

PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesparken 2 Postboks 1870 5024 Bergen

Tlf.: 55 23 85 00 Faks: 55 23 85 31

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 05 90 00

Faks: 37 05 90 01

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Faks: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Faks: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

9202.7

Oppdragsgiver(e):

Oppdragsgivers referanse:

SFT nr. 96337

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 1 - 1998

Tittel: UTARBEIDELSE AV ET PROGRAM FOR OVERVÅKNING AV
EUTROFITILSTAND OG -UTVIKLING I NORSKE
KYSTFARVANN BASERT PÅ BÅDE TRADISJONELLE OG
HØYTEKNOLOGISKE METODER

Senter:

Marint miljø

Seksjon:

Fysisk oseanografi

Forfatter(e):

G. Ottersen, S. E. Aasen, J. Aure, D. Danielssen, T. Johnsen,
J. Magnusson, J. Molvær, M. Ostrowski, H. R. Skjoldal, E.
Svendsen, H. Søiland, K. Sørensen og K. Tangen.

Antall sider, vedlegg inkl.:

134

Dato:

31.01.98

Sammendrag:

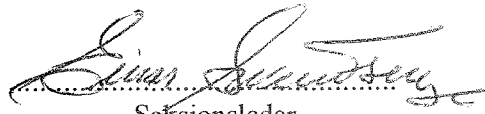
Denne rapporten beskriver metoder for å effektivisere dagens overvåkningsstrategi for eutrofiering gjennom et "case-study" av Skagerrak. Som et grunnlag for vurderinger av de ulike overvåkningsmetoder gjøres det en grundig undersøkelse av variabilitet i rom og tid hos viktige eutrofieringsrelevante parametre. Tradisjonelle og nyutviklede prøvetakingsstrategier beskrives og styrker og svakheter diskuteres. Forslag til metoder og kombinasjoner av metoder det bør satses på legges fram.

Emneord - norsk:

1. Overvåkningsprogram
2. Overvåkningsmetode
3. Eutrofiering

Emneord - engelsk:

1. Monitoring program
2. Monitoring methods
3. Eutrophication


Prosjektleder
Seksjonsleder

R 5355

FORORD

Den foreliggende rapport presenterer resultatene fra et prosjekt som Havforskningsinstituttet, NIVA og Oceanor har gjennomført for Statens Forurensningstilsyn (prosjektnr. 96/5787-/JRS).

Følgende målsetning var gitt:

Gjennom et reelt "case-study" skal prosjektet vurdere i hvilken grad og hvordan dagens overvåkingsstrategi kan effektiviseres. Prosjektet skal foreslå et overvåkingsprogram som kombinerer tradisjonelle og nyutviklede prøvetakingsstrategier, samt forskjellige databehandlingsmetoder (statistisk analyse og numeriske modeller) slik at utsagnskraften blir størst mulig uten at kostnadene øker tilsvarende.

Følgende hovedaktiviteter var definert:

A. Oppsummering av oseanografi og planktonproduksjon i Skagerrak

B. Karakterisering av romlig og tidsmessig variabilitet

- Romlig variabilitet i målte felt av tetthet, hydrografi og næringssalter karakterisert bl.a. ved geostatistiske metoder
- Tidsmessig variabilitet i målinger av hydrografi, strøm, næringssalter og algeparametre fra faste snitt, faste hydrografiske stasjoner og bøyer
- Romlig og tidsmessig variabilitet i hydrografi, strøm og næringssalter fra modell-simuleringer

C. Kost/nytte vurderinger av overvåking av næringssalter og eutrofi i forhold til variabilitet i oseanografiske forhold og ulike behov hos offentlige og andre brukere

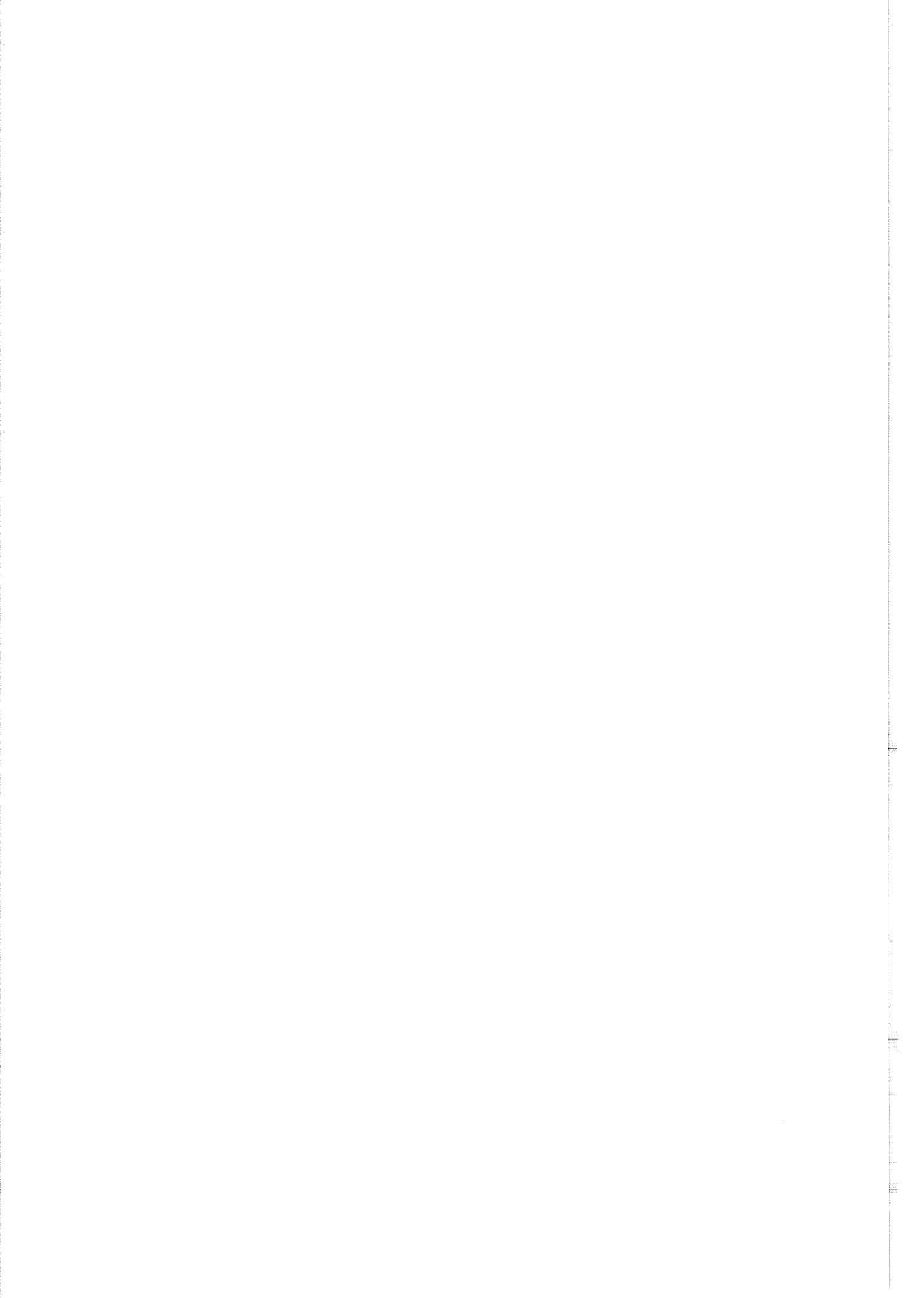
D. Forslag til modulært oppbygd program for overvåking av eutrofitilstand og -utvikling i vannfasen i kystfarvann

Prosjektgruppen fant det dessverre svært vanskelig å oppfylle målsetningen fullt ut innenfor prosjektets rammer. Økonomiske kost/nytte vurderinger og en beskrivelse av et fullstendig program ble sett på som svært omfattende oppgaver og er bare delvis gjennomført. Prosjektarbeidet har fokusert på en grundig analyse av romlig og tidsmessig variabilitet i området og beskrivelse og vurdering av de ulike overvåkingsmetoder og kombinasjoner av disse. På bakgrunn av dette har en kommet fram til prinsipper for et program for overvåking av eutrofitilstand og utvikling i kystfarvann og forslag til forbedringer av det eksisterende programmet.

Torbjørn Johnsen har koordinert arbeidet ved NIVA hvor Kai Sørensen har analysert og vurdert data fra satelittfjernmålinger, Jan Magnusson data fra Kystovervåkingsprogrammet og Jarle Molvær oksygendata fra terskelbassenger.

Ved Oceanor har Karl Tangen og Svein Erik Aasen stått for analyse og vurderinger av observasjoner av ulike parametre fra bøyer.

Ved Havforskningsinstituttet har Einar Svendsen og Didrik Danielssen stått for oppsummeringen av oseanografi og planktonproduksjonen, Marek Ostrowski har foretatt den geostatistiske analysen, Geir Ottersen den øvrige romlige og den tidsmessige analysen av observasjoner, mens Henrik Sjøiland har stått for modellkjøringer og analyse av modellresultater. Jan Aure og Hein Rune Skjoldal har i tillegg til de nevnt ovenfor deltatt i vurderingen av datainnsamling ved områdedekkende tokt, faste snitt og faste stasjoner. Hein Rune Skjoldal og Geir Ottersen har ledet prosjektet.



INNHold

	Side
Forord	iii
Innhold	v
Sammendrag	vi
English Summary	x
A. FYSISK OSEANOGRAFI OG PRIMÆRPRODUKSJON I SKAGERRAK	1
A.0. Innledning	1
A.1. Oseanografi	1
A.2. Primærproduksjon	3
A.1.3. Definisjon av marin eutrofiering	7
B. KARAKTERISERING AV ROMLIG OG TIDSMESSIG VARIABILITET	8
B.0. Materiale og metoder	8
B.1. Romlig variabilitet i målte felt av hydrografi og næringssalter	11
B.2. Tidsmessig variabilitet i målinger av hydrografi, strøm, næringssalter og algeparametre fra faste snitt, faste hydrografiske stasjoner og bøyer.	31
B.3. Romlig og tidsmessig variabilitet i hydrografi, strøm og næringssalter fra modellsimuleringer.	64
C. KOST / NYTTE VURDERING OG OVERVÅKING AV NÆRINGSSALTER OG EUTROFI I FORHOLD TIL VARIABILITET I OSEANOGRAFISKE FORHOLD OG ULIKE BEHOV HOS OFFENTLIGE OG ANDRE BRUKERE	81
C.0. Innledning	82
C.1. Områdedekkende tokt	84
C.2. Faste snitt	85
C.3. Faste stasjoner	86
C.4. Kontinuerlige målinger fra bøyer	90
C.5. Oksygenforhold i terskelbassenger	94
C.6. Satelittfjernmåling	97
C.7. Modeller	105
C.8. Kombinasjon	106
D. FORSLAG TIL PRINSIPPER FOR PROGRAM FOR OVERVÅKING AV EUTROFITILSTAND OG -UTVIKLING I VANNEFASEN I KYSTFARVANN	108
D.1. Prinsipper	109
D.2. Hvordan forbedre dagens system	108
REFERANSER	112

Sammendrag

Denne rapporten beskriver metoder for å effektivisere dagens overvåkningsstrategi for eutrofiering gjennom et "case-study" av Skagerrak. Som et grunnlag for vurderinger av de ulike overvåkingsmetoder gjøres det en grundig undersøkelse av variabilitet i rom og tid hos viktige eutrofieringsrelevante parametre. Tradisjonelle og nyutviklede prøvetakingsstrategier beskrives og styrker og svakheter diskuteres. Forslag til metoder og kombinasjoner av metoder det bør satses på legges fram.

Skagerrak er en del av overgangsområdet mellom Østersjøen og Nordsjøen og er sterkt påvirket av begge. De hydrobiologiske forhold er svært komplekse og dynamiske og tildels ukjente. Produksjonen i Skagerrak er høy, nesten dobbelt så høy per flateenhet som i Nordsjøen. Store deler av vannmassene i Nordsjøen strømmer innom Skagerrak, noe som bidrar til den høye produksjonen gjennom tilførsler og fokusering av biomasse. Skagerrak er av stor økonomisk betydning for de omliggende land.

Det er en klar sammenheng mellom variabiliteten i parametrene og kravene som stilles til hyppighet og nøyaktighet på målingene. I områder med liten variabilitet på kortere tidskalaer, f. eks. i dypet av Norskehavet, er det behov for målinger med høy nøyaktighet, men hyppigheten kan være liten. I områder med stor variabilitet på korte tidskalaer og avstander, som i de øvre lag i Skagerrak, vil kravene til målenøyaktighet ofte være mindre. Her må det til gjengjeld måles vesentlig oftere for fange opp variabiliteten.

Overvåking kompliseres av at det er store forskjeller mellom de ulike eutrofirelevante variabler både mhp størrelsen på variansen i løpet av et år og når på året maksimum og minimumsverdier inntreffer. Modellresultater har også vist at store variasjoner i årlig primærproduksjon forekommer. Løste næringssalter som nitrat, fosfat og silikat viser stor variabilitet, standardavviket ligger mellom vel 50 og vel 100% av middelveidien. Variasjonen er størst i overflatelaget. For totalnitrogen, totalfosfor og partikulært organisk materiale er variasjonen over året mindre (ca. 50%).

For de fleste variabler vil det være vanskelig å estimere realistiske endringer i årsmidler ut fra tradisjonelle observasjoner hvilket betyr at en sammenligning bør foretaes på årstidsbasis, f.eks. i de sesonger hvor variabiliteten er liten sammenlignet med middelveidien. Dette taler mot en jevn observasjonshyppighet over året for alle variable.

Et overvåkingsprogram må ta hensyn til at konsentrasjon og fordeling av næringssalter i havet er sterkt påvirket av såvel fysiske som biologiske prosesser. En fokusering av overvåkingsinnsatsen til vintermånedene vil f. eks. begrense effekten av biologi slik at hydrografiske forandringer blir hovedkilden til variabilitet i tillegg til eventuelle variasjoner i antropogene effekter.

En hovedoppgave for overvåkingsprogrammet vil være å kunne påvise en eventuell gradvis utvikling på en bakgrunn av store naturlige variasjoner. For å kunne gjøre dette på en rasjonell måte, og for å kunne ha rimelig klare forventninger til hvilke endringer man vil kunne påvise, må programmet bygges på et statistisk grunnlag. De statistiske vurderingene må som minimum ta utgangspunkt i svarene på følgende to spørsmål: 1. Hvor store endringer i konsentrasjon/forbruk er det viktig å kunne påvise? 2. Hvilken statistisk sannsynlighet vil man ha for at konklusjonen er riktig?

Dersom variabilitet i temperatur i Skagerrak fordeles på komponenter på mer enn 12 måneder, fra 3 til 12 måneder og mindre enn 3 måneder, vil variasjon innenfor 3-12 måneder, "sesongvariasjon", dominere i de øverste lag. På 50 meters dyp ligger 50 til 75 prosent av variabiliteten i dette frekvensintervallet. Bidraget på mellomårlig og lengre skala utgjør på dette dypet kun ca 10 prosent på rendene av bassenget. I det sentrale området, hvor oppholdstiden til vannmassene er mye lenger enn nær kysten, utgjør den 30 prosent av totalvariasjonen.

Den prosentvise betydning av langtidsvariabiliteten i temperatur øker dramatisk med dypet. Nær bunnen på de to dypeste stasjonene undersøkt, på henholdsvis 240 meter og 600 meters dyp, er over 90% av variabiliteten på mellomårlig eller lengre tidsskala, mens variasjon på mindre enn 3 måneders skala er så godt som fraværende.

Sesongvariasjonen i saltholdighet er, som forventet, ikke så dominerende i de øvre lag som hos temperatur. På 50 meters dyp ligger fra 25 til 50 prosent av variansen i intervallet 3-12 måneder. Den prosentvise betydning av langperiodisk variasjonen øker med dypet, men ikke så klart som for temperatur.

Den totale variabilitet i saltholdighet, temperatur og tetthet avtar dramatisk med dypet. Eksempelvis er den totale variansen i saltholdighet 10 km utenfor Arendal på 20 meters dyp 13% av verdien i overflaten, på 50 meter kun 2% av overflateverdien. Reduksjonen i varians med dypet er hovedsaklig av samme størrelsesorden på de ulike frekvensintervaller.

Modellresultater indikerer at den romlige korrelasjonen for saltholdighet faller raskt med stigende avstand. Langs snittet Torungen-Hirtshals forklarer variasjonen i modellert saltholdighet på 5 meters dyp i middel bare halvparten av variasjonen 20km unna (korrelasjon på 0.7).

Områdedekkende tokt er den form for overvåking som gir grundigst informasjon om eutrofirelevante parametre for et gitt område og til en viss tid. Denne formen for datainnsamling er viktig for å karakterisere fordeling av vannmasser og variasjon i rom. Kartlegging av næringssaltkonsentrasjoner og hydrografiske forhold gir informasjon om næringssaltene fordelingsmønstre i relasjon til vannmassenes fordeling og biologisk produksjon. Høye kostnader setter begrensninger for antall toktdøgn. Det er derfor viktig at datainnsamlingen foregår til den eller de tidene på året som gir mest nytte i forhold til målsettingen. Dersom det primære er å kunne sammenligne fra år til år vil det være mest hensiktsmessig å velge en tid på året da variasjon på kort tidsskala er liten. Det bør satses mer på å utnytte den romlige informasjon fra områdedekkende tokt i sammenheng med andre datakilder. Numeriske modeller kan initieres med interpolerte felt fra toktdata og modellresultater kan benyttes for å vurdere representabiliteten i målinger fra faste stasjoner.

