne havområder er opfyldt.

For enkelte vandområder er det påvist, at økosystemforskydninger har sammenhæng med stort fiskeritryk. Der mangler en bredere vurdering af dette forhold.

8.4 KENDSKABET TIL BELASTNINGEN

8.4.1 Standardisering og løbende opdatering af belastningsdata

For at forbedre det grundlag, hvorpå amtskommunerne og Hovedstadsrådet base-

rer deres recipientkvalitetsplanlægning, men også for at forbedre de centrale myndigheders mulighed for at følge udviklingen og forbedre miljøministerens mulighed for at tage nødvendige initiativer, er der behov for en ájourføring og systematisering af belastningsdataene.

Det foreliggende datamateriale til bedømmelse af belastningen er ufuldstændigt og vanskeligt tilgængeligt. Oplysninger om spildevandsudledninger findes spredt i de enkelte kommuner og amtskommuner. Materialet er ikke ensartet behandlet, og oplysningerne om materialets kvalitet er mangelfulde.

Der er i samarbejde mellem amtskommunerne, kommunerne og miljøstyrelsen iværksat et program - SERR - System for Emmittent- og Recipient Registrering, der er baseret på en harmoniseret registrering af data på mikrodatamater i de enkelte amtskommuner og mulighed for dataoverføring til et centralt register. I tilknytning hertil er der oprettet fagdatacentre på miljøstyrelsens ferskvandslaboratorium og havforureningslaboratorium med henblik på at sikre en harmoniseret indsamling, kvalitetsbedømmelse, registrering og behandling af data.

Denne aktivitet bør fremmes, således at kvaliteten af belastningsdata øges, og således at det bliver muligt regelmæssigt at vurdere belastningen og ændringen heraf.

8.4.2 Transport af næringssalte fra land

Belastningen fra det åbne land føres til havet via vandløbene. Vor viden om transporten og tilbageholdelsen af næringssalte via vandløb er utilstrækkelig. Kun for ganske enkelte vandløb findes der data, der går mere end 10 år tilbage i tiden. Der sker løbende store ændringer i arealudnyttelsen af det åbne land, ændringer der afgørende kan påvirke afstrømningen af næringssalte fra vort landområde. Vurderingen af denne afstrømning må løbende indgå i den samfundsmæssige vurdering af ændringer i arealudnyttelsen. Det er derfor vigtigt, at amtskommunerne og Hovedstadsrådet opretter og vedligeholder så mange målestationer ved vandløbene, at det muliggør vurderinger af belastningen og ændringer heraf for de enkelte recipientafsnit. Derved vil man også forbedre mulighederne for at vurdere disse forhold på landsbasis.

Landbrugsministeriets Forsknings- og forsøgsvirksomhed foretager tillige undersøgelser vedrørende udvaskningen af næringssalte.

Vor viden om afstrømningen fra det åbne land til vandløbene i relation til arealudnyttelsen må forbedres (herunder afledning af møddingvand, ajle, ensilagesaft, gylle m.m.). Endvidere bør følgende punkter belyses bedre:

- udledning fra spildevandsanlæggenes overfaldsbygværker, og
- regnvandsudledninger.

8.4.3 Transport af næringssalte med havstrømme og atmosfære

Vore kystvande og åbne havområder er påvirket af tilførsel af næringssalte fra vort eget landområde, fra nabolandenes landområder, via atmosfæren og fra de tilstødende vandområder - Nordsøen og Østersøen. Også i disse sidstnævnte have kan der konstateres en øget næringssaltbelastning hidrørende fra de landområder, der grænser til dem.

Det måske vigtigste bidrag til belastningen af vore åbne havområder er belastningen fra Nordsøen/Skagerrak. Derimod har udstrømningen fra Østersøen sandsynligvis en fortyndende effekt, idet koncentrationerne af næringssalte i Østersøens overfladevand generelt er lavere end i de danske farvande. Der kommer dog væsentlige næringssaltmængder med Østersø vandet og koncentrationen er formentlig stigende.

Det kan heller ikke udelukkes, at der sker en væsentlig recycling i de indre farvande med opblanding af næringssalte fra bundlag til overfladelag i Bælthavet efterfulgt af en produktion af organisk stof, der med overfladestrømmen føres til Kattegat, hvor en del af det synker ned i bundvandet og mineraliseres, hvorefter næringssaltene med bundstrømmen igen føres til Bælthavet og opblandes til overfladelaget. I så tilfælde vil belastningen via Skagerrak være af mindre betydning.

Under alle omstændigheder vil indflydelsen af den regionale belastning aftage ind mod kysten, således at den lokale belastning er dominerende og afgørende for forholdene i fjordene og de kystnære områder.

En bestemmelse af belastningen fra Nordsøen/Skagerrak forudsætter både et grundigt kendskab til vandtransporten til og fra disse områder og til koncentra-

tionen af næringssalte m.m. i vandmasserne.

I Bæltprojektperioden skete der en intensiv måling af vandtransporten ved hjælp af strømmålere. Vandstandsmålinger ved en række kyststationer viste sammenhæng mellem strøm og vandstand. Disse forhold er så igen blevet sammenholdt med de meteorologiske faktorer, vind- og lufttryk. Ud fra disse sammenhænge er der blevet etableret beregningsgrundlag for vandtransporten ud fra de meteorologiske tilstande og vandstanden (jfr. afsnit 8.5).