Hovedmålsetningen med faste snitt er å overvåke storskala variasjon i hydrografi og næringssalter. Snittet Torungen-Hirtshals tas i dag med en hensiktsmessig hyppighet på ca 1 gang i måneden. Avstandene mellom stasjonene, i størrelsesorden 10 km inne ved kysten og 20 km i det sentrale området, er i overensstemmelse med det som er funnet ønskelig ut i fra variabilitetsberegninger.

Rutegående fartøyer, "ships of opportunity" kan være svært kostnadseffektive redskaper for innsamling av mange typer data fra det marine miljø. Med det satelittbaserte GPS (Global Positioning Service) systemet ble posisjonsbestemmelse av slike observasjoner svært nøyaktig. Det arbeides nå på flere fronter for ytterligere å effektivisere denne formen for datainnsamling også for andre parametre enn hydrografi som har vært målt fra hurtigruteskip fra 1935.

Potensialet til denne rimelige metoden blir ikke utnyttet fullt ut i dagens overvåkingssystem og en økt satsning på måling fra rutegående fartøyer anbefales.

Da de fleste eksisterende overvåkingssystemer opererer med faste stasjoner i basisprogrammene og det her også foreligger lange historiske serier, er det naturlig å beholde slike stasjoner som ryggraden også i framtidige overvåkingssystemer. Valg av variable (ambisjonsnivå), plassering av og antall stasjoner, observasjonsdyp og observasjonsfrekvens er viktig. Observasjonsfrekvensen kan med fordel økes i de øvre vannmasser til ca. 1 gang pr. uke, mens nåværende observasjonsfrekvens (1-2 ganger i måneden) bør være tilstrekkelig i de dypere vannlag. Det må vurderes å redusere antall stasjoner til fordel for høyere intensitet på noen av dem. Det finnes i dag ikke objektive kriterier for valg av stasjoner for langtidsovervåking. Forekomsten av eldre observasjoner bør derfor være en viktig faktor i framtidige valg.

Flere av de viktigste eutrofirelevante parametrene har en stor del av variabiliteten på så høye frekvenser at den ikke fanges opp av den observasjonsfrekvens som er praktisk mulig med tradisjonelle målemetoder. Med den frekvensen en automatisk bølge kan operere på vil en derimot få med den vesentlige del av totalvariabiliteten. En multisensor-bølge, f. eks. SEAWATCH, vil være godt egnet for å registrere variasjoner i vannmassene nær bølgen som skyldes eutrofiering. Den store romlige variabiliteten på tvers av den dominerende strømretningen i Skagerrak, selv på forholdsvis korte avstander, gjør at måleverdiene fra en enkelt bølge kun er representative for et lite område. Det vil være nødvendig med mange bølger for å få et bra bilde av variabiliteten over hele området. Med dagens kostnadsnivå kan bølger anbefales til måling i streder, enkelte fjorder og ellers i situasjoner der enkeltbølger er tilstrekkelig. For større, åpne områder må denne teknologien kombineres med andre metoder.

Formålet med overvåking av terskelbassenger vil være å bruke utviklingen i organisk belastning på bassengvannet i terskelfjorder som metode i overvåking av eutrofitilstand på den aktuelle kyststrekningen. Spesielt interessant er direkte overvåking av oksygenforholdene. Målinger i dypet av terskelbassenger langs sørlandskysten viser for 1990 årene at oksygenforbruket er ca. 50% høyere enn i tilsvarende basseng langs den norske vestkyst. Historiske oksygenmålinger tyder på at økningen i Skagerrak hovedsaklig fant sted i første del av 1980-årene. Grunnet sterk utveksling med kystvann og neglisjerbare lokale næringstilførsler, må det antas at det økte oksygenforbruket er knyttet til storskala eutrofiering (ca. 40% økt produksjon) av Skagerraks kystvann. Spesielt i de innstrømmende vannmasser på danskesiden kan det forekomme store variasjoner i oksygenkonsentrasjonene fra måned til måned, og dette er knyttet til oksygenforbruk utenfor Skagerrak.

Satelittfjernmåling kan i utgangspunktet gi informasjon om havoverflaten med svært god oppløsning i både rom og tid. Selv med de begrensninger som følger av skydekke og lav solhøyde er dette metodikk som har et større potensiale enn det som i dag utnyttes i overvåkingssammenheng. Potensialet innen kystovervåking er i det siste økt betraktelig som følge av sensorene SeaWIFS på en av ESA satelittene. Disse er konstruert slik at de gir mer og bedre informasjon om kystvann. Ytterligere forbedringer kommer med det nært forestående MERIS. For å få mer ut av de store informasjonsmengdene som satelittene gir er det nødvendig å ikke være tilfreds med rene bildeprodukter, men få omsatt informasjonsinnholdet til pålitelig statistisk tallmateriale.

Tredimensjonale sirkulasjonsmodeller med en kjemisk-biologisk komponent er utviklet slik at de med stor nytte kan benyttes i et overvåkingssystem for Skagerrak. Men videre utvikling er nødvendig og vil gi forbedrete resultater i fremtiden. Kjemisk-biologiske modeller er i liten

grad benyttet i operasjonelle overvåkingsprogrammer i dag, men både for å opparbeide erfaring og for at utviklingen skal tilpasses denne type anvendelse, er det viktig at modellene blir aktivt brukt. En stor fordel med modeller er at man her kan skille mellom antropogen og naturlig variabilitet, og at man kan simulere sannsynlige effekter av framtidige forvaltningstiltak.

Det kanskje minst kostnadskrevede område for forbedringer er metodene som benyttes for analyse av de innsamlede data. Mange av dataseriene er undersamplede i forhold til det som må til for å få med seg det meste av variabiliteten. I dag benyttes det i liten grad metoder som tar hensyn til dette ved analyse / tolkning.

De ulike metoder som brukes innen eutrofiobservasjonen er svært forskjellige mhp. avgjørende egenskaper som hvilke parametre som måles, målehyppighet, romlig dekning og datakvalitet. De store forskjeller på sterke og svake sider tilsier at det er mye å hente på å utnytte det beste ved flere av metodene ved en tett koordinering. Numeriske modeller bør i større grad benyttes for å sette spredte data inn i en romlig og tidsmessig kontinuerlig sammenheng. De store datamengdene fra satellitter kan gjøres mer pålitelige og verdifulle ved å koble mot data fra fartøyer i faste ruter og bøyer. Bøyer bør også benyttes i sammenheng med toktprogram.

Summary

This report describes methods for enhancement of the current strategy for eutrophication surveillance through a case study of the Skagerrak region. As a basis for evaluation of different methods for monitoring eutrophication, spatial and temporal variability of relevant parameters is thoroughly analysed. Traditional and newly developed methods for gathering data are described, their strengths and shortcomings discussed. Finally methods and combinations of methods to focus on are put forward.

The Skagerrak is part of the transition zone between the Baltic and the North Sea and is strongly influenced by both. The productivity of the Skagerrak is high, nearly twice as high per unit area as the North Sea. The high level of productivity is partly due to the fact that a major part of the water masses in the North Sea are flowing through the region.

In areas like the upper layers of the Skagerrak, with a high degree of variability at short time scales and distances, the requirements on precision will most often be lower and the need for a high temporal resolution higher than in more stable areas.

The design of a suitable surveillance program is complicated by the fact that there are great differences between the various parameters of relevance for eutrofication both regarding the actual degree of variability throughout a year and the time of occurrence of maximum and minimum values.

For most parameters it is difficult to estimate realistic changes in yearly means based on traditional observations. This suggests that a year to year comparison should be made on a seasonal basis, for instance for those seasons when the variability is low compared to the mean value. This indicates that a uniform observation frequency throughout the year for all variables is not advisable.

A monitoring program must take into consideration that the concentration and distribution of nutrients in the sea is heavily influenced by both physical and biological processes. A focusing on the winter months would for instance reduce the effects of biology, leaving hydrographical changes as the main source of variance in addition to possible variability in antropogenic effects.

A main aim for a surveillance program is to detect a slowly developing trend against a background of large natural variations. The statistical basis for allowing a sound answer to this requires at minimum the answers to the following two questions: 1. What size of changes in concentration is it important to be able to detect? 2. Which probability level is wanted for the conclusion to be right?

The percentage of total temperature variability in the upper layers relating to seasonal variation is high while the interannual component is small close to the coast and somewhat larger in the central basin. The relative importance of variability at interannual and longer frequencies increases strongly with depth.

The total variability in salinity, temperature and density decreases dramatically with depth. 10km off Arendal the total variability in salinity was at 20m 13% of the surface value, at 50m only 2%. The reduction in variance with depth is similar at all frequency intervals.

The spatial correlation for salinity decreases rapidly with distance. At 5 meters depth along the section Torungen-Hirtshals, variability in modelled salinity explains on average only about half of the variability at locations 20km away.

Cruises with good spatial coverage is the form of surveillance giving the most thorough information for a given area and time. This kind of data gathering is important for characterisation of water masses and spatial distribution. The spatial information from such cruises could be enhanced further by coordinating with other methods. Numerical models could be initialized with fields interpolated from cruise data and results from models used to evaluate the degree of representability of measurements from fixed stations.

The main purpose of fixed sections is to monitor large scale variability in hydrography and nutrients. The section Torungen-Hirtshals is today measured once a month, a suitable temporal resolution. The distance between the stations is 10km close to the coast and 20km in the central areas. This agrees with what is advisable based on variability calculations.

Measurements from ships of opportunity are a reasonable and effective method for the gathering of many different kinds of data from the marine environment. IMR have measured hydrography on coastal ferries since 1935, but the potential of the method is at present far from fully utilized and further effort should be put in.

Fixed coastal stations play a central part in most current marine monitoring programs and long historical time series exist. It is therefore natural to build future monitoring programs around such stations. Choice of variables, position and number of stations, depth and frequency of observation are important. In the upper layers measuring once a week is recommended, further down the present intensity of 1-2 measurements per month is suitable. Reducing the number of stations to allow for a higher intensity at some selected locations must be considered.

Several of the most important eutrophication parameters have a large part of their variability at frequencies so high that they in practice can not be captured by traditional measurement methods. An automatic buoy will on the other hand register most of the total variability. A multisensor buoy, like e.g. SEAWATCH, is well suited for measuring variability in the surrounding water masses due to eutrofication. However, the great spatial variability perpendicular to the dominating current pattern in the Skagerrak, even at relatively short distances, leads to the measurements from one single buoy being relevant only for a small area. A number of buoys is necessary to give the picture for the whole area. With the cost of today SEAWATCH buoys are recommended for straits, some fjords and otherwise in situations where single buoys are adequate. To cover larger, more open areas use of buoys must be combined with other methods.

The oxygen conditions of fjord basins may be used as an indicator of the degree of eutrofication in nearby coastal areas.

Satellites are able to give information about the sea surface with a high resolution both in space and time. Even accounting for shortcomings related to cloudiness and low solar altitude this method has a potential beyond that which is utilized in the current surveillance program. The potential within coastal monitoring has lately been significantly enhanced by the introduction of the SeaWiFS sensors on one of the ESA satellites. These sensors are constructed to be able to give more and better information regarding coastal water masses. Further advancement follows in the near future when MERIS is launched. To utilize the large amount of information

from satellites it is necessary to move beyond the usual pictures and make the information available as reliable statistical material.

Three dimensional circulation models with a chemical-biological component available today could give a valuable contribution to a surveillance program for the Skagerrak. Further development is however necessary and will give improved future results. Chemical-biological models are presently not used much in operational monitoring programs, but both to gain experience and to make sure that the development takes these kinds of appliances into consideration, it is important that the models are actively used. An important property of models is that they can be used to separate between antropogenic and natural variability, and that probable effects of future management measures can be simulated.

The perhaps least costly area for enhancement relates to the methods currently used for analysing the sampled data. Many of the data series are undersampled compared to what is necessary to catch most of the variability. Methods taking this aspect into consideration are at present seldom used.

The various methods applied during surveillance of eutrophication differ a lot regarding important aspects as which parameters are sampled, temporal and spatial resolution and data quality. The great differences regarding strengths and weaknesses indicates that a lot can be gained by utilizing the best of several methods by a close coordination. Numerical models should to a larger degree be used to put scattered data into a spatially and temporally continuous context. The large amount of data from satellites can be made more reliable and valuable by linking them to data from ships of opportunity and automatic buoys. Buoys should also be utilized in combination with cruise programs.

A. FYSISK OSEANOGRAFI OG PRIMÆRPRODUKSJON I SKAGERRAK

A.0. Innledning

Skagerrak kan ses på som en del av overgangsområdet mellom Østersjøen og Nordsjøen og er sterkt påvirket av begge. Den årlige fiskeproduksjonen er rundt 7 gm^{-2} (I. Olsson, pers. samt.). Den høye produksjonen skyldes delvis tilførsler og fokusering av biomasse fra store deler av Nordsjøen som i gjennomsnitt kun har vel den halve produksjonen pr. flateenhet. Skagerrak er derfor av stor økonomisk betydning for de omliggende land og er også et oppvekst- og fødeområde for ca. 2/3 av sildestammen i Nordsjøen (Bøhle, 1989).

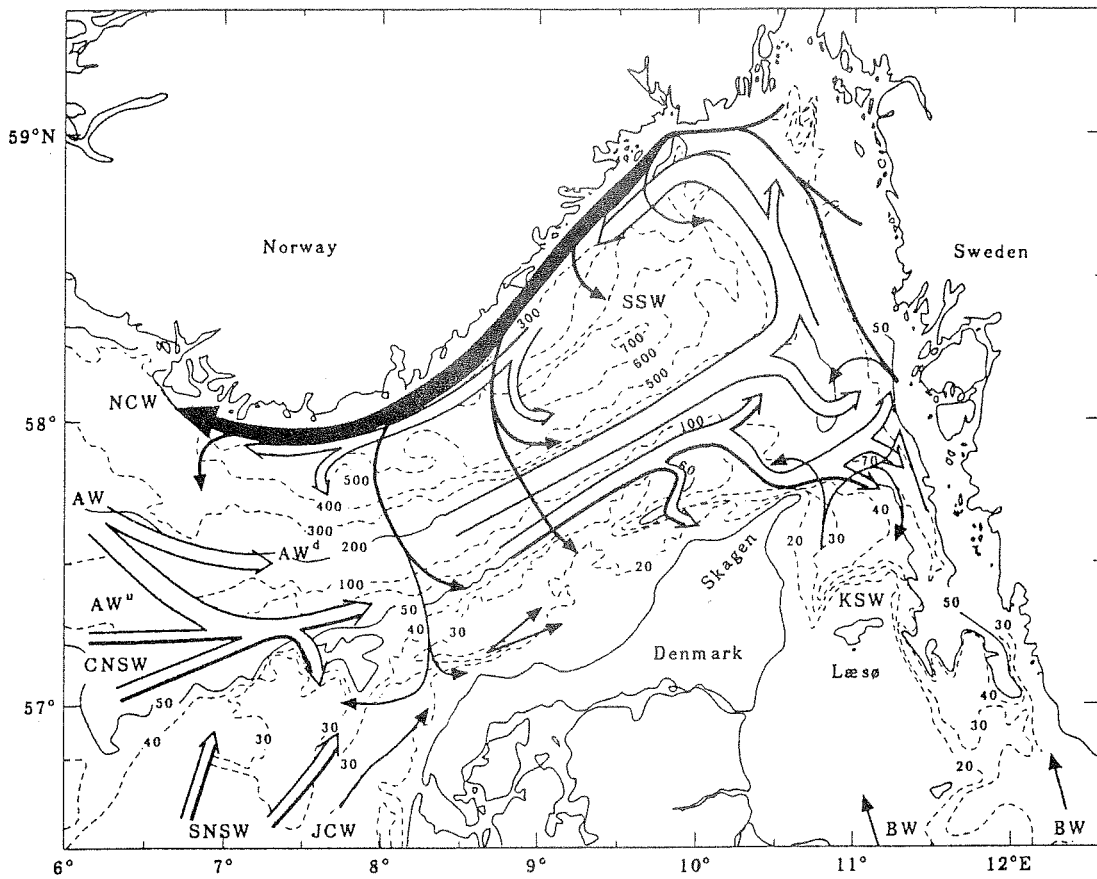
Grunnet topografien i Nordsjøen og Skagerrak, store tilførsler av ganske ferskt vann fra Østersjøen/ Kattegat og elvetilførsler, samt fremherskende sørlige og vestlige vinder, strømmer store deler av vannmassene i Nordsjøen innom Skagerrak som er et utsynkingsområde for forurensning fra kontinentet (Anon., 1993). De hydrobiologiske forhold er svært komplekse og dynamiske og tildels ukjente.

A.1. Oseanografi

Den generelle sykloniske sirkulasjonen og fordeling av vannmasser i Skagerrak er i hovedsak regulert av vannutvekslingen med Nordsjøen og den markerte bunntopografien (Figur A.1.1). Korttidsvariabiliteten av innstrømningen fra Østersjøen til Kattegat er regulert i hovedsak av vannstanden i Kattegat (Stigebrandt, 1980). Fordelingen av det relativt ferske overflatevannet (typisk rundt 20 m tykt) er sterkt influert av varierende vindforhold, men med svak vind vil overflatevannet i hovedsak følge den generelle sirkulasjonen (Figur A.1.1, Danielssen *et al.*, 1997). Upubliserte modellresultater (Svendsen, 1995) indikerer imidlertid en klar tendens til en antisyklonisk sirkulasjon og/eller fralandsstrøm (fra norskekysten) i overflaten i den østre del av Skagerrak, i motsetning til den dypere sykloniske sirkulasjonen.

Figur A.1.1 viser at flere vannmasser strømmer inn i Skagerrak fra Nordsjøen, og den totale innstrømningen kalles gjerne for Jyllandsstrømmen (Svansson, 1975). De åpne pilene indikerer dypere strømmer (som av og til når overflaten), mens de fylte pilene indikerer overflatestrøm med vann med lavere saltinnhold. Den generelle sirkulasjonen og mesoskala fenomen kan variere kraftig i styrke og tildels i rommet over kort tid, typisk dager (Danielssen *et al.*, 1991; Danielssen *et al.*, 1997; Rodhe, 1992). Den relativt barotrope innstrømningen på danskesiden er maksimalt rundt 1 knop, mens den vekslende barotrope/ barokline utstrømningen langs norskekysten gjerne kommer opp i 2-3 knop. Tidevannsstrømmene i Skagerrak er svært små og i denne sammenheng neglisjerbare.

Fra strømmålinger i mai, 1990 under SKAGEX (Dybern *et al.*, 1994; Danielssen *et al.*, 1991; Danielssen *et al.*, 1997) ble det estimert en vannutveksling med Nordsjøen på ca. 1 (+/- 0.5) Sverdrup ($1 \text{ SV} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Dette stemmer godt med modellerte transporter for samme periode (Skogen *et al.*, 1996a; Skogen *et al.*, 1996b; Svendsen *et al.*, 1995a; Svendsen *et al.*, 1996), og upubliserte modellresultater (Svendsen, pers.samt.) indikerer minst dobbelt så store transporter om vinteren. Til sammenligning er den maksimale utstrømningen fra Østersjøen rundt 0.1 SV, men ettersom dette er svært fersk vann får det stor betydning for de barokline



Figur A.1.1. Hovedtrekkene ved den generelle sirkulasjonen til vannmasser i Skagerrak og tilgrensede områder. Fylte og åpne piler indikerer henholdsvis overflate og dypere liggende strømmer. AW=Atlantisk Vann, AW^u = Atlantisk Vann Grunnt (upper), AW^d = Atlantisk Vann Dypt, BW= Østersjøvann (Baltic water), CNSW= Sentralt Nordsjøvann (Central North Sea water), JCW=Jyllands Kystvann (Jutland coastal water), KSW= Kattegat Overflatevann (Kattegat surface water), NCW= Norsk Kystvann (Norwegian coastal water), SNSW=Sørlig Nordsjøvann (Southern North Sea water), SSW= Overflatevann i Skagerrak (Skagerrak surface water) (fra Danielssen *et al.*, 1997).

krefter i Skagerrak, samt lagdelingen og dermed hvordan vinden påvirker forflytningen av vannmasser, blanding, varmefordeling, algevekst etc.

Det nitrogenrike (spesielt vinter- vår) Jyllandske Kystvann (JCW, se Figur A.1.1) stammer fra Tyskebukta og er påvirket av kontinentalt elvevann som gradvis blandes med nitrogen-fattig Sørlig Nordsjøvann (SNSW) på veien nordover langs vestkysten av Jylland (Danielssen *et al.*, 1991). Ved inngangen til Skagerrak må dette vannet konkurrere med andre vannmasser som er i området, med det resultat at det ofte ikke er noe innstrømning av dette vannet, spesielt ikke med nordlige vinder (Aure *et al.*, accepted; Aure og Johannessen, 1997). Både modellresultater (Svendsen *et al.*, 1996; Skogen *et al.*, 1996a; Skogen *et al.*, 1996b) og målinger (Danielssen *et al.*, 1997) viser at større innstrømninger gjerne forekommer i korte pulser med varighet noen dager - uke(r).

Overflatevannet i Skagerrak varierer gjerne i saltinnhold mellom 25-32 psu, typisk tykkelse på 20 (+/-10) m, og det strømmer som oftest ut i den norske delen av området (den Norske Kyststrøm). Sætre *et al.* (1988) viste at med nordlige vinder vil hovedutstrømningen skje sentralt og separert fra norskekysten. Under SKAGEX dekket dette vannet til tider det meste av Skagerrak helt sør til danskekysten, med utstrømning bl.a. sør for Hanstholmen under sterk nord-nordvestlig vind. Det relativt ferske vannet fra Kattegat strømmer inn til Skagerrak både langs svenskekysten og ved Skagen tildels avhengig av vindretningen. Lengre nord strømmer det vanligvis nordover langs svenskekysten, men ved nordlige vinder flyttes dette vannet vestover i Skagerrak og det kan settes opp en sørover rettet strøm langs svenskekysten. Dette medfører at vann fra Glomma som vanligvis påvirker norskekysten, til tider også påvirker svenske farvann.

Grunnet den generelle sykloniske sirkulasjonen, dannes det en mer eller mindre permanent oppløfting av de dypere vannmassene i de sentrale og dypeste områdene av Skagerrak. Denne "domen" (Pingree *et al.* 1982) eller ryggen (Danielssen *et al.*, 1991), karakterisert gjennom en løfting av isolinjene for saltholdighet, temperatur og næringsalter, varierer også over dager eller uker. Grunnet spesielle sirkulasjonsfenomen får den til tider en karakteristisk "twin peaks" form beskrevet av Danielssen *et al.*, (1997).

Kystoppstrømning er et fenomen som til stadighet forekommer med skiftende vindretninger. Spesielt om sommeren kan dette få drastiske konsekvenser for "badetemperaturen" som kan falle rundt 10 grader i løpet av få dager. Dette er igjen knyttet til at kystvann separeres fra kystene. Nyere modellresultater kan tyde på at man i området Jomfruland-Arendal kanskje har tendenser til semipermanent transport ut fra kysten med delvis oppstrømning.

Dypvannet i Skagerrak skiftes gjerne ut en gang i året, men det kan også gå flere år mellom utskiftningene. Disse skjer ofte om vinteren eller våren og er gjerne koblet til dannelse av tynne vann gjennom avkjøling av salt atlantisk vann over det nordlige nordsjøplata. I noen tilfeller skjer utskiftningen med direkte innstrømning av salt og relativt varmt atlantisk vann (Anon., 1997, Aure and Dahl, 1994).

A.2. Primærproduksjon

I Skagerrak begynner våroplomstringen gjerne i februar med maksimal blomstring i mars (ca. en måned senere i det sørlige innstrømningsområdet). Denne blomstringen består vanligvis

hovedsaklig av diatomeer, og begynnelse, varighet og styrke av denne blomstringen kan variere mye fra år til år. Dette skyldes skiftende værforhold og varierende egenskaper i de innstrømmende vannmasser. Det vil kunne gi store forskjeller dersom man skifter mellom sterk/svak innstrømning av atlantisk vann, sentralt-sørlig nordsjøvann eller vann fra Tyskebukten.

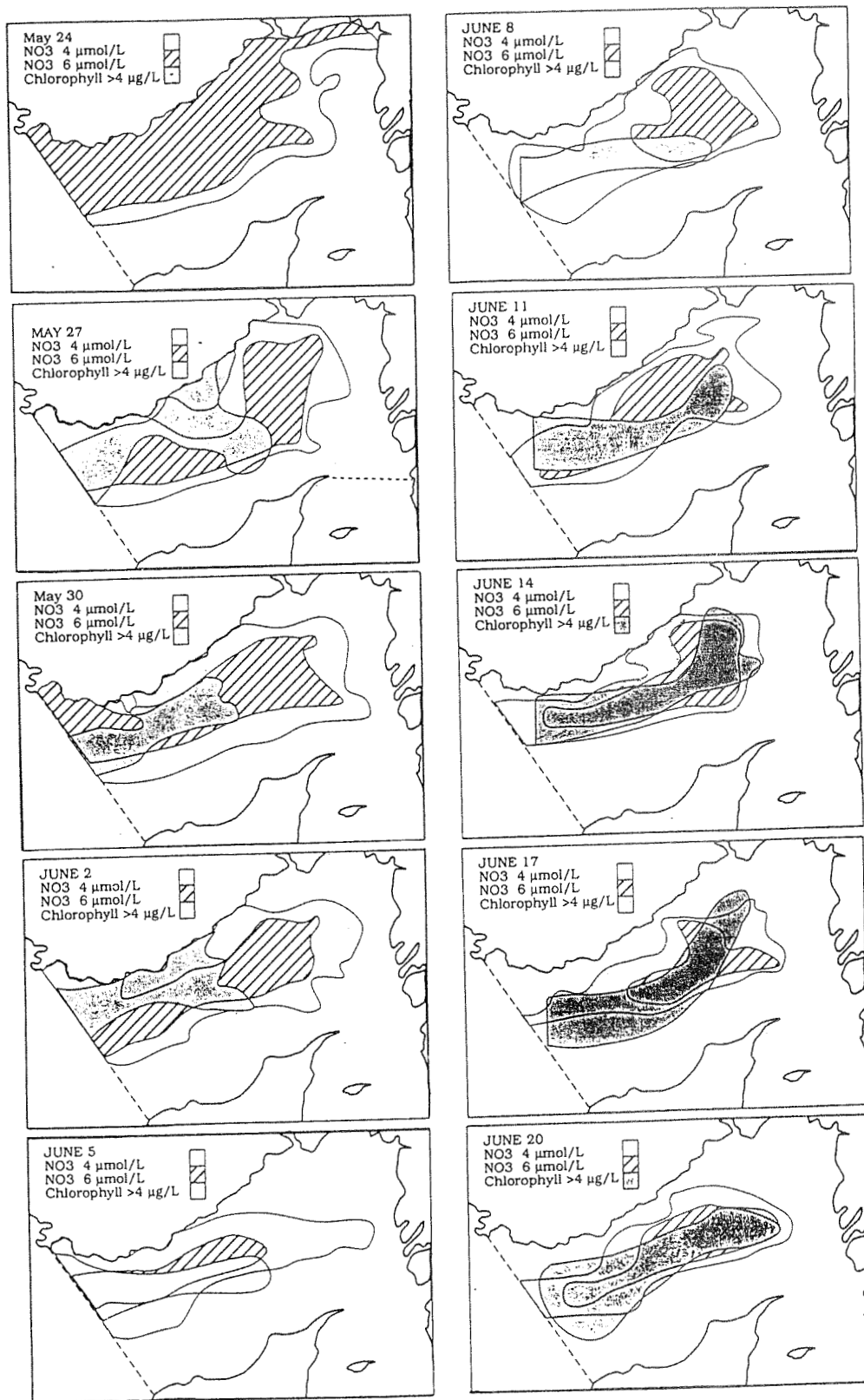
Om våren detekteres gjerne vann fra Tyskebukten gjennom høye nitratverdier og høye N/P forhold langs kysten av nord-Jylland og i de øvre 40-50 metrene langs norskekysten med maksimum i 20-30 m dyp. (Anon., 1996). Dette antar man medfører økt risiko for blomstring av skadelige alger (av type flagellater) som gjerne forekommer i april-juni.

Generelt finner man de høyeste verdiene av klorofyll-a langs kystene. Men dette kan til tider forskyves til de sentrale deler av Skagerrak som i større grad gjødsles nedenfra gjennom "doming" prosessen. Figur A.2.1 viser områdene med nitratkonsentrasjoner (i 30 m dyp) større enn 4 og 6 $\mu\text{mol/l}$ og klorofyll konsentrasjoner større enn 4 $\mu\text{g/l}$ målt under Skagex i mai/juni 1990. Konturene passer godt med bunntopografien, og Danielssen *et al.* (1997) foreslår at oppløftingen av næringsalter er knyttet til vertikal Ekman pumping drevet av den generelle sykloniske sirkulasjonen. Klorofyll maksimum ble som oftest funnet i 20 (10-30) m dyp og var om sommeren klart koblet til nutriklinen.

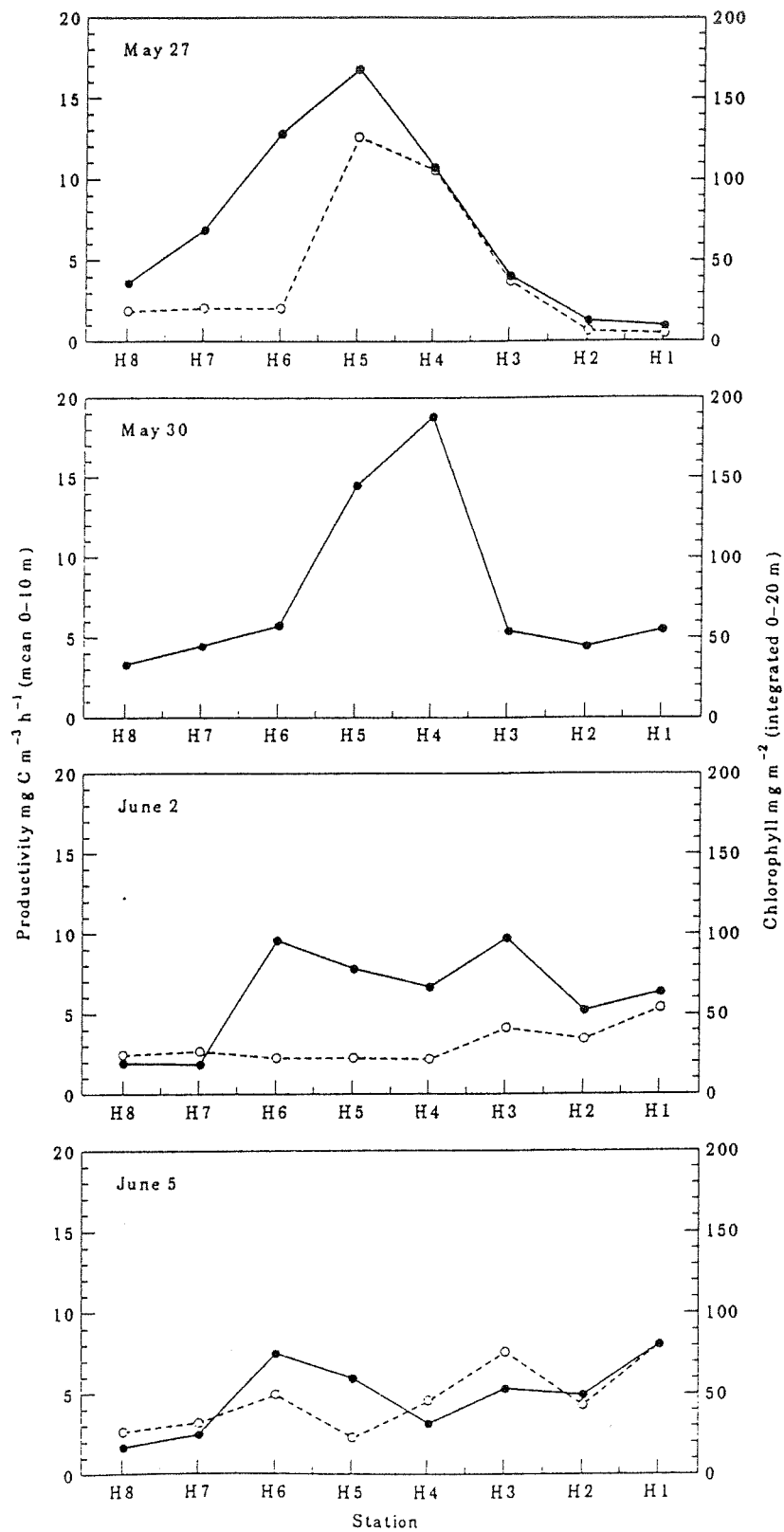
Oppstrømning spesielt langs den norske og svenske kysten av Skagerrak har vist seg å gi økt primærproduksjon. Et eksempel er en episode med sterk nord-nordvestlig vind og oppstrømningen langs Sørlandet som varte i 4-5 dager i mai, 1990. I det oppstrømmende vannet, rikt på næringsalter, var klorofyllkonsentrasjonene og primærproduksjonen lav. Et stykke fra kysten hvor saltholdigheten avtok, økte klorofyllkonsentrasjonen og primærproduksjonen med en faktor på 10 (Figur A.2.2, Danielssen *et al.*, 1997). Dette viser hvordan fronten mellom to vannmasser blir gjødslet av oppstrømmende vann som i seg selv er lite produktiv på en tidsskala av få dager. Det antas at de sporadiske kystoppstrømningsfenomen har atskillig mindre å si for produksjonen i Skagerrak enn den mer permanente oppstrømningen assosiert med "ryggen" eller "domen".