Ud over strømforholdene må vi kende til koncentrationen af stoffer, som strømmen fører med sig. Det forudsætter en intensiv prøvetagning fra undersøgelseskibe ved strategisk placerede målestationer.

En sådan prøvetagning foregår i dag f.eks. i Kattegat fra svenske og danske skibe. Fra dansk side fremskaffes materialet hovedsageligt ved togter gennemført af miljøstyrelsens havforureningslaboratorium. Det samlede svensk-danske program er ikke tilstrækkeligt til at danne et sikkert udsagn om tilførslen af stoffer fra naboområderne. Strømforholdene og vandmasserne skifter fra dag til dag og fra time til time. Der skal således ret mange målinger til, for at man kan danne sig et rimeligt repræsentativt indtryk af transportforholdene. Det vil være hensigtsmæssigt at vurdere mulighederne for en mere intensiv dansk og svensk indsats.

Tilførslen af næringssalte via atmosfæren med nedbør og som tør deposition er betydelig - og i hvert fald for kvælstofforbindelsers vedkommende - stærkt stigende. De fleste målinger hidrører fra stationer placeret på land, hvor lokale kilder kan bidrage til belastningen. Der bør etableres målestationer for atmosfærisk nedfald på øer centralt placeret i vore have, f.eks. på Anholt og Christiansø, så der kan ske en mere sikker vurdering af belastningen via atmosfæren.

8.4.4 Næringssaltene kredsløb i havområderne

Næringssalte tilført havet fra land og naboområder omsættes i havet ved fysiske, kemiske og biologiske processer. En række af disse processer er i dag utilstrækkeligt kendte. Dette gælder f.eks. den såkaldte denitrifikation.

Ved denne proces omdannes kvælstofnæringssalte til frit kvælstof, der returnerer til atmosfæren. Det er først og fremmest denne proces, der medfører, at kvælstof trods store tilførsler stadig er i underskud i de åbne havområder og således er begrænsende for algeproduktionen. Denitrifikationen bestemmes i reglen ved indirekte massebalanceberegninger, men der er for dårligt kendskab til, i hvor stort omfang og med hvilken hastighed denne proces foregår.

Næringssalte optages i algerne ved disses udvikling og afgives tilbage til vandmasserne, når algerne ædes af dyr, ved algernes eget stofskifte og når algerne dør og nedbrydes ved forrådnelse i vandmasserne eller på havbunden. Også disse processers omfang og hastighed skal kendes godt, for at der kan gennemføres beregninger - såkaldte biologiske modeller - for produktion af algemasser og de deraf afledte forhold, som f.eks. iltsvind. Der er behov for fortsat forskning på disse områder.

8.4.5 Havbundens stofskifte

Vor viden om havbundens omdannelse af organisk stof til mineralsk form, mineralisering, er begrænset. Den nyeste forskning antyder, at omkring halvdelen af fjordenes og de indre farvandes primærproduktion mineraliseres i havbunden. Det organiske materiale i havbunden nedbrydes i væsentlig grad af bakterier. Under nedbrydningen af organisk stof i mineraliseringsprocessen forbruges der også ilt. Det har vist sig, at det hidtidige kendskab til det kemiske iltforbrug er forkert (Jørgensen, B.B. pers. com.).

Der foreligger kun meget få oplysninger om tidsforløbet af mineraliseringsprocesserne, deres temperaturafhængighed, ligesom der mangler en viden om, hvorledes sedimentprocesserne reguleres. Med henblik på at udarbejde såkaldte kapacitetsvurderinger for stofomsætningen i havområderne må kendskabet til havbundens stofskifte udbygges.

8.5 KENDSKABET TIL VANDMASSERNES BEVÆGELSER

Adskillige af de centrale biologiske led i stofkredsløbene finder sted i vandsøjlen, og et godt kendskab til et områdes særlige egenskaber forudsætter derfor viden om vandmassernes bevægelser.

I den åbne del af Kattegat er vandmasserne delt i et tungt bundlag og et lettere overfladelag. Strømningerne i og blandingen mellem de 2 vandlag styres af vinden, lufttrykket, tidevandet, ferskvandstilførslen til Østersøen samt havbundens form. Taget som gennemsnit over et år er strømmen nordgående i overfladelaget og sydgående i bundlaget. Der forekommer store variationer i strømmene i løbet af året. Dette har betydning for næringsstofindholdet og produktionen af planktonalger i overfladelaget.

En vandskiftemodel, der beskriver strømnings- og blandingsforholdet i det åbne Kattegat, er under udarbejdelse af miljøstyrelsen. Modellen giver også oplysninger om vandmassernes opholdstid i de forskellige områder i Kattegat.

Vandskiftemodellens beskrivelse af strømningsforholdene er også vigtig for en evaluering af, hvorvidt et områdes produktion af organisk stof nedbrydes i samme område, eller om det eksporteres til et andet område. Gennem modeller for kystvandene og andre undersøgelser af vandskiftet tilvejebringes en forbedret viden om vandudvekslingen med de åbne farvandsområder. Dette forhold, der har stor betydning for den praktiske tilrettelæggelse af områdets recipientkvalitet, indgår i amtskommunernes og Hovedstadsrådets recipientkvalitetsplanlægning.

8.6 KENDSKABET TIL PLANTEPLANKTONET

8.6.1 Beredskab vedrørende masseforekomst af alger

Der knytter sig samfundsmæssige interesser til masseforekomsterne af planktonalger i søterritoriet. I de sidste 15 år synes hyppigheden af masseforekomsterne at være øget langs Nordatlantens kyster, herunder i Nordsøen, Skagerrak, Kattegat og Bælthavet.

Det var furealger i enorme mængder, der forårsagede et voldsomt iltsvind med efterfølgende fiskedød i Laholmbugten i det syd-østlige Kattegat i efteråret 1980 og 1981. Blandt furealgerne findes der adskillige giftige arter, som med sikkerhed vides at have forårsaget fiskedød langs den jyske Nordsøkyst i 1968 og ved de norske Skagerrakkyster i de sidste par år.

I Danmark blev en stor del af muslingeindustrien lukket i en periode i sensommeren 1983, efter at der var blevet konstateret en masseforekomst af en formodentlig giftig furealge i vore indre farvande. Denne furealge, Prorocentrum minimum, er tilsyneladende nu etableret i vore farvande.

Blågrønalgerne rummer andre giftige algearter. Der var specielt kraftige masseforekomster af Nodularia spumigena i 1975 og 1976 i Kattegat og Bælthavet. I forbindelse med masseforekomsterne af Nodularia spumigena, som gav anledning til nogle udredninger, blev spørgsmålet om et algeberedskab berørt. Tiden, der er forløbet siden da, har gjort behovet for en algeberedskabsplan større. Formålet med beredskabsplanen er at sikre myndighederne mulighed for hurtigt at få overblik over karaktererne af en masseforekomst af alger samt behovet for iværksættelsen af eventuelle i forvejen aftalte og koordinerede forholdsregler til beskyttelse af befolkningen.

8.6.2 Planteplanktonets vækst

Planktonalgernes produktion af organisk stof reguleres blandt andet af tilførslerne af næringssalte. I den østlige del af Nordsøen samt i den åbne del af Skagerrak og Kattegat er det generelt kvælstofsaltene, der bestemmer størrelsen af planteplanktonets produktion og dermed også den mængde ilt, der skal til for at nedbryde stoffet igen. Kun i en kortere periode (april-juni) kan manglen på fosfor også være en begrænsende faktor.

I de kystnære områder og fjorde kan lokale belastninger og forhold påvirke algernes vækst. I områder med stor tilførsel af kvælstofforbindelser kan vandkvaliteten i visse tilfælde delvis forbedres ved at reducere tilførsel af fosfor, idet fosfor gøres

til en begrænsende faktor for den organiske stofproduktion, der dog vil ligge på et højt niveau. Omvendt kan en nedsættelse af tilførslerne med kvælstofforbindelser nok afhjælpe de fleste algeproblemer men kan samtidig i visse områder også favorisere de af blågrønalgerne, herunder Nodularia spumigena, der er i stand til at udnytte atmosfærisk kvælstof.

I eutrofierede kystvande vil det derfor være hensigtsmæssigt at nedbringe både kvælstof- og fosforbelastningen. De regionale myndigheder synes at være sig dette bevidst i forbindelse med den igangværende recipientkvalitetsplanlægning.

Masseforekomster af alger er ofte et resultat af en opblanding af vandmasserne eller en periode med stor afstrømning fra land. Problemerne omkring masseforekomsterne af alger er imidlertid komplekse. Næringssaltene kan skabe grundlaget for den forhøjede produktion, men de udløsende årsager kendes ikke i detaljer.

8.6.3 Vandkvalitetsmodeller

Vandkvaliteten reguleres i væsentlig grad af planteplanktonets produktion af organisk stof. Produktionen afhænger, foruden af mængden af tilstedeværende planteplankton og dettes produktionsformåen, især af mængden af lys og tilgængelige næringssalte samt til dels af vandets temperatur.

I vinterhalvåret er produktionen ringe på grund af mangel på lys, mens størstedelen af produktionen finder sted i sommerhalvåret, hvor den igen reguleres af den tilgængelige mængde af næringssalte. Det producerede organiske stof nedbrydes igen ved ånding i de biologiske systemer eller ved direkte forrådnelse, hvorved der i begge tilfælde forbruges ilt.

Vandkvaliteten er til en vis grad forudsigelig, da de enkelte delprocesser i systemet følger i store træk kendte lovmæssigheder.

Mulighederne for at anvende en matematisk model til beskrivelse af vandkvaliteten er således teoretisk til stede, og da der allerede findes et stort antal målinger, navnlig fra miljøstyrelsens Bæltprojekt, åbnes der praktisk mulighed for at anvende modellen. Miljøstyrelsen er ved at udarbejde en sådan matematisk model, der beskriver vandkvaliteten i det åbne farvandsområde. Betydningen af kilderne for kvælstof, fosfor og organisk stof for vandkvaliteten i forskellige delområder af det åbne Kattegat søges vurderet ved hjælp af modellen.

Forholdene er mere komplicerede i de lavvandede, højproduktive kystvande.

Amtskommunerne har i tidens løb med vekslende held forsøgt at beskrive vandkvaliteten i lokalområder ved hjælp af modeller.

Det er karakteristisk, at modelarbejder har været benyttet til at danne besluthningsgrundlag for rensningsforanstaltninger. Kun i beskedent omfang har man gennem intensiv overvågning efterfølgende undersøgt, om disse besluthningsgrundlag har ført til de tilsigtede resultater.