Modellresultater har vist at store variasjoner i årlig primærproduksjon forekommer. Den midlere modellerte primærproduksjonen i 1988 var ca. 130 $\text{gCm}^2\text{år}^{-1}$, mens den i 1993 var ca. 180. (Svendsen *et al.*, 1995b) Den høye produksjonen i 1993 skyldtes kraftig innstrømning av atlantisk vann nær overflaten, noe som overskygget effekten av signifikant lavere innstrømning av vann fra Tyskebukten. Målinger av primærproduksjon er svært ressurskrevende og derfor ikke tilgjengelig i den grad at det kan gis sikre integrerte estimat f.eks. over hele Skagerrak og over lengre tid (år). Det gjenstår derfor å finne egnede metoder for å validere slike modellresultater. Lindahl (1995) har utført intensive målinger og estimert den årlige primærproduksjonen ved munningen av Gullmarsfjorden på den svenske vestkysten i perioden 1985-1994. Han fant år til år variasjoner fra 180 til 340 $\text{gCm}^2\text{år}^{-1}$, med en median årlig produksjon på 230 $\text{gCm}^2\text{år}^{-1}$. Til sammenligning gir modellen ca. 200 $\text{gCm}^2\text{år}^{-1}$ i dette området. Målingene viser at våroppblomstringen i perioden februar-april står for nærmere 20% av årsproduksjonen, mens sommerproduksjonen utgjør nærmere 70%. Produksjonen i august alene var 18%. Eldre målinger og årlig produksjonsestimat på ulike steder langs den svenske vestkysten viser en variasjonsbredde på 80-230 $\text{gCm}^2\text{år}^{-1}$ (Olsson, pers. kom.). Det er imidlertid god grunn til å stille spørsmål ved nøyaktigheten på årlige produksjonsestimat basert på sporadiske målinger gjennom året ettersom den daglige produksjonen varierer sterkt med hensyn på varierende lysforhold.

Målinger av oksygenforholdene i dypet av terskelbassenger langs sørlandskysten viser for



Figur A.2.1 . Variasjonen i horisontal utbredelse av $4 \mu\text{mol l}^{-1}$ og $6 \mu\text{mol l}^{-1}$ av nitrat og klorofyllmaksimum under blandingslaget på mer enn $4 \mu\text{g l}^{-1}$ under SKAGEX 1 (fra Danielssen *et al.*, 1997).



Figur A.2.2. Integrerte verdier av klorofyll mellom 0 og 20 m og middelverdier av produktivitet mellom 0 og 10 m langs SKAGEX snitt H i det vestlige Skagerrak i perioden 27. mai til 5. juni 1990 (fra Danielssen *et al.*, 1997).

1990 årene at oksygenforbruket er ca. 50% høyere enn i tilsvarende basseng langs den norske vestkyst (Aure *et al.*, 1996). Historiske oksygenmålinger tyder på at økningen i Skagerrak hovedsaklig fant sted i første del av 1980-årene. Grunnet sterk utveksling med kystvann og neglisjerbare lokale næringstilførsler, må det antas at det økte oksygenforbruket er knyttet til storskala eutrofiering (ca. 40% økt produksjon) av Skagerraks kystvann. Spesielt i de innstrømmende vannmasser på danskesiden kan det forekomme store variasjoner i oksygenkonsentrasjonene fra måned til måned, og dette er knyttet til oksygenforbruk utenfor Skagerrak.

I de senere år er det blitt større oppmerksomhet rundt forekomster av maneter (geléplankton) som økologisk faktor, samtidig som kunnskapene om slike organismer er mangelfulle. Systematiske registreringer mangler, men det er en oppfatning at det må være "mye" maneter i havet og at de har stor betydning i næringsnett.

A.1.3 Definisjon av marin eutrofiering

Ved iverksettelsen av EØS-avtalen fra 1. januar 1994 er EUs rådsdirektiv for behandling av avløpsvann fra byområder (91/271/EØF) blitt gjeldende for Norge. I Anon. (1997) gjengis direktivets beskrivelse av eutrofi:

"Anrikning av vann med hensyn til næringsstoffer, særlig nitrogen- og/eller fosforforbindelser, som påskynder veksten av alger og høyrestående plantearter, noe som fører til uønsket forstyrrelse av likevekten mellom organismene i vannet og forverring av vannkvaliteten." (Art. 2, nr. 11).

B. KARAKTERISERING AV ROMLIG OG TIDSMESSIG VARIABILITET

B.0. Materiale og metoder

Data

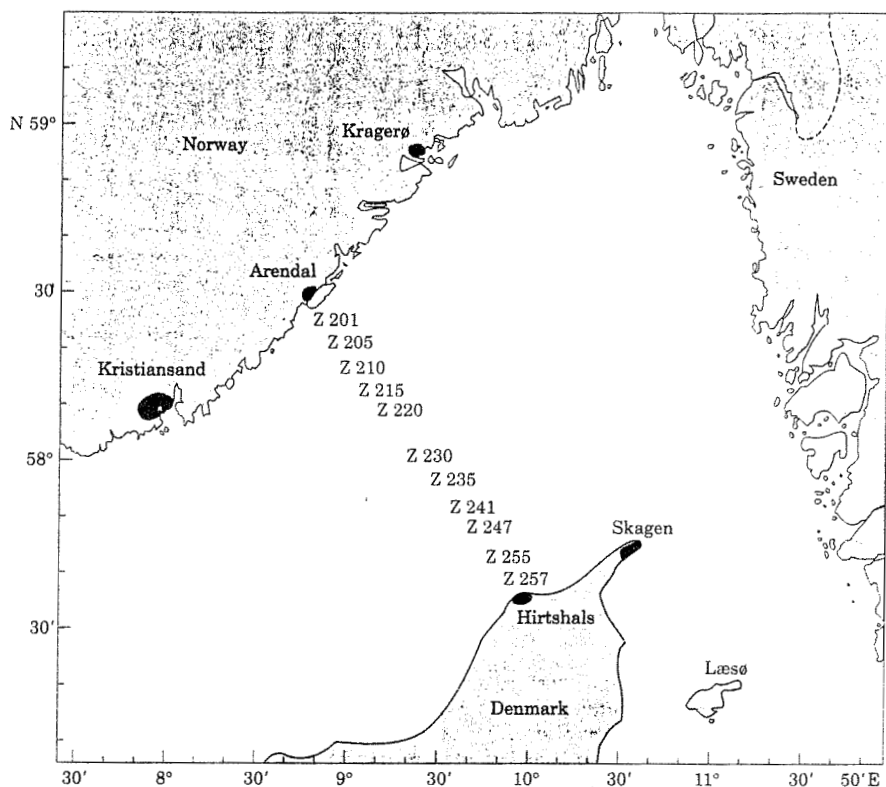
De hydrografiske forhold på tvers av Skagerrak har vært overvåket langs snittet Torungen-Hirtshals på bortimot månedlig basis fom. 1952 (Figur B.0.1). Fra 1980 har også næringsalter blitt målt regelmessig. De 11 stasjonene gir et godt grunnlag for beskrivelse av variabilitet i tid i de ulike vannmasser såvel som variabilitet på ulike romlige skalaer og benyttes til flere ulike analyser beskrevet i denne rapporten. Fra 1990 har det dessuten innen kystovervåkingsprogrammet blitt målt hydrografi og eutrofieringsparametre ca 2 ganger i måneden ved Jomfruland, Arendal stasjon 2 (Torungen-Hirtshals 201), Arendal stasjon 3 (205) og Lista (Figur B.0.2).

For å bestemme hvordan variansen fordeler seg over hele spekteret av frekvenser må en ha målinger med så høy målefrekvens at det ikke forekommer variasjoner med høyere frekvens. Høyfrekvente målinger ble foretatt ved Torungen og Jomfruland (Figur B.0.2) av Stigebrandt *et al.* (1995). Temperatur, saltholdighet og strøm ble målt i posisjon N 58 21.98', E 8 50.83' på dypene 13, 20, 30, 50, 75 og 100 m med målefrekvens 10 minutter av selvregistrerende Aanderaa strømmålere i tidsrommet 27.10 1992 - 22.9 1993. Instrumentene ble i løpet av perioden tatt opp og avlest 5 ganger. I forbindelse med inneværende arbeid har vi reanalysert dataene fra Torungen. P.g.a måleproblemer i en eller flere av de 5 periodene på 50 og 100 m dyp har vi benyttet dypene 13, 20, 30 og 75 m. Høyfrekvente observasjoner av en rekke ulike parametre framkommer også fra Oceanorbøyer utplassert ved Lista, Torungen, Torbjørnskjær og Anholt (Figur B.0.2).

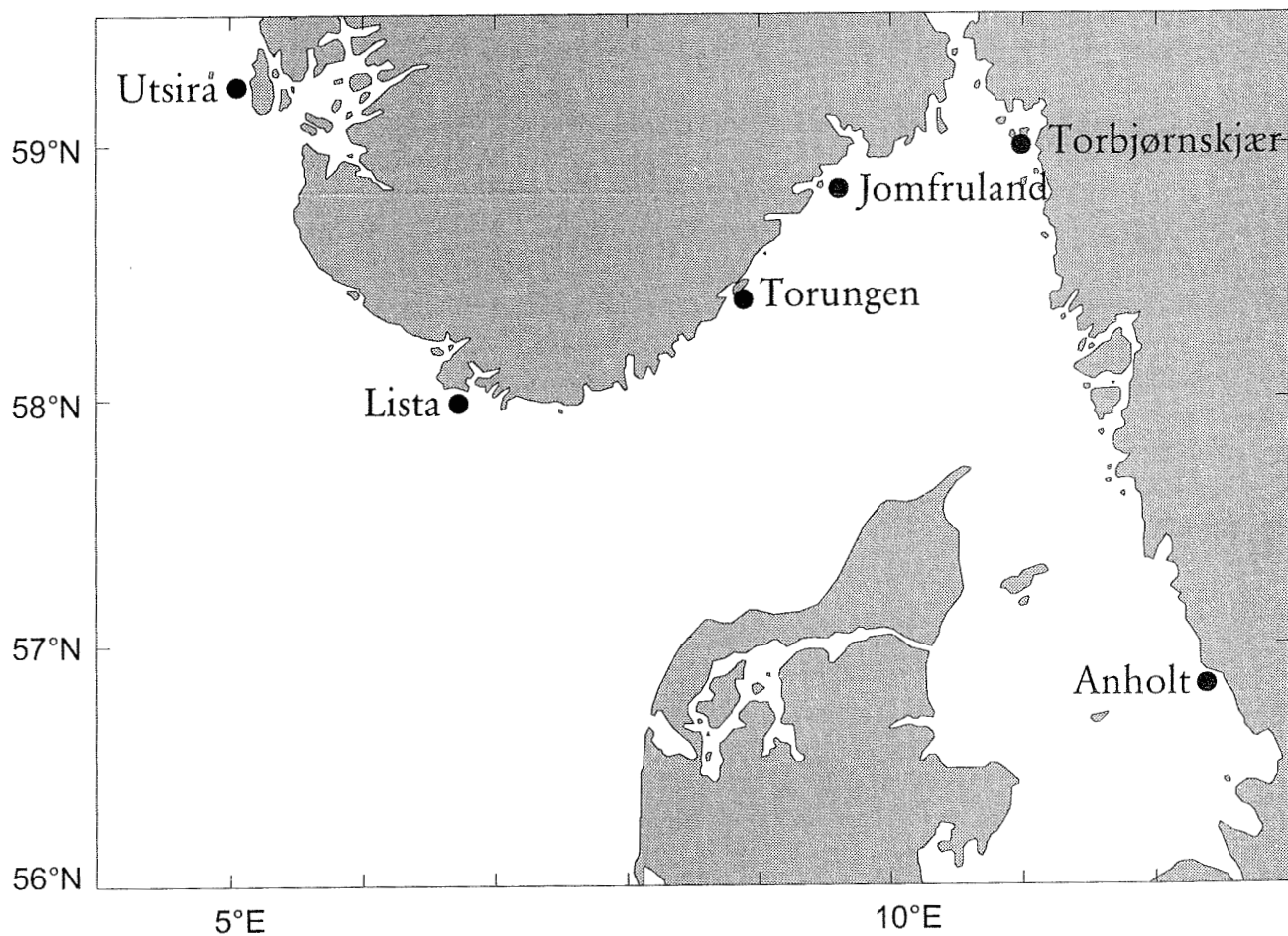
NOWESP forskningsdatabasen inneholder den mest omfattende samling av næringsaltsdata for Nordsjøområdet, innsamlet 1980-1992. Det viste seg likevel at for undersøkelser av år til år variabilitet i romlige fordelingsmønstre til næringsalter var ikke datasettet særlig velegnet. Data ble typisk samlet for å lage en lang tidsserie på et enkelt punkt (Helgoland) eller for å få en svært god romlig dekning for et enkelt år / en enkelt periode (SKAGEX). De toktene som ble gjennomført hvert år i perioden med tilnærmet samme stasjonsnett og tid er Havforskningssinstituttet sine novembertokt langs snittene Feie-Shetland og fra Utsira (Figur B.0.2) vestover til Orkneyøyene. Vi vil her gjengi resultater av geostatistiske analyser av data fra Utsira-Orkney.

Geostatistikk

Begrepet geostatistikk benyttes generelt om både metodikken som brukes og problemstillinger knyttet til statistisk analyse av romlig fordelte data innen geofag i vid betydning. Mer presist er geostatistikk rettet mot estimering av verdier til en eller flere variable på punkter en ikke har måleverdier eller midler over et areal eller volum vha. et diskret antall (mulig) irregulert fordelte datapunkter. Et sentral begrep innen geostatistikk er interpolasjonsmetoden kriging kontrollert av variogrammet. Variogrammet kan delvis sammenlignes med en korrelasjon. I motsetning til korrelasjoner som beregnes som summen av kvadratavvikene mellom observasjonspunkter og middelveien, beregnes variogrammet som kvadratsummen av differansen mellom to og to observasjonspunkter. Variogrammet framstilles som oftest visuelt, som en grafisk representasjon av den romlige autokorrelasjon mellom observasjonspaar. Formelt defineres gjerne det eksperimentelle variogrammet som en funksjon γ^* ved en avstand h for variabelen z der z er definert ved posisjon x_i . En verdi av γ^* for avstanden h uttrykker middelet av alle kvadratavvik av verdier av variabelen z på avstanden h .



Figur B.0.1. Stasjoner på snittet Torungen-Hirtshals. De to siste sifrene av stasjonsnummeret gir avstanden i nautiske mil fra norskekysten (fra Danielssen *et al.*, 1996).



Figur B.0.2. Lokalteter referert til i rapporten. Høyfrekvente hydrografiske målinger vha. strømmålere ved Torungen og Jomfruland. Ulike målinger vha. Oceanorbøyer ved Lista, Torungen, Torbjørnskjær og Anholt. Kystovervåkingsstasjoner utenfor Lista, Torungen og Jomfruland. Snitt med næringssaltobservasjoner analysert ved geostatistiske metoder fra Utsira og vestover til Orkneyøyene.

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

I praksis vil suksessen til en kringoperasjon være avhengig av valg av parametre til det modellerte variogrammet og hvor representative dataene er. Til våre analyser ble subrutinebiblioteket GSLIB (Deutsch and Journel, 1992) benyttet.

Varians og korrelasjonsanalyse

De beregnede korrelasjoner er vanlige Pearson produkt-moment korrelasjoner. Her bør en være observant på at en korrelasjonsverdi nær +/- 1.0 indikerer en klar **lineær** sammenheng mellom variable, en verdi på 0 **lineær** uavhengighet.

Hensikten med klyngeanalyse (cluster analysis) er å fordele objekter inn i grupper eller klynger ut fra egenskaper i selve dataene, ikke predefinert, slik at objektene i samme klynge har en tendens til å ha like egenskaper og de i ulike klynger ulike egenskaper (SAS Institute, 1988). Det finnes et utall ulike former for klyngeanalyse, her brukes en hierarkisk variant. Klyngene velges for å maksimere den samlede variasjonen forklart ved 1. prinsipale komponenter til klyngene (SAS Institute, 1988). Ved den hierarkiske klyngeanalyse som vi bruker er alle objektene i utgangspunktet samlet i en enkelt klynge. Det foretas så iterative spaltninger til det kun gjenstår et objekt i hver klynge. Grovt sett kan man si at den klyngen der det er størst innbyrdes forskjeller på det aktuelle trinn vil splittes i to slik at objektene med de største ulikheter vil havne i hver sin subklynge. Prosessen kan illustreres i en trestruktur.

Metoden brukt for å analysere hvordan variansen fordeler seg på ulike frekvensområder er detaljert beskrevet i Stigebrandt (1984) og Stigebrandt *et al.* (1995). Prinsippet som ligger bak er at den totale variansen i en tidsrekke tilnærmet kan uttrykkes som summen av 2 delvarianser, en for perioder kortere enn en bestemt frekvens og en for lengre perioder. Hvis den opprinnelige serien f. eks. har månedlige verdier kan den totale variansen, beregnet direkte fra denne serien tilnærmet splittes opp i variabilitet på et år og lengre, beregnet fra serien av årsmidler, og variabilitet på en frekvens kortere enn et år beregnet som differansen mellom variansen i den opprinnelige og i serien av årsmidler. Et eksempel for å belyse framgangsmåten: Variansen til hele serien av saltholdighetsmålinger i overflaten på stasjon 205 (verdier ca 1 gang i måneden) fra 1952-1996 er 11.49, variansen beregnet på serien av sesongmidler (3 mnd) er 7.56 og variansen på serien av årsmidler er 1.59. Bidraget til variansen fra perioder på 3 måneder og kortere blir da $11.49 - 7.56 = 3.93$ og bidraget fra perioder mellom 3 og 12 måneder er $7.56 - 1.59 = 5.97$.

Analyser av modelldata

“The NORwegian ECOlogical Model system” (NORWECOM) er et koblet fysisk-kjemisk-biologisk modellsystem (Skogen *et al.*, 1995) som er operasjonelt for Nordsjøen og Skagerrak. Nordsjømodellen har en horisontal oppløsning på 20 km og dekker Norsjøen og omliggende områder. Resultatene fra denne gir grenseverdier for Skagerrakmodellen som har en horisontal oppløsning på 4 km og dekker Kattegat, Skagerrak og norskekysten til Stad. NORWECOM drives med realistisk vindpådrag stillet til rådighet av DNMI (Eide *et al.*, 1985; Reistad og Iden, 1995), realistisk månedsmidlet ferskvanns- og nærings salt tilførsler fra de største europeiske elvene og modellert utstrømning fra Østersjøen.