8.7 SAMMENFATNING

I nærværende udredning er forholdene belyst på grundlag af den eksisterende viden. For en række af de foranstaltninger, der er omtalt, og for en række af vore kystvande er der i dag et tilstrækkeligt godt besluthningsgrundlag for at iværksætte foranstaltningerne, selvom der er tale om indgreb, der vil gribe stærkt ind i samfundsøkonomien. I andre tilfælde er besluthningsgrundlaget under hensyntagen til samfundsøkonomien ikke tilstrækkeligt til at iværksætte foranstaltninger.

Der er derfor peget på en række initiativer, der vil kunne forbedre vor viden og danne grundlag for bedre besluthninger, hvor der er behov herfor, og som vil kunne styrke vor argumentation i forhandlinger med andre lande om nødvendige indgreb.

Nødvendigheden af at forbedre vor viden på de ovenfor nævnte punkter vurderes på samme måde i Sverige. Det svenske naturvidenskabelige forskningsråd har således i februar 1983 besluttet at støtte et meget stort og bredt anlagt 4-årigt projekt om havmiljøets forurening.

En dansk indsats vil eventuelt kunne koordineres med det svenske projekt.

KAPITEL 9

SAMMENFATNING OG KONKLUSION

9.1	INDLEDNING	234
9.2	ILTSVINDETS OMFANG	234
9.2.1	Situationen i 1981	235
9.2.2	Skadernes omfang	235
9.2.3	Iltsvindsfænomener i tid	236
9.3	ÅRSAGERNE TIL ILTSVINDET	237
9.3.1	Tilførsel af ilt til bundvandet	237
9.3.2	Bundvandets forbrug af ilt	238
9.3.3	Forklaringen	239
9.4	VURDERING AF ÅRSAGERNE	240
9.4.1	Belastningen af N og P	241
9.4.1.1	Belastning fra land og atmosfære	241
9.4.1.2	Afstrømning fra land	241
9.4.1.3	N og P i havet	242
9.4.1.4	Planteplanktonets produktion i tid	243
9.4.2	Langtidsvariationer i bundvandets iltindhold	243
9.5	KONKLUSION	244

9.1 INDLEDNING

Omfanget af, årsagerne til og vurderingen af, om der lå naturgivne eller menneskeskabte årsager til grund for de observerede iltsvinds- og fiskedødstilfælde i 1981, gennemgås i det følgende på baggrund af den tekniske gennemgang i udredningens 7 første kapitler.

I det afsluttende konklusionsafsnit fremlægges en overordnet bedømmelse af situationen sammen med de rekommandationer, der er omtalt i kapitel 8.

Det har ikke været muligt at bedømme den relative indflydelse af de enkelte årsager med henblik på at foretage et skøn over, hvilken forbedring det ville medføre, såfremt de menneskeskabte årsager kunne bringes under kontrol.

Redskabet til denne analyse, der er en biologisk model for det åbne Kattegat og Store Bælt, forventes at blive færdiggjort, så analysen kan bringes i redegørelsen fra det såkaldte NPO-udvalg.

9.2 ILTSVINDETS OMFANG

Havvandets indhold af ilt varierer af naturlige årsager igennem året med de laveste værdier i efteråret og de højeste om vinteren. Oven i årstidsvariationen ses specielt i lavvandede områder en døgnvariation, hvor ilten af naturlige årsager kan være opbrugt mere eller mindre sidst på natten.

Ved fastlæggelsen af et iltsvindstilfælde er der derfor taget hensyn til det berørte områdes naturlige variation. Det unormalt lave iltniveau forårsager en beskadigelse af dyrelivet eller skaber forudsætningen for en ændring i sammensætningen af områdets dyreliv. Massedødshændelsen, hvor hele dyresamfund lægges øde hen, er derfor kulminationen af en iltsvindsperiode.

9.2.1 Situationen i 1981

Til brug for kortlægningen af omfanget bad miljøstyrelsen i marts 1982 de regionale myndigheder om en række oplysninger, herunder materiale der kunne belyse iltsvinds- og/eller fiskedødshændelserne i 1981. Miljøstyrelsens egne overvågningsresultater er sparsomme for sommerhalvåret. Fra svenske og tyske myndigheder foreligger der monitoringsresultater for de åbne farvandsområder. I kapitel 2 er de regionale myndigheders oplysninger lagt frem, mens det øvrige dokumentationsmateriale er behandlet i kapitel 5.

Det dokumenterede omfang, der må opfattes som minimum, omfatter et område svarende til arealet af Fyn og Sjælland tilsammen. Det er sandsynligt, at det har drejet sig om et større, sammenhængende område med unormalt lave iltmængder. Lokale forhold har formentlig resulteret i, at den generelle situation har medført tilfælde af fiskedød.

9.2.2 Skadernes omfang

I den vestlige Østersø har de vesttyske myndigheder påvist, at ilten helt har været brugt op, og at der endog har været en udvikling af svovlbrinte. Dette betyder, at fjordsamfundet i dette område er lagt øde hen, da perioden med svovlbrinte varede mindst 1 måned. Fjordsamfundet findes på dybder mellem 10 og 30 m.

I Århusbugten har ilten også været brugt op. De lokale fiskere indberettede om døde orme i trawlene. Der må have været iltfrie forhold i mindst 4-5 døgn, for at dette kunne ske. Fiskerne meldte om dårlige iltforhold i hele september måned. Der har tilsyneladende ikke været en udvikling af svovlbrinte i området.

Iltsvindet indtraf efter yngletidspunktet for de fleste dyr og har antageligt lagt mere end halvdelen af fjordsamfundet øde hen. I Store Bælts centrale del er der ikke sket væsentlige skader, formentlig på grund af den specielle bundtopografi, som skaber en kraftig turbulens i området.