Modelldataene er midlet over 25 timer og er skrevet til fil en gang i døgnet på utvalgte snitt langs norskekysten, slik at variabilitet med kortere perioder enn ett døgn er filtrert bort. Snittdataene er interpolert til 5m dyp og til ekvidistante "stasjoner" med 4km distanse mellom. I utgangspunktet har vi dermed tidsserier for hver stasjon på snittene med døgnmidler som strekker seg over 355 dager, disse døgnmidlene er "rådataene". For å se på forskjellige tidsskalaer blir disse filtrert. Vi benytter et enkelt glidende middel filter slik at vi får en tidsserie som inneholder perioder kortere enn 7 dager (høypass 7 dager), en med perioder 7-29 dager (båndpass 7-29 dager), en med perioder 29-91 dager (båndpass 29-91 dager), i tillegg til rådatane.

I hver enkel posisjon beregner vi det lokale standardavvik for både rådata og de filtrerte tidsseriene. Standardavvikene viser hvor variabiliteten er stor og liten, og ved å gjøre de samme beregninger for de filtrerte tidsseriene får vi et bilde av hvilke tidsskalaer som er dominerende. Ved å beregne korrelasjonene mellom tidsseriene og plote dette som funksjon av avstand mellom stasjonene får vi et bilde av hvordan korrelasjonen avtar med avstanden. Dette gir et middel av hvordan korrelasjonen avhenger av avstanden, men det er også mulig lokalt å beregne korrelasjon som funksjon av avstanden. Det viste seg, ikke uventet, at korrelasjon i et gitt punkt, som funksjon av avstand er avhengig av hvilken retning en betrakter. Vi valgte å gjøre dette på to måter. I den ene valgte vi minimumsverdien for korrelasjonen og i den andre valgte vi maksimumsverdien. Ved å definere at den avstand der korrelasjonen faller under en gitt verdi er dekorrelasjonsskalaen vil de to avstandene definere maksimum og minimum dekorrelasjonsskala. Vi har valgt å definere dekorrelasjonsskalaen til den avstand der korrelasjonen er 0.7, dette tilsvarer den avstand der 50% av variansen kan beskrives med en lineær modell.

Den numeriske modellen MAKRILL (Stigebrandt, 1983) beregner blant annet volumtransporten i Kyststrømmen. Modellen har vært kjørt operativt ved OCEANOR i lang tid, med oppløsning av volumfluksen på døgnskala.

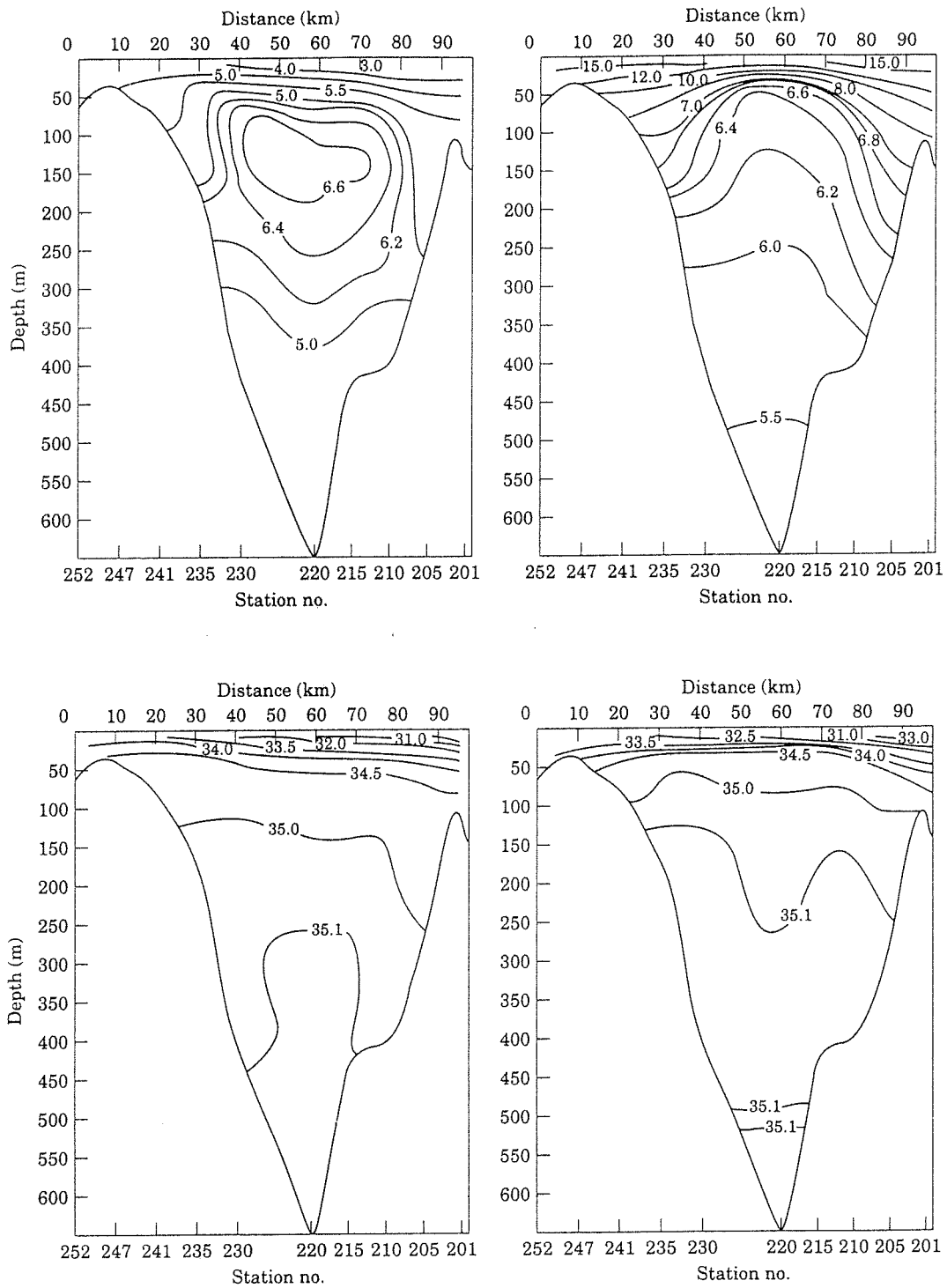
B.1. Romlig variabilitet i målte felt av hydrografi og næringsalter.

Hydrografi

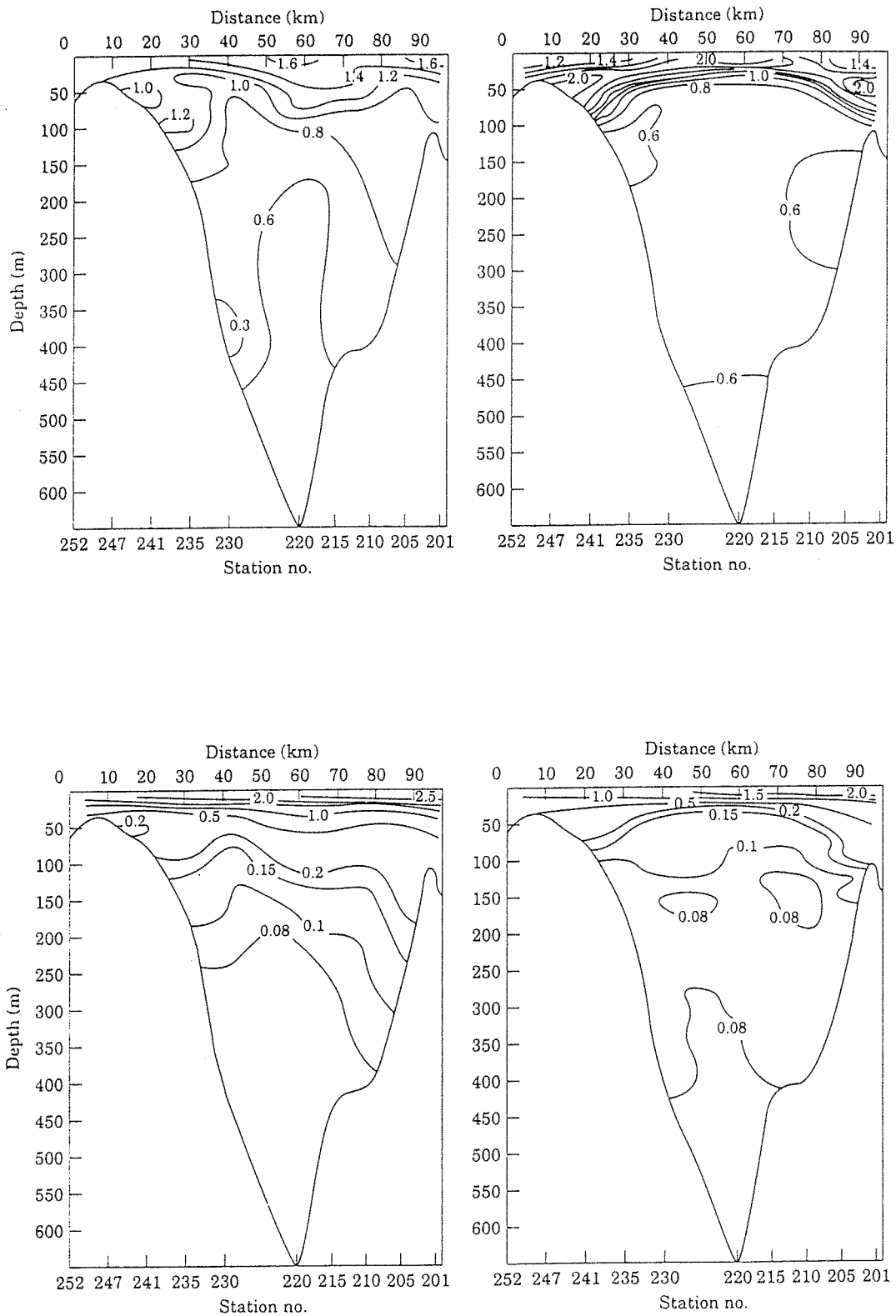
Middelfordelingen av temperatur og saltholdighet (Figur B.1.1) langs snittet Torungen-Hirtshals for perioden 1952-1994 for mars og august viser et tykkere lag av ferskere overflatevann på den norske siden. Dette er mest pga. innflytelsen av Østersjøvann som er den dominerende kilde av ferskvann til Skagerrak (Danielssen *et al.*, 1996). I august er vannet sentralt i renna på ca 150-250 m ferskere og har et lavere standardavvik (Figur B.1.2) enn langs sokkelen på både danske og norskesiden, noe som resulterer i det såkalte "twin peaks" fenomenet tidligere beskrevet for April-Mai av Ljøen og Svansson (1972).

De store, noe kjøligere, intermedieære vannmassene midt i renna om vinteren indikerer en vesentlig høyere residenstid her enn nærmere kysten både på den norske og danske siden. Den konvekse fasongen av isotermene til de langtidsmidlete verdier på dyp fra 50 til 200 meter om sommeren er et dominerende karakteristisk trekk, med en skarp og stabil termoklin mellom 30 og 50 meter midt i Skagerrak (Danielssen *et al.*, 1996).

Korrelasjonene i saltholdighet (Tabell B.1.1) avtar på 10 meter og til dels på 30 m med avstanden mellom stasjonene. På 30 m ses spesielt en tendens til høy korrelasjon mellom de tre stasjonene mest sentralt i Skagerrak, en tendens som holder seg sterk på 50 og 100 m. Disse stasjonene er fra 30 m og ned ukorrelerte eller svakt negativt korrelerte med stasjonene nær-



Figur B.1.1. Middelfordeling av temperatur (øverst) og saltholdighet (1952-1994) langs snittet fra Torungen (til høyre) til Hirtshals (til venstre) for mars (venstre delfigur) og august (høyre delfigur). Avstand fra danskekysten og stasjonsnummer langs øvre og nedre x-akse (fra Danielssen *et al.*, 1996b).



Figur B.1.2. Standarddeviation for temperatur (øverst) og saltholdighed (1952-1994) langs snittet fra Torungen (til høyre) til Hirtshals (til venstre) for mars (venstre delfigur) og august (høyre delfigur). Avstand fra danskysten og stasjonsnummer langs øvre og nedre x-akse (fra Danielssen *et al.*, 1996b).

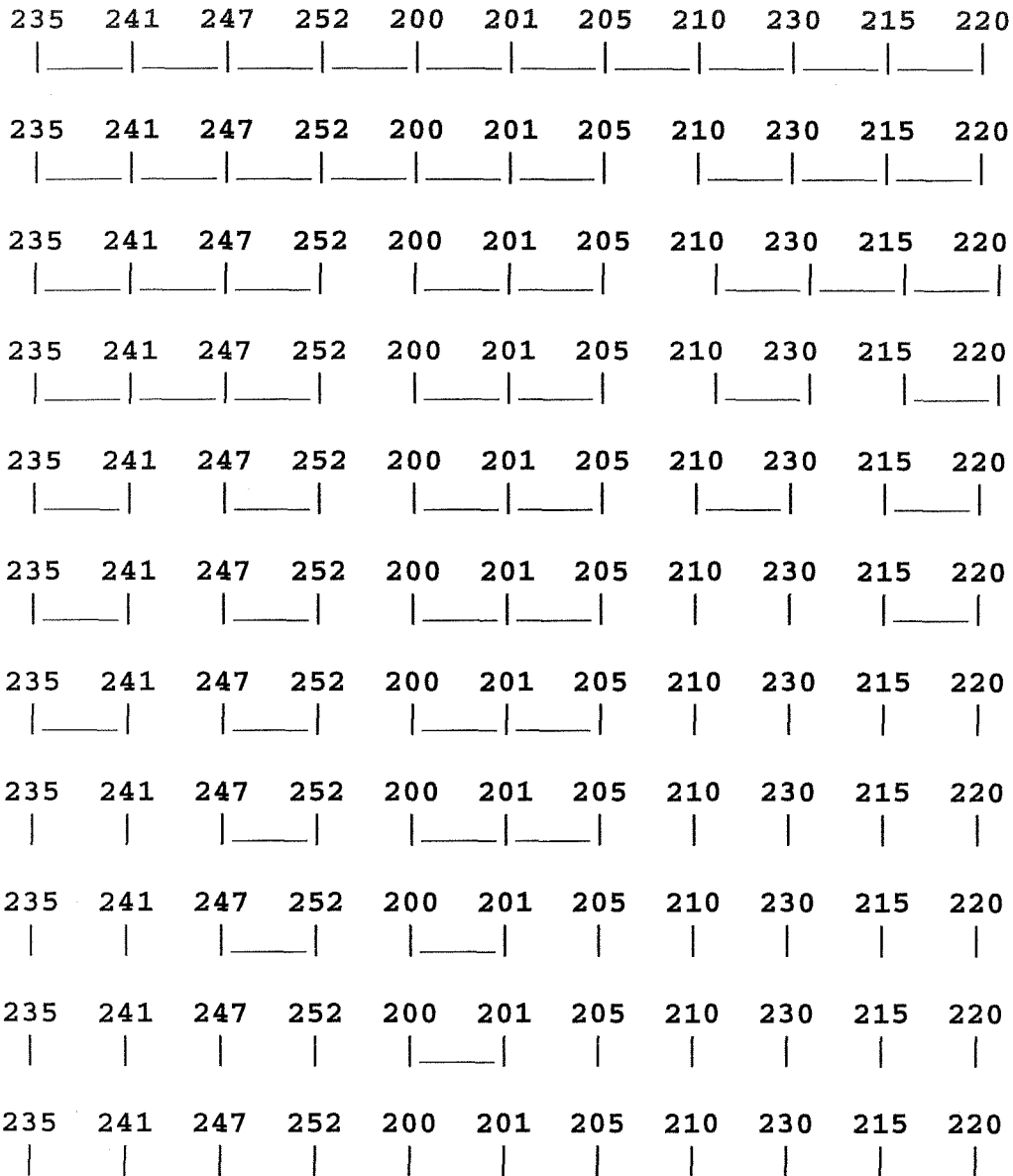
mest kysten på både danske- og norskekysten.

Temperaturene i 10 m dyp (Tabell B.1.2) er alle svært høyt korrelerte. Dette skyldes sesongvariasjonen som dominerer over alt på dette dyp og er rimelig i fase over hele snittet. På 30 m dyp kjenner vi igjen fra saltholdighetskorrelasjonene en stor grad av samvariasjon mellom de tre mest sentraltliggende stasjonene. I tillegg henger variasjonen i de to stasjonene nærmest norskekysten svært nært sammen og korrelasjonen med stasjonen nærmest danskekysten er også høy. På 50 m dyp er tendensen den samme, de tre sentrale stasjonene danner en gruppe med samme variasjonsmønster, det samme gjør de tre kystnære. Det er ellers en trend i retning av lavere korrelasjoner med økende dyp. Dette kan forklares ved en avtagende effekt av årsvariasjonen.

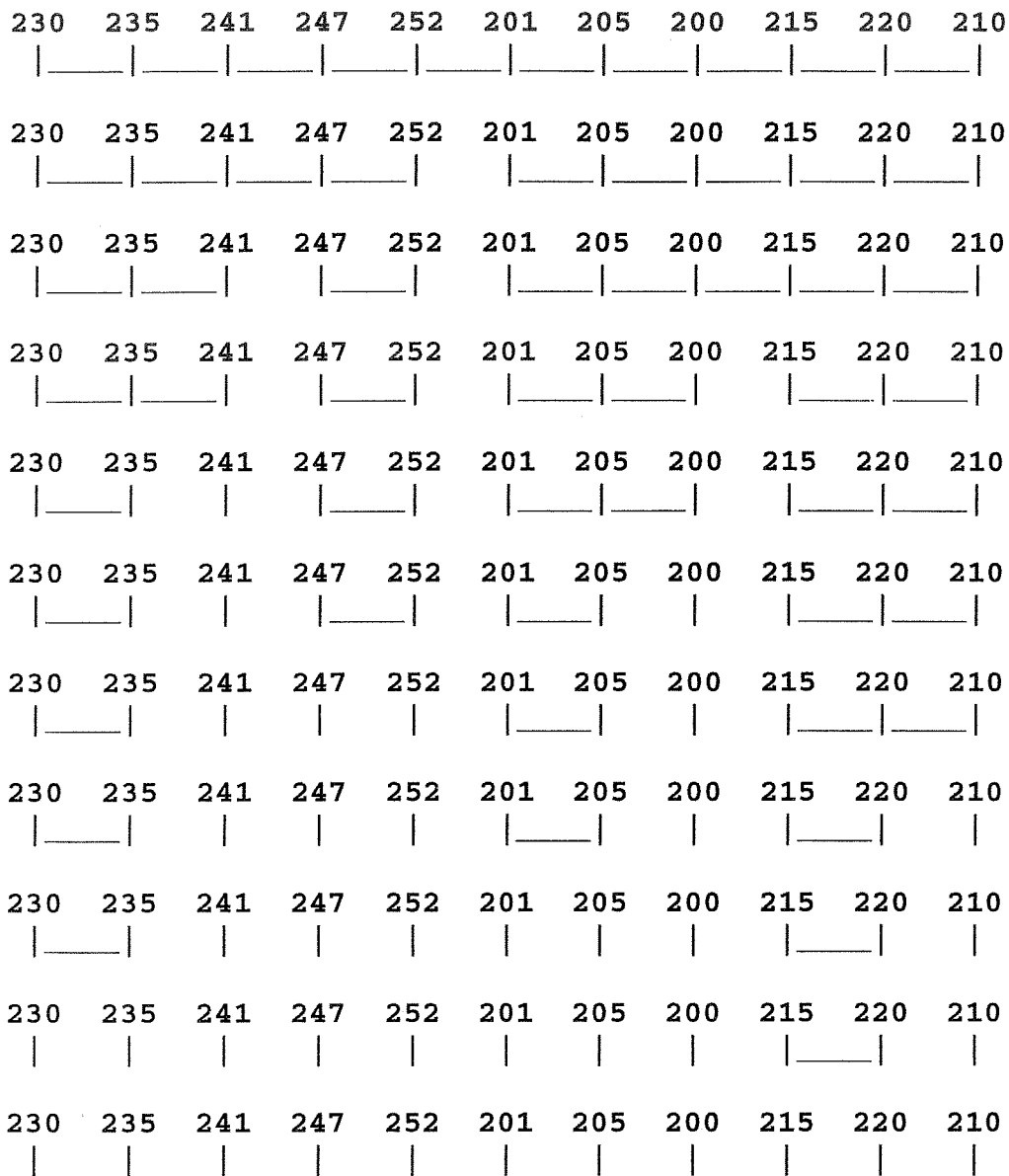
Klyngeanalysen av temperaturdata (Figur B.1.3) indikerer ved første splitting et skarpt skille i egenskaper mellom nabostasjonene 205 og 210 slik at stasjonene sentralt i Skagerrak skilles ut. Dette kan forklares ved at stasjon 205 ligger i kystvann, mens 210 mer er influert av atlantiske vannmasser. På neste trinn i klyngeanalysen skilles det videre mellom de fire stasjonene nærmest danskesiden (235, 241, 247, 252) og de tre nærmest norskekysten (200, 201 og 205). Disse tre stasjonene splittes ikke fra hverandre før langt nede i treet, de har temperaturegenskaper som ligger nær hverandre, noe de to stasjonene nærmest danskekysten (247 og 252) også har. Klyngeanalysen av saltholdighetsdata (Figur B.1.4) skiller i første omgang mellom de to stasjoner som er geografisk lengst fra hverandre (201 utenfor Arendal og 252). Deretter skilles de to nærmest kysten fra resten på danskesiden (247 og 252) og i neste trinn de tre nærmest norskekysten (200, 201 og 205) fra de lenger ute. Stasjonene som har størst likhet med hverandre mhp. saltholdighet i de øverste 50 m ser ut til å være henholdsvis 215 og 220 på norskekysten og 230 og 235 på danskesiden.

Tabell B.1.1 Korrelasjoner (r) i saltholdighet mellom utvalgte stasjoner på Torungen-Hirtshals snittet 1952-96 på 10 meters dyp (til venstre for tykk strek, over diagonalen), 30 m (til venstre for tykk strek, under diagonalen), 50 m (til høyre for tykk strek, over diagonalen) og 100 meters dyp (til høyre for tykk strek, under diagonalen). Korrelasjoner på over 0.60 som også er statistisk signifikante på 5% nivå er uthøvet og understreket. Kun tilfeller med observasjon på begge stasjoner innenfor samme døgn benyttes i korrelasjonsberegningene. Dette antallet ligger mellom 308 og 383. Dyp under bunn dyp på en av de 2 aktuelle stasjoner indikeres med ----.

St. nr.	201	205	215	220	230	252	St. nr.	201	205	215	220	230	252
201	10m 30m	<u>0.67</u>	0.31	0.19	-0.09	-0.07	201	50m 100m	0.57	-0.10	-0.17	0.00	0.33
205	0.47	10m 30m	0.48	0.33	0.06	0.09	205	----	50m 100m	0.19	0.09	0.20	0.13
215	-0.07	0.10	10m 30m	<u>0.79</u>	0.36	0.14	215	----	0.07	50m 100m	<u>0.83</u>	0.54	-0.18
220	-0.16	-0.02	<u>0.76</u>	10m 30m	0.53	0.11	220	----	0.03	<u>0.85</u>	50m 100m	0.57	-0.14
230	-0.09	0.05	0.54	0.56	10m 30m	0.36	230	----	0.17	0.59	<u>0.66</u>	50m 100m	-0.15
252	0.06	-0.01	-0.28	-0.23	-0.19	10m 30m	252	----	----	----	----	----	50m 100m



Figur B.1.3. Resultat av klyngeanalyse på temperaturmålinger på dyp 0-50 m fra 11 stasjoner på Torungen-Hirtshals snittet. Trestrukturen indikerer prosessen der stasjoner som tidlig (øverst) splittes fra hverandre har stor ulikhet mhp temperatur, mens de som henger sammen lengst har de mest sammenfallende egenskaper.



Figur B.1.4. Resultat av klyngeanalyse på saltholdighetsmålinger på dyp 0-50 m fra 11 stasjoner på Torungen-Hirtshals snittet. Trestrukturen indikerer prosessen der stasjoner som tidlig splittes fra hverandre har stor ulikhet mhp saltholdighet, mens de som henger sammen lengst har de mest sammenfallende egenskaper.

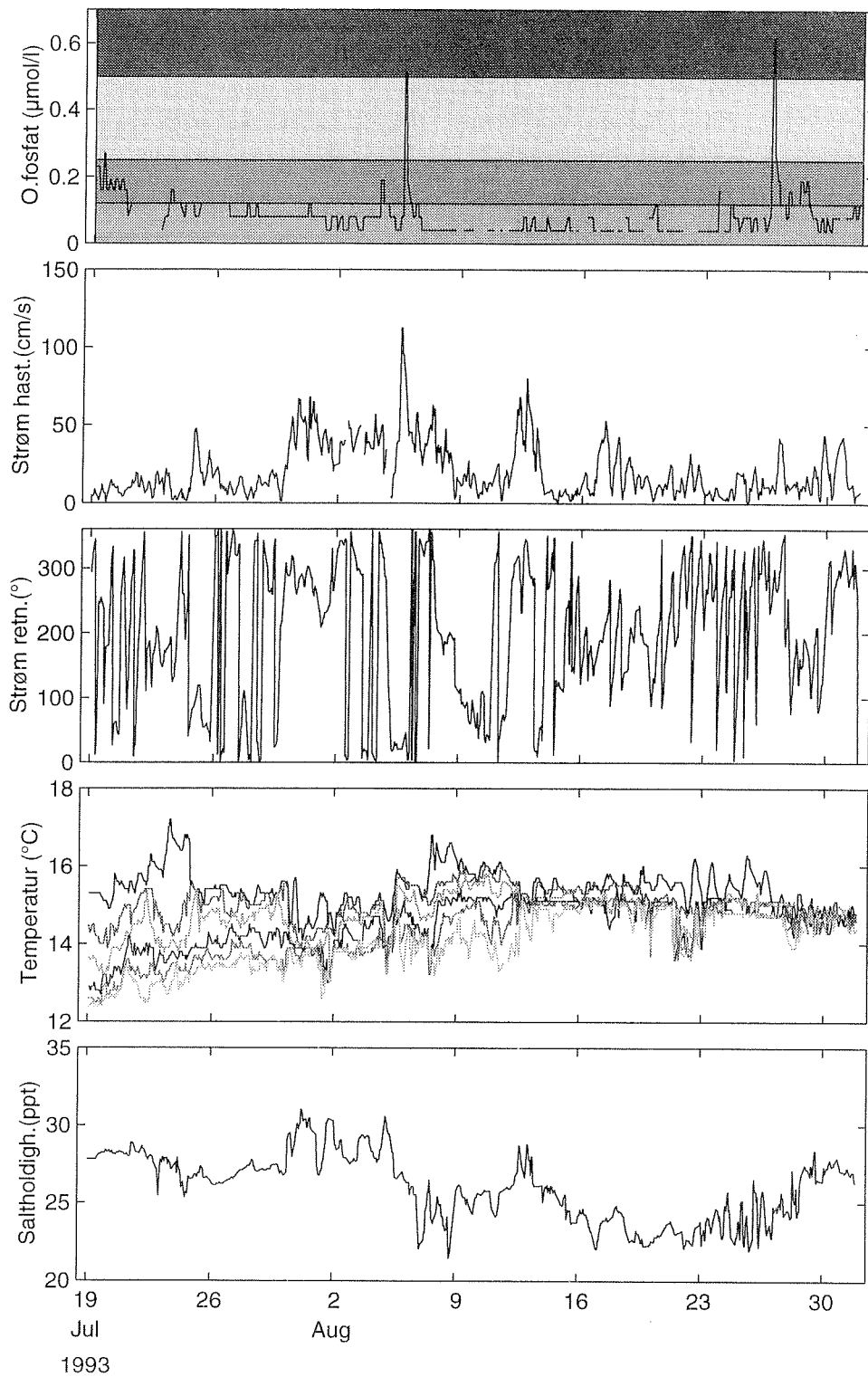
Tabell B.1.2. Korrelasjoner (r) i temperatur mellom utvalgte stasjoner på Torungen-Hirtshals snittet 1952-96 på 10 meters dyp (til venstre for tykk strek, over diagonalen), 30 m (til venstre for tykk strek, under diagonalen), 50 m (til høyre for tykk strek, over diagonalen) og 100 meters dyp (til høyre for tykk strek, under diagonalen). Korrelasjoner på over 0.60 som også er statistisk signifikante på 5% nivå er uthevet og understreket. Kun tilfeller med observasjon på begge stasjoner innenfor samme døgn benyttes i korrelasjonsberegningene. Dette antallet ligger mellom 309 og 393. Dyp under bunndyp på en av de 2 aktuelle stasjoner indikeres med ----.

St. nr.	201	205	215	220	230	252	St. nr.	201	205	215	220	230	252
201	10m 30m	<u>0.98</u>	<u>0.91</u>	<u>0.86</u>	<u>0.92</u>	<u>0.93</u>	201	50m 100m	<u>0.95</u>	0.48	0.38	0.55	<u>0.84</u>
205	<u>0.97</u>	10m 30m	<u>0.91</u>	<u>0.85</u>	<u>0.93</u>	<u>0.94</u>	205	---- 50m 100m	0.55	0.44	<u>0.62</u>	<u>0.79</u>	
215	<u>0.63</u>	<u>0.67</u>	10m 30m	<u>0.93</u>	<u>0.90</u>	<u>0.89</u>	215	---- 0.53	50m 100m	<u>0.89</u>	<u>0.78</u>	0.31	
220	0.53	0.58	<u>0.91</u>	10m 30m	<u>0.88</u>	<u>0.84</u>	220	---- 0.43	<u>0.89</u>	50m 100m	<u>0.77</u>	0.21	
230	<u>0.68</u>	<u>0.72</u>	<u>0.81</u>	<u>0.78</u>	10m 30m	<u>0.93</u>	230	---- <u>0.60</u>	<u>0.77</u>	<u>0.77</u>	50m 100m	0.37	
252	<u>0.88</u>	<u>0.86</u>	<u>0.52</u>	<u>0.41</u>	<u>0.53</u>	10m 30m	252	---- ---- ---- ----	---- ---- ---- ----	---- ---- ---- ----	50m 100m		

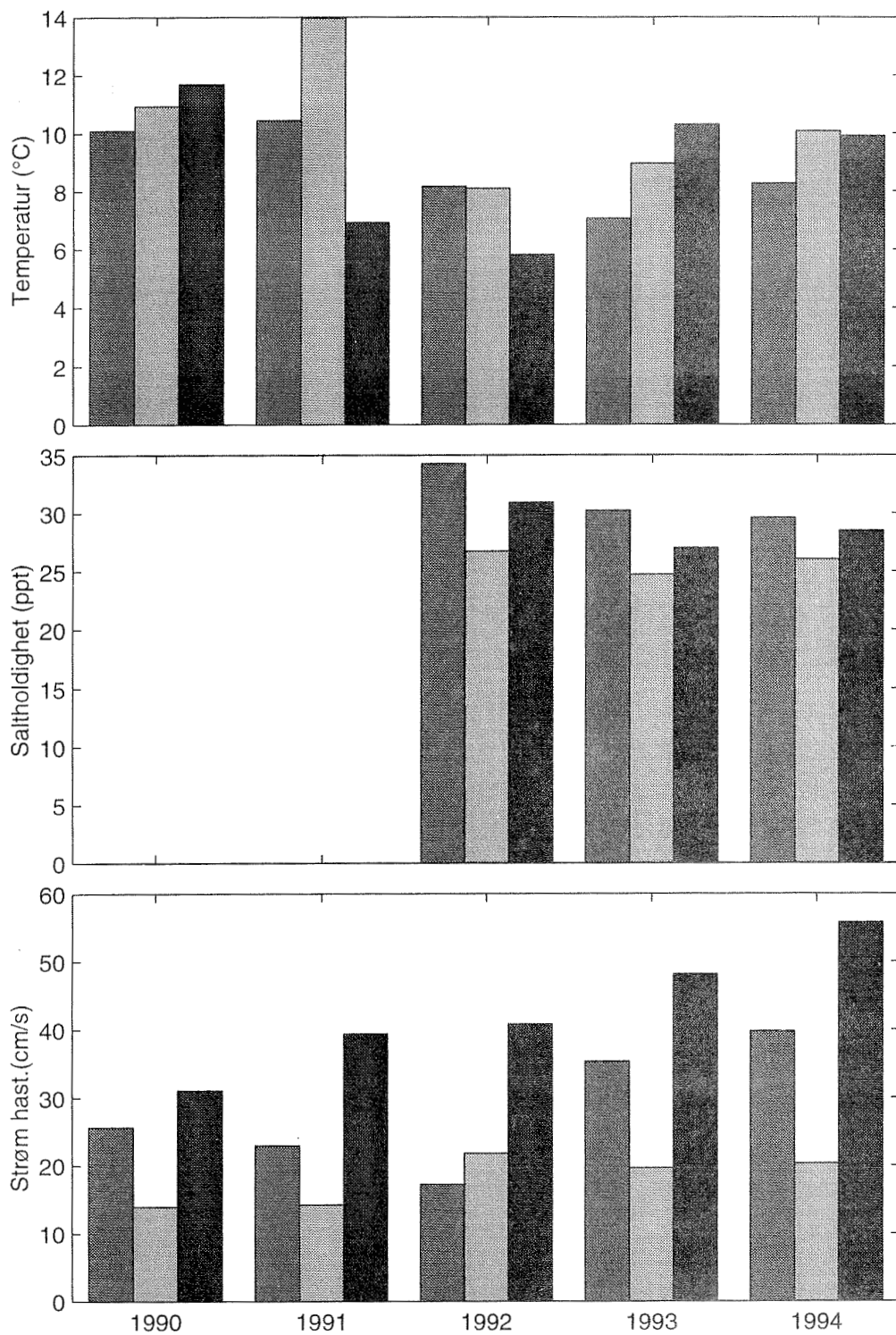
Horisontal variabilitet og regionale forskjeller kan registreres ved å operere flere bøyer i et nettverk. Nedenfor er det vist eksempler på data som er innsamlet over kortere eller lengre tidsperioder ved Ocenorbøyer på flere posisjoner samtidig. I Figur B.1.5 er det vist timesverdier av ortofosfat, strømhastighet, saltholdighet og sjøtemperatur ved Torbjørnskjær sommeren 1993. Videre vises statistiske oversikter over strøm, saltholdighet og temperatur ved Torbjørnskjær, Torungen og Lista som årsmiddelverdier (B.1.6), årsstandardavviksverdier (B.1.7), årsmaksimumsverdier (B.1.8), og årsminimumsverdier (B.1.9). Det som kanskje kommer klarest fram i figurene er at Torungen hadde høyere middelverdier, maksimumsverdier og standardavvik i strømfart i hvert av de 5 årene 1990-1994 enn de andre to lokasjonene. For temperatur og saltholdighet er det vanskelig å finne noen geografiske forskjeller som går igjen fra år til år. I 1994 var maksimumsverdiene for temperatur høyere og minimumsverdiene lavere ved både Torbjørnskjær og Torungen enn de andre årene, noe som også ga seg utslag i høyest standardavvik dette året.