En re-kolonisering af de berørte områder må formodes at være begyndt i 1981 ved, at unge dyr er ført ind i de øde områder med bundstrømmene. Den egentlige re-kolonisering er først sket i forsommeren 1982 via fritsvømmende larver. Samfundene er formentlig blevet re-etableret i normal udformning sommeren 1982.

Lavtvandssamfundet ramtes også, omend i meget mindre omfang. Strandzonens mere urolige vand fremmer iltens fordeling i hele vandsøjlen.

Fiskerierhvervets eventuelle tab er ikke forsøgt gjort op. Det er imidlertid sandsynligt, at fiskeriet efter bundlevende dyr, især fladfisk, har været stærkt berørt. Der blev i juli-august måned registreret et torskeeventyr i Åbenrå Fjord og på nord- og østsiden af Als. Der har formentlig været tale om fisk under flugt fra iltsvindsområder.

Det er også sandsynligt, at 1981-årgangen af fladfisk, der som 1-2 årige er søgt ud mod fjordsamfundets spisekammer i 1982, har fået dårlige vækstbetingelser.

9.2.3 Iltsvindsfænomener i tid

For at sætte 1981-tilfældene i relief er omfanget af tidligere års tilfælde gennemgået i kapitel 3. Det fremgår heraf, at der tidligere har været tilfælde af iltsvind, f.eks. i 1911 i Isefjorden. Mange fjordområder har af naturlige årsager jævnligt tilbagevendende tilfælde af iltsvind.

I løbet af de sidste 10 år er der årligt registreret områder med lave iltværdier fortrinsvis i varme sommerperioder med stille vejr. De berørte områder er typisk bugter og vige med stillestående vand.

Fra Limfjorden er tilfældene almindeligt kendte. Det samme gælder for Flensborg Fjord og Åbenrå Fjord.

En interview-undersøgelse af fynske fiskere i 1982 pegede på tilstedeværelsen af gammelkendte problemområder, men også på, at der er sket en forværring.

Der er også sket en forværring i Limfjorden, idet iltsvindstilfældene er blevet hyppigere, ikke kun i Lovns Bredning, hvor hyppigheden er øget stærkt efter bygningen af Virksund-dæmningen.

I de åbne farvandsområder er der sket en tydelig forværring. Den vestlige Østersø, Århus Bugt og det syd-østlige Kattegat er alle områder med vanddybder på/eller over 15 m. Der er jævnligt målt lave iltværdier i efterårsperioden, men ikke så alarmerende lave som i 1981. I 1982 var forholdene udmærkede i de åbne farvandsområder, mens forholdene i 1983 i en kortere periode var værre end i 1981.

9.3 ÅRSAGERNE TIL ILTSVINDET

Det indsamlede og bearbejdede materiale efterlader ingen tvivl om, at langt den største del af beskadigelserne af dyrelivet og fiskedrabene skyldes kvælning på grund af iltmangel eller tilstedeværelse af svovlbrinte. Fiskedødstilfældene ved Fjaltring Strand ved den jyske Vestkyst og ved Glyngøre i Limfjorden skyldes dog sandsynligvis en giftig alge i masseforekomst.

Iltindholdet i bundvandet, der udviser en årstidsvariation med lavest indhold i august-september/oktober betinges af tilførslen og forbruget af ilt i bundvandet.

9.3.1 Tilførsel af ilt til bundvandet

De væsentligste forhold af betydning for tilførslen af ilt til bundvandet er gennemgået i kapitel 5.

Kattegat/Bælthavet samt Øresund er en af verdens største flodmundinger. Området danner overgangen mellem Østersøen, der er påvirket af kontinentets flodafløb og Skagerrak, der er påvirket af Atlanterhavet. Under rolige vindforhold er overgangsområdet delt i et saltfattigt og dermed let overfladelag, og i et bundlag, der er saltholdigt og dermed tungt. Grænsen mellem det tunge og lette vand, springlaget, virker som en barriere, der hæmmer en vandudveksling lagene imellem og nedsætter nedblanding af ilt til bundvandet betydeligt.

En kraftig afstrømning fra land har forstærket springlaget markant. Afstrømningen i 1981 fra det danske opland og fra det svenske afstrømningsområde var henholdsvis 45% og 27% over langtidsgennemsnittet. Afstrømningen fra Østersøen i 1981 har været 10-20% større end normalt.

Det er yderligere godtgjort, at stærkt saltholdigt bundvand i begyndelsen af maj 1981 er strømmet sydover gennem Store Bælt. Dette har yderligere hæmmet vandudvekslingen mellem lagene, og iltindholdet er aftaget gennem sommeren, uden at nogen egentlig fornyelse af bundvandet har fundet sted.

I september 1981 var der rolige vindforhold, og den tilførte vindenergi var klart lavere end gennemsnitligt. Også dette har medvirket til, at der har været en nedsat ilttilførsel til Kattegats bundvand.

9.3.2 Bundvandets forbrug af ilt

Tilførslen af organisk stof og dermed iltforbruget i bundvandet er vurderet i kapitel 7.

Størrelsen af planteplanktonets produktion af organisk stof og dermed af det potentielle iltforbrug til nedbrydning af dette stof, afhænger i perioden marts-oktober især af mængden af tilgængelige næringssalte. Produktionen er nedsat i vinterhalvåret, hvor lysmængden er den begrænsende faktor for produktionen.

En vældig opblomstring ses normalt i det tidlige forår. I områder med kraftig lagdeling og ringe blanding mellem vandlagene, kan forårsmaksimet sandsynligvis udgøre op imod halvdelen af årsproduktionen. Med aftagende lagdeling og stigende blanding stiger sommerproduktionens størrelse i forhold til forårsmaksimet.

Planteplanktonets produktion under det ovennævnte forårsmaksimum har formentlig været usædvanligt stor i 1981. Det er svært at måle størrelsen af et forårsmaksimum, som er en højproduktiv periode. Længden af perioden reguleres i de åbne farvande, især af den tilgængelige mængde af kvælstofsalte. Vinterkoncentrationerne af kvælstofsaltene har været stigende i de åbne farvandsområder i perioden 1976 til 1981.

Forårsmaksimets alger ædes kun i meget ringe grad i overfladelaget, da dyreplanktonets mængde er lav tidligt på året. Istedet falder algerne, efterhånden som de dør, ned til bundlaget, hvor de ædes af bundens dyreliv eller forrådnere i løbet af foråret og sommeren, hvorved der forbruges ilt.

Efterhånden, som det organiske stof nedbrydes, frigøres der næringssalte til bundvandet, hvorefter der atter er basis for en højere sommerproduktion. Der var en relativt lav sommerproduktion i perioden 1975-77. Derefter har den været stigende, undtagen i det åbne Kattegat og kulminerende i Store Bælt i 1979, mens den i Kattegat var højst i 1981. Den er i 1981 dobbelt så stor som i perioden fra 1952 til 1960.

Forbruget af ilt i bundvandet har altså været stort.

9.3.3 Forklaringen

Det fremgår af det foregående, at 1981 var usædvanlig på mange måder, men uden at en enkelt faktor på afgørende vis har præget året. Forklaringen må derfor bestå i, at flere faktorer har forårsaget iltsvindet.

Afstrømningen fra de omliggende landområder i vinteren 1980/81 var usædvanlig stor. Det resulterende ferskvandsoverskud har påvirket forholdene i farvandsområderne på afgørende vis. Der har dels været en kraftigere lagdeling, og der har dels været en stor tilførsel af kvælstof-næringssalte til farvandsområderne, som har skabt grundlaget for en forstørret planteproduktion af organisk stof.

Der har i farvandsområderne været en indstrømning af bundvand i begyndelsen af maj. Dette vand blev stående i områderne med lavere og lavere iltværdier som sommeren gik, idet planteplanktonets produktion af organisk stof, gav anledning til et større iltforbrug end normalt.

September måned var meget vindstille og har ikke kunnet afhjælpe forholdene, inden ilten var brugt helt op.

Fiskedødstilfældet ved Fjellerup Strand og i Århus Bugten skete under en rolig udstrømningssituation. Der er i forbindelse med fiskedødshændelsen registreret en stigning i saltholdigheden svarende til en hurtig hævnning af bundlaget. Den tekniske forklaring er en såkaldt skillefladevipning, hvorved bundvandet er blevet hævet.

Fiskedødstilfældene ved Pæregård Strand, Dalby Strand, Båring Vig og Vejle Fjord skete derimod i forbindelse med overgangen til en indstrømningssituation. Strømkæntringen forårsagede formentlig en pludselig opstigning af gammelt iltfattigt bundvand, som fangede fiskene lokalt.

9.4. VURDERING AF ÅRSAGERNE

Der er ingen tvivl om, at iltsvindsfænomenerne er blevet hyppigere og mere udbredte inden for de sidste par årtier. Udviklingen i tid af de faktorer, der har haft væsentlig betydning for de sidste års tilfælde af iltsvind, vurderes i det følgende for at afklare, hvorvidt forholdene kan afhjælpes igennem en regulering af den menneskebetingede påvirkning.

9.4.1 Belastningen af N og P

9.4.1.1 Belastning fra land og atmosfære

I kapitel 4 beskrives tilførslerne af næringssalte fra Danmark, Sverige og atmosfæren til Kattegat, Øresund samt Bælthavet ned til grænsen for dansk konces-sionsområde.

Belastningen har været stigende i perioden 1975-81, for så vidt angår kvælstof-forbindelserne, mens tilførslerne af fosforforbindelserne i samme periode har været konstante.

Bidraget til farvandsområdet (38.000 km^2) for henholdsvis fosfor (P)- og kvælstof (N)-forbindelserne fordeler sig i middel for perioden 1975-81 på følgende måde:

Bidrag	N	P	Afstrømningsareal
Atmosfæren	20%	5%	
Danmark	45%	60%	30.450 km^2
Sverige	35%	35%	26.800 km^2

Den samlede fosforbelastning er vurderet til ca. 14.000 tons om året.

Belastningen med kvælstofforbindelserne blev for 1981 opgjort til 190.711 tons. Den gennemsnitlige belastning for perioden 1975-81 til farvandsområdet er vurderet til ca. 150.000 tons om året. Der er en sammenhæng mellem afstrømning fra land og transport af kvælstofforbindelser, idet transporten øges med stigende afstrømning. Stigningen i perioden tilskrives de ekstreme nedbørsforhold, der er forekommet i perioden.

9.4.1.2 Afstrømning fra land

Afstrømningen fra danske landområder har betydning lokalt i de kystnære dele af søterritoriet, mens afstrømningen til hele Østersøen er bestemmende for den

strøm af saltfattigt vand, der flyder ud gennem vore farvande. Herudover tilføres der fra Nordsøen næringsrigt bundvand til vore indre havområder. Dette bundvand vil ved opblanding i Kattegat og Bælthavet gøde overfladevandlagene.