Næringssalter

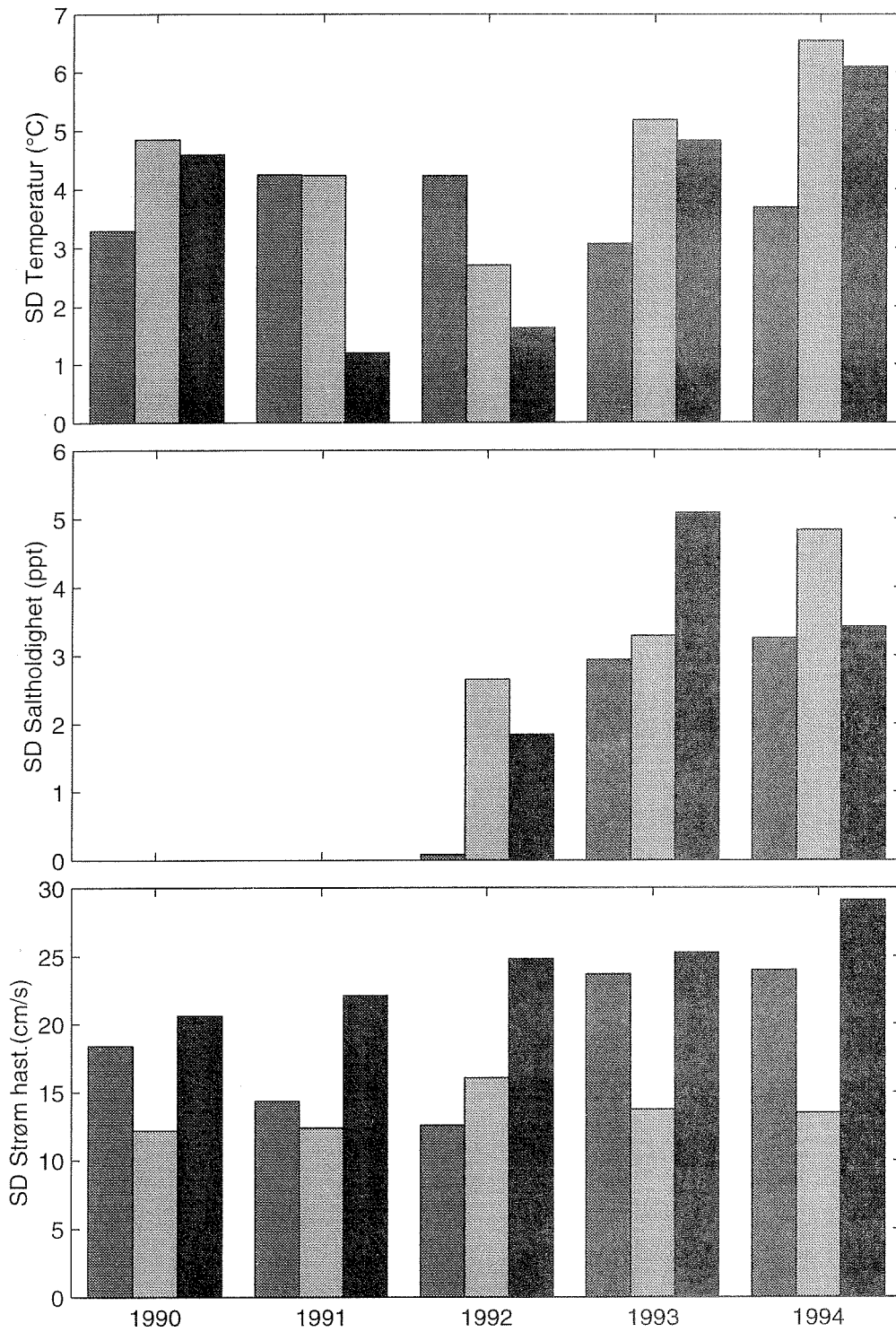
Figurene B.1.10, B.1.11 og B.1.12 (Aure og Johannesen, 1997) viser den romlige og sesongmessige middelvariabilitet (1980-95) i ulike næringssalter langs snittet Torungen-Hirtshals. Saltholdighet er framstilt på tilsvarende vis for sammenligning. Figur B.1.11 viser at fra desember til april var forholdene i de øverste 30m ved Hirtshals typisk dominert av Jyllandsk kystvann, med saltholdigheter mellom 33.0 og 34.0. Langs norskekysten ved Arendal var det gradvis avtagende saltholdighet utover vinteren og våren fra ca 32.0 i januar til et minimum på 28.0-29.0 i mai og juni. Saltholdighetene økte deretter utover sommeren og høsten til ca 32.0 i desember. De lave saltholdighetene i norsk kystvann i mai og juni hadde sammenheng både med lavere saltholdigheter i innstrømmende vann fra Kattegat og årsmaksimum i tilførsler av ferskvann lokalt i Skagerrak. Spredningen av kystvann på tvers av Skagerrak (resirkulering) starter utpå våren og har sin største utbredelse i perioden fra mai til juli.



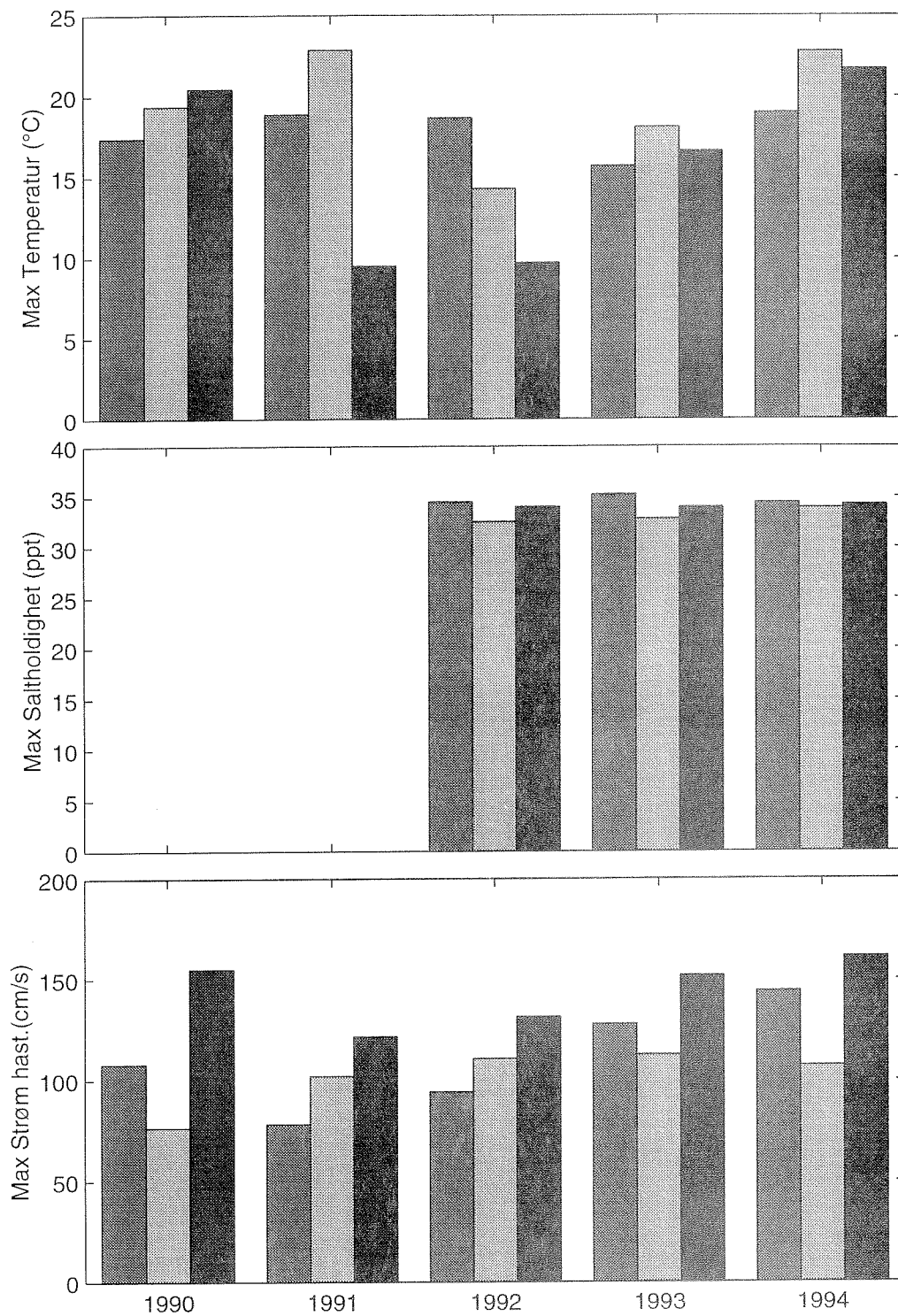
Figur B.1.5. Timesverdier av ortofosfat, strømhastighet, saltholdighet og sjøtemperatur (0.5, 5, 10, 15, 20 og 30m) ved Torbjørnshjørn 19 juli til 31 august 1993. Bakgrunnsskyggene i panelet for ortofosfat viser SFTs klassifisering av tilstand, God (lavest); Mindre god; Nokså dårlig; Dårlig (høyest).



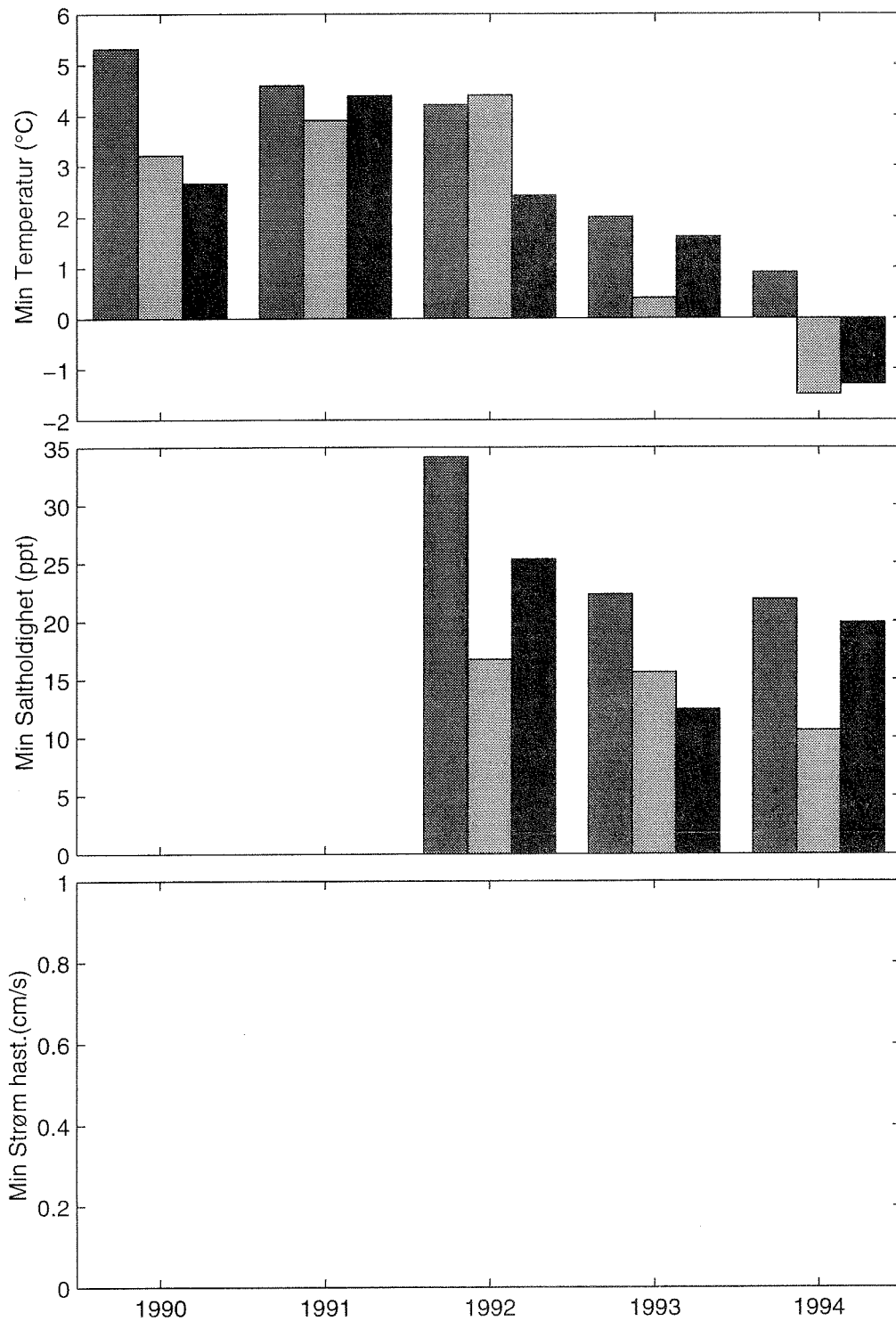
Figur B.1.6. Års-middelverdier av strømshastighet, saltholdighet og temperatur ved Lista, Torbjørnshjør og Torungen i perioden 1 januar 1990 til 31 desember 1994.



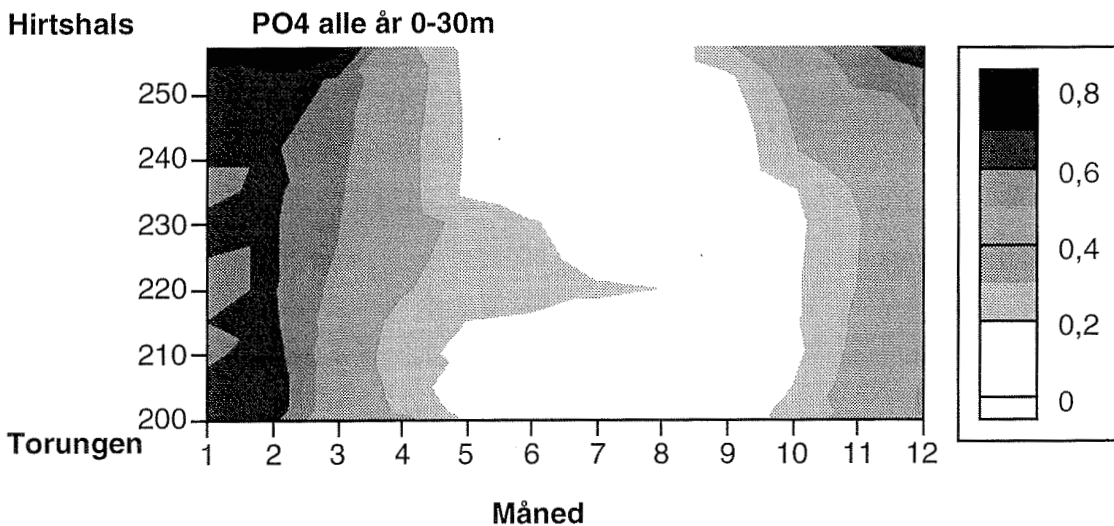
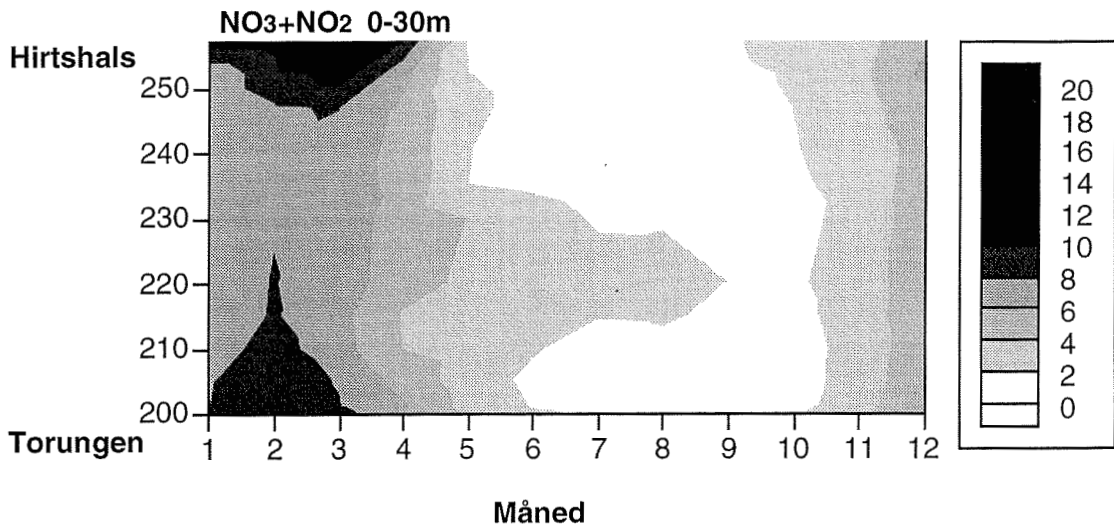
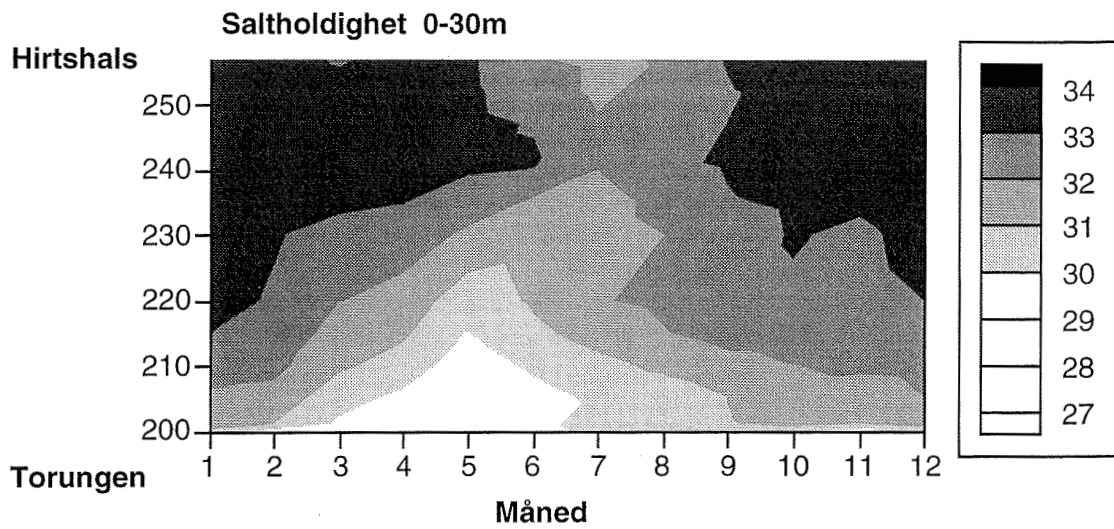
Figur B.1.7. Års-standardavvik-verdier av strømhastighet, saltholdighet og temperatur ved Lista, Torbjørnshjør og Torungen i perioden 1 januar 1990 til 31 desember 1994.