Årsafstrømningen fra Danmark har i perioden 1975-81 været jævnt stigende. Afstrømningen har i middel over hele perioden været lig langtidsmidlen for perioden 1917-1980.

Afstrømningen fra Østersøen må generelt antages at have udviklet sig på samme måde.

De højeste afstrømninger i de sidste 30 år er registreret i årene 1954, 1958, 1962 1966-67 og 1980-81.

9.4.1.3 Kvælstof- og fosforforbindelser i havet

Vinterkoncentrationen af kvælstofsaltene i overfladelaget er generelt steget i Kattegat og Store Bælt fra 1976 til 1981/83. I Arkona Bækkenets overfladelag ses ingen generel tendens.

Udviklingen svarer til udviklingen i vandafstrømningen og dermed udviklingen af kvælstofbelastningen fra land i samme periode. Der er en tæt sammenhæng mellem vinterkoncentrationen af kvælstofnæringssalte i de åbne farvande og vinterafstrømningen (december, januar og februar) fra land.

Vinterkoncentrationen af fosfat-fosfor falder fra 1975 til et minimum i 1979, hvorefter den stiger til 1975-niveauet i 1981-83. Udviklingen svarer ikke til udviklingen i belastningen fra land.

Østersøen har større indflydelse på de indre farvandes saltholdighed end på næringssaltene. Udviklingen i overfladelaget i Arkona Bækkenet viser ingen generel stigning for perioden 1975-81. Østersøens indflydelse på vinterkoncentrationen af næringssalte i Bælthavet og Kattegat er således relativ svag. Derimod påvirkes næringssaltkoncentrationen i Kattegat og Bælthavet væsentligt af tilførsler af næringsrigt bundvand fra Nordsøen.

9.4.1.4 Planteplanktonets produktion i tid

Det fremgår af kapitel 7, at planteplanktonets årsproduktion er steget i løbet af de sidste 30 år.

Årsproduktionen er omtrent blevet fordoblet i Store Bælt. Stigningen er sket i løbet af 1970'erne. I det vestlige Kattegat og Øresund er årsproduktionen sandsynligvis steget på samme måde.

Udviklingen i næringssaltene koncentration kan belyses for fosfat fra begyndelsen af 1950'erne med rimelig sikkerhed, mens der først er data for kvælstof-nærings-saltene fra begyndelsen af 1970'erne.

Fra Øresund, det østlige Kattegat og Arkona Bækkenet vides, at fosfatkoncentrationen i bundvandet er steget fra 1950'erne. Det er sandsynligt, at der overalt er sket en stigning i fosfatkoncentrationen. Stigningen mellem perioderne 1950-69 og 1970-79 har været på ca. 14 µg fosfat pr. liter i Øresunds bundvand. Stigningen i de øvrige farvandsområder har formentlig været noget mindre.

Den store stigning i planteplanktonets produktion i den sidste halvdel af 1970'erne er direkte relateret til stigninger i koncentrationen af kvælstofnærings-salte i overfladelaget i vinterhalvåret.

9.4.2 Langtidsvariationer i bundvandets iltindhold

Der er ikke påvist nogen generel udvikling i det østlige Kattegat, Øresund og sydlige Lille Bælt.

I den vestlige Østersø (Femer Bælt - Arkona Bækkenet) er indholdet i bundvandet faldet siden begyndelsen af århundredet.

9.5 KONKLUSION

Iltsvindstilfældene og fiskedødshændelserne i danske og omkringliggende farvande i sensommeren 1981 skyldtes en række sammenfaldende omstændigheder. Der var således en betydeligt større afstrømning fra land end normalt i vinteren 1980/81. Der var en lang sommerperiode med stagnerende bundvand. Vinden var også betydeligt svagere i september end normalt. De 2 sidstnævnte forhold har nedsat tilførslen af ilt til bundvandet fra overfladelaget.

Lignende meteorologiske og fysiske forhold er dog forekommet, f.eks. i midten af 1950'erne og igen i slutningen af 1960'erne, uden at have medført så alvorlige konsekvenser som i 1981. Også i 1983 konstateredes der udbredt iltsvind. De meteorologiske og fysiske forhold i 1981 synes således kun at have været den udløsende faktor for iltsvindet, mens den egentlige årsag skal søges i en stigende belastning med næringssalte, især kvælstof, og en deraf følgende større produktion af organisk stof med påfølgende større iltforbrug.

Den forøgede afstrømning medførte en høj startkoncentration af kvælstofnæringssalte, der igen skabte grundlaget for en ekstraordinært stor planteplanktonproduktion i foråret. Skaderne på havbundens dyresamfund var store. Således blev over halvdelen af det område hvis dyresamfund kaldes "fjordsamfundet" og som også dækker visse af vore åbne havområder, lagt øde hen. Der var iltsvind i et område, der som minimum dækker et areal som Fyn og Sjælland tilsammen.

Vore kystvande og havområder er påvirket af tilførsel af næringssalte fra vort eget landområde, fra nabolandenes landområder, via atmosfæren og fra de tilstødende vandområder - Nordsøen og Østersøen. Også i disse sidstnævnte have (for Nordsøen dog kun kystvandene) kan der konstateres en øget næringssaltbelastning hidrørende fra de landområder, der grænser til dem.

Jo tættere vi kommer til kysten, og jo mere lukket havområdet er, i desto større grad spiller de lokale tilførsler en rolle. I en række af vore mere lukkede fjord- og bugtområder er der konstateret en utilfredsstillende vandkvalitet, der er forårsaget af lokale tilførsler af næringssalte. Amtskommunerne og Hovedstadsrådet bør i forbindelse med den igangværende recipientkvalitetsplanlægning være opmærksom på dette forhold. Der bør træffes foranstaltninger på grundlag af recipientkvalitetsplanlægningen, der vil medføre, at der i de kommen-

de år vil ske en formindskelse af næringssalttilførslerne fra det danske landområde. Herudover kan igangsatte undersøgelser vedrørende kilderne til belastningen af vore havområder med kvælstof, fosfor og organisk stof vise behov for, at der yderligere sker indgreb over for eventuelle udledningstyper, der ikke kan styres via recipientkvalitetsplanlægningen, men kun gennem foranstaltninger baseret på centrale initiativer.

En væsentlig formindskelse af belastningen af de åbne danske havområder med næringssalte vil dog ud over de nævnte foranstaltninger kræve en bredere indsats.

Man må her tænke på, at det ikke blot er kyststaterne, men hele Central-europa, der afvander til disse have. Fra dansk side bør den nationale indsats for begrænsning af næringssaltudledningerne suppleres med en aktiv indsats i international sammenhæng - i de internationale havkonventioner og i det europæiske fællesskab - for at fremme begrænsningen af næringssaltudledningerne fra alle lande, der bidrager til belastningen af vore have.

I nærværende udredning er forholdene belyst på grundlag af oplysninger, der eksisterede, da udredningen blev iværksat eller oplysninger, der er tilvejebragt i udredningsperioden gennem tidligere planlagte undersøgelser.

Udredningen har blandt andet peget på betydningen af næringssaltene. For at formindske tilførslerne af næringssalte, er der - dels for en række foranstaltninger, dels for en række af vore kystvande - et tilstrækkeligt godt beslutningsgrundlag for at gribe ind. Det drejer sig blandt andet om følgende:

Foranstaltninger

- yderligere begrænsning af udledninger af organisk stof, næringssalte og andre forurenende stoffer fra kommunale spildevandsanlæg og virksomheder på grundlag af gennemførte recipientundersøgelser og den igangværende recipientkvalitetsplanlægning,
- en mere aktiv indsats mod ulovlige udledninger fra spildvandsanlæg, virksomheder og landbrugsejendomme,

- forbedrede opbevaringsforhold for fast gødning, ajle, gylle og ensilage på landbrugsejendomme ved at foretage en opstramning af miljøreglementets bestemmelser i kap. 5 om møddinger, gødningstanke og ensilagestakke m.v., således at forureningen af vandløb og grundvand fra møddinger, ajlebeholdere, gyllebeholdere og ensilagestakke mindskes,
- en mere målrettet indsats fra landbrugets side for at begrænse tabet af næringsalte ved udvaskning og/eller overfladeafstrømning.

Der skal i det følgende peges på en række initiativer, der vil kunne forbedre vor viden og danne grundlag for bedre beslutninger, hvor der er behov herfor, og som i visse tilfælde vil kunne styrke vor argumentation i forhandlinger med andre lande om en nødvendig koordineret indsats. Der er specielt tale om følgende:

Forbedret kendskab til belastningerne

- etablering af harmoniseret registrering af belastningsdata hos de kommunale myndigheder og med mulighed for dataoverføring til et centralt register, således at samlede belastningsvurderinger kan foretages hurtigere og mere nøjagtigt.
- amtskommunernes og Hovedstadsrådets løbende målinger af transporten i vandløbene af næringssalte (og andre forurenende stoffer) bør styrkes.
- vor viden om stoftilførslen til vandløbene fra det åbne land i relation til arealanvendelsen må forbedres.
- belastningen af vore vandområder fra spildevandsanlæggenes overfaldsbygværker og regnvandsudledninger er dårligt kendt og bør bestemmes bedre.
- tilførsel af næringssalte og andre forurenende stoffer via atmosfæren til vore havområder bør bestemmes mere sikkert ved etablering af målestationer på øer langt fra kysten.
- belastningen af vore havområder fra nabofarvande bør bestemmes bedre og mere løbende ved øget overvågning af de åbne farvande, forbedret kendskab til strømforholdene (bl.a. på grundlag af satellitobservationer) og forbedrede beregningsgrundlag.

Forbedret kendskab til processerne i havet

- udbygning af viden om omsætning af næringssalte i havet, specielt denitrifikationen, hvorved kvælstofnæringssalte frigives til atmosfæren som frit kvælstof.
- udbygning af viden om næringssaltes optagelse i levende organismer og afgivelse af disse til vandmasserne ved stofskifte, død og nedbrydning.
- forbedret overvågning vedrørende giftige algearter og etablering af laboratoriefaciliteter til hurtig bestemmelse af giftighed for algerne og fiskerierhvervets produkter.
- forbedret beregningsgrundlag for næringssaltenes omsætning, produktion af levende organismer og disses henfald og iltforbrug i forbindelse hermed.
- fortsat udvikling af overvågningsmetoder for kystvande og åbne havområder, herunder biologiske effektivurderinger.
- forbedrede vurderinger af eventuelle sammenhænge mellem fiskeritryk og økosystemforskydninger.

ISBN 87-503-4881-7
Stougaard Jensen, København
Pd 00 233
Pris kr. 100,- netto moms