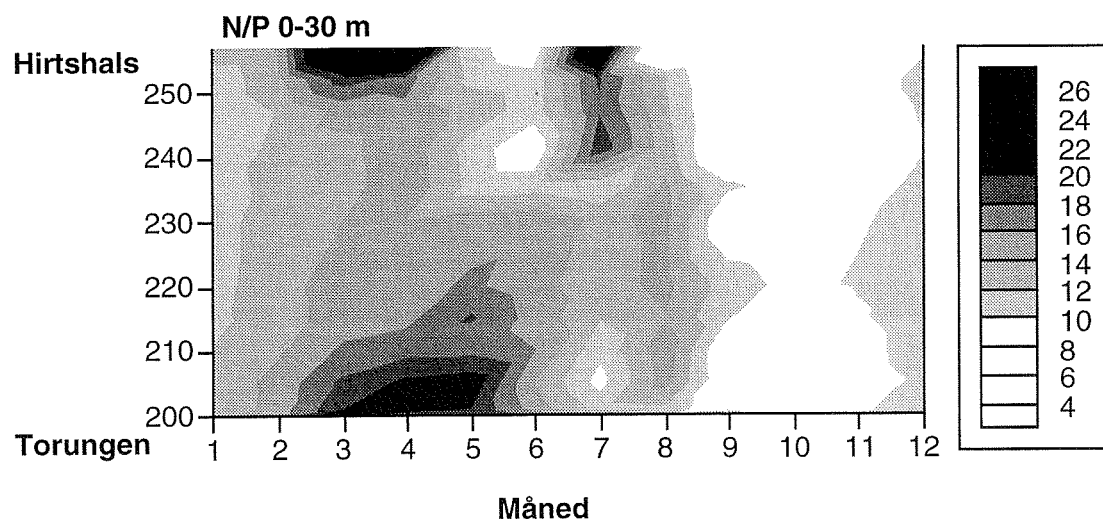
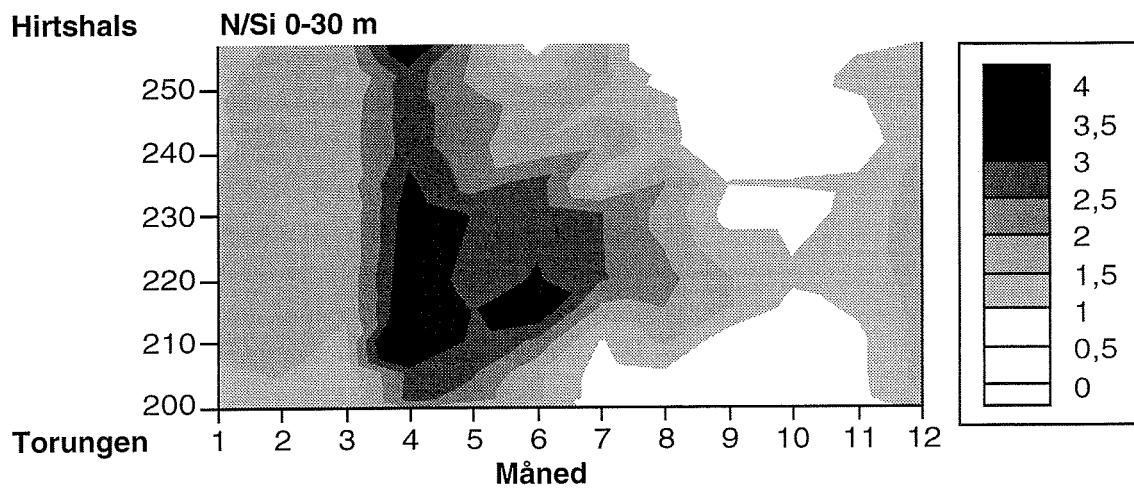
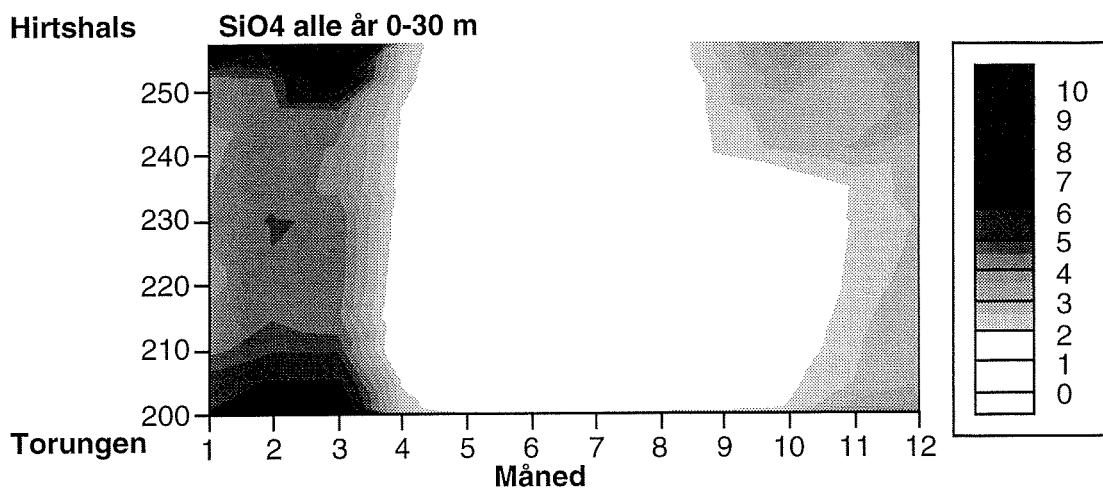
Figur B.1.8 Års-maksimalverdier av strømhastighet, saltholdighet og temperatur ved Lista, Torbjørnskjer og Torungen i perioden 1 januar 1990 til 31 desember 1994.



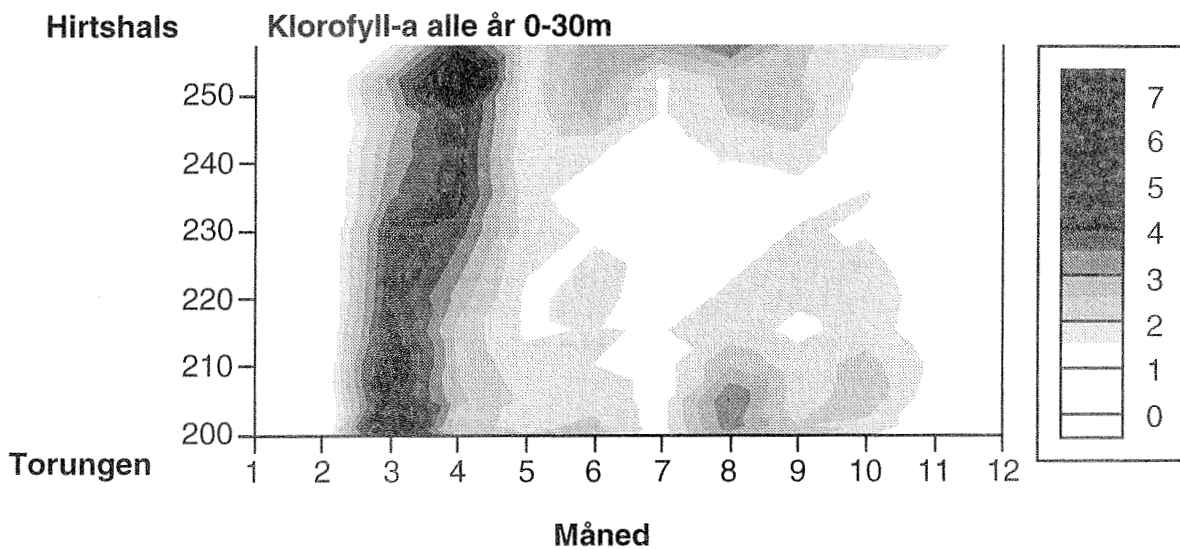
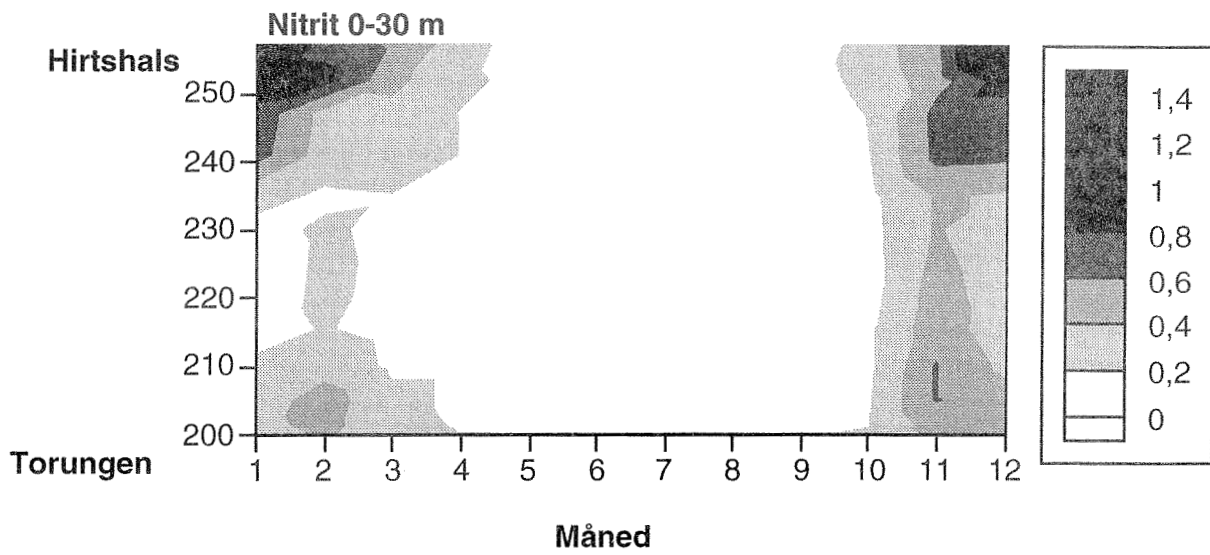
Figur B.1.9 Års-minimumsverdier av strømhastighet, saltholdighet og temperatur ved Lista, Torbjørskjær og Torungen i perioden 1 januar 1990 til 31 desember 1994. For strømhastighet er dette naturligvis null for alle år.



Figur B.1.10. Middelfordeling 1980-95 av saltholdighet, nitrat+nitritt og fosfat mellom Torungen og Hirtshals i 0-30 meters dyp (fra Aure og Johannessen, 1997).



Figur B.1.11. Middelfordeling 1980-95 av silikat, N:Si og N:P mellom Torungen og Hirtshals i 0-30 meters dyp (fra Aure og Johannessen, 1997).



Figur B.1.12. Middelfordeling 1980-95 av nitritt og klorofyll-*a* mellom Torungen og Hirtshals i 0-30 meters dyp (fra Aure og Johannessen, 1997).

I vintermånedene fra januar til april var det høyest nitrat+nitrit konsentrasjoner ved Hirtshals (Figur B.1.10), med maksimalkonsentrasjon i de øverste 30m nærmest Hirtshals på omlag 20 μM i mars (st 257) og ca 16 μM i middel for stasjonene 252-257. Fra mai til september/oktober lå konsentrasjonene av nitrat+nitrit under ca 2 μM , for deretter å øke gradvis til nær 5 μM i desember. I Kattegat overflatelag (Anholt) var maksimal nitrat+nitrit konsentrasjon ca 7.0 μM i februar. Langs norskekysten ved Torungen var det årsmaksimum i februar på 9.0 til 10.0 μM i middel for stasjonene 200-215 og konsentrasjonene falt deretter gradvis til under 2.0 μM i juni måned. Fra juni til oktober/november lå midlere konsentrasjon under ca 2.0 μM , for deretter å øke til omlag 5.0 μM i desember.

De høyeste fosfatkonsentrasjonene gjennom året (ca 0.7 μM) ble observert nærmest Hirtshals i perioden fra januar til mars (Figur B.1.10). Det var deretter et markert fall i konsentrasjonene fra mars til mai og i perioden fra juni til august lå fosfatkonsentrasjonene ved Hirtshals under 0.1 μM . Utover høsten var det en jevn økning og midlere konsentrasjon i desember var ca 0.6 μM . I Kattegat overflatevann (0-10m) var det årsmaksimum i januar/februar på 0.6-0.7 μM . Langs norskekysten ved Arendal var det høyest konsentrasjoner i januar/februar på ca 0.65 μM . Fra mai til oktober lå konsentrasjonene mellom 0.1 og 0.2 μM , for deretter å øke til ca 0.45 μM i desember.

Ved Hirtshals var det høyest silikatkonsentrasjoner (ca 9 μM) i mars måned (Figur B.1.11) og konsentrasjonene falt til under 2 μM i løpet av april. Silikatkonsentrasjonene holdt seg under 1-2 μM fram til september/oktober, for deretter å øke til ca 3 μM i desember. I Kattegat var det et årsmaksimum i januar og februar på ca 9 μM . Langs norskekysten ved Arendal var det høyest konsentrasjoner nær kysten i februar og mars på 7-8 μM og konsentrasjonene avtok i løpet av mars til under 2 μM . Konsentrasjonene holdt seg under dette nivå fram til oktober måned, for deretter å øke til ca 3 μM i desember.

Ved Hirtshals var det et markert årsmaksimum i N:Si i april på ca 3.5 og deretter et fall til under 1.5 i løpet av mai måned (Figur B.1.11). Fra slutten av juli til november lå N:Si under 1.0 og økte i desember til ca 1.5. I Kattegat overflatelag lå N:Si under 1.0 hele året og var lavere enn 0.5 fra mai til november. Ved Arendal var det et maksimum i april på ca 4.0 et stykke ut fra kysten og ca 3.0 nærmere kysten. Det var også relativt høye N:Si verdier (>2.0) ute i Skagerrak fram til august måned. Fra juli til november lå N:Si under 1.0 og økte til ca 1.5 i løpet av desember måned.

De høyeste N:P verdiene (ca 30) ved Hirtshals inntraff nær kysten (st 257) i mars -april (Figur B.1.11), mens midlere N:P for stasjonene 252-257 var ca 24. Med unntak for juli måned lå N:P fra mai og ut året mellom 5 og 10. I Kattegat var N:P høyest i perioden fra januar til mars med maksimal verdi i mars på ca 13. Fra april og ut året var N:P mindre enn 5. Ved norskekysten var midlere N:P høyest fra mars til mai med maksimumsverdier over 20. Fra juni til oktober falt N:P gradvis til ca 6, for deretter å øke igjen til ca 10 i desember.

Utenfor Hirtshals var det et årsmaksimum i nitritt fra november til ut i februar mellom 0.5 og 0.8 μM (Figur B.1.12). Fra april til oktober lå nitrittkonsentrasjonene under 0.1-0.2 μM . I Kattegat varierte nitrittkonsentrasjonene mellom 0.2 og 0.3 μM fra desember til mars og resten av året mellom 0.05 og 0.1 μM . Ved norskekysten var det høyest konsentrasjoner fra november til mars mellom 0.4 og 0.6 μM . Resten av året lå nitrittkonsentrasjonene under 0.1-0.2 μM .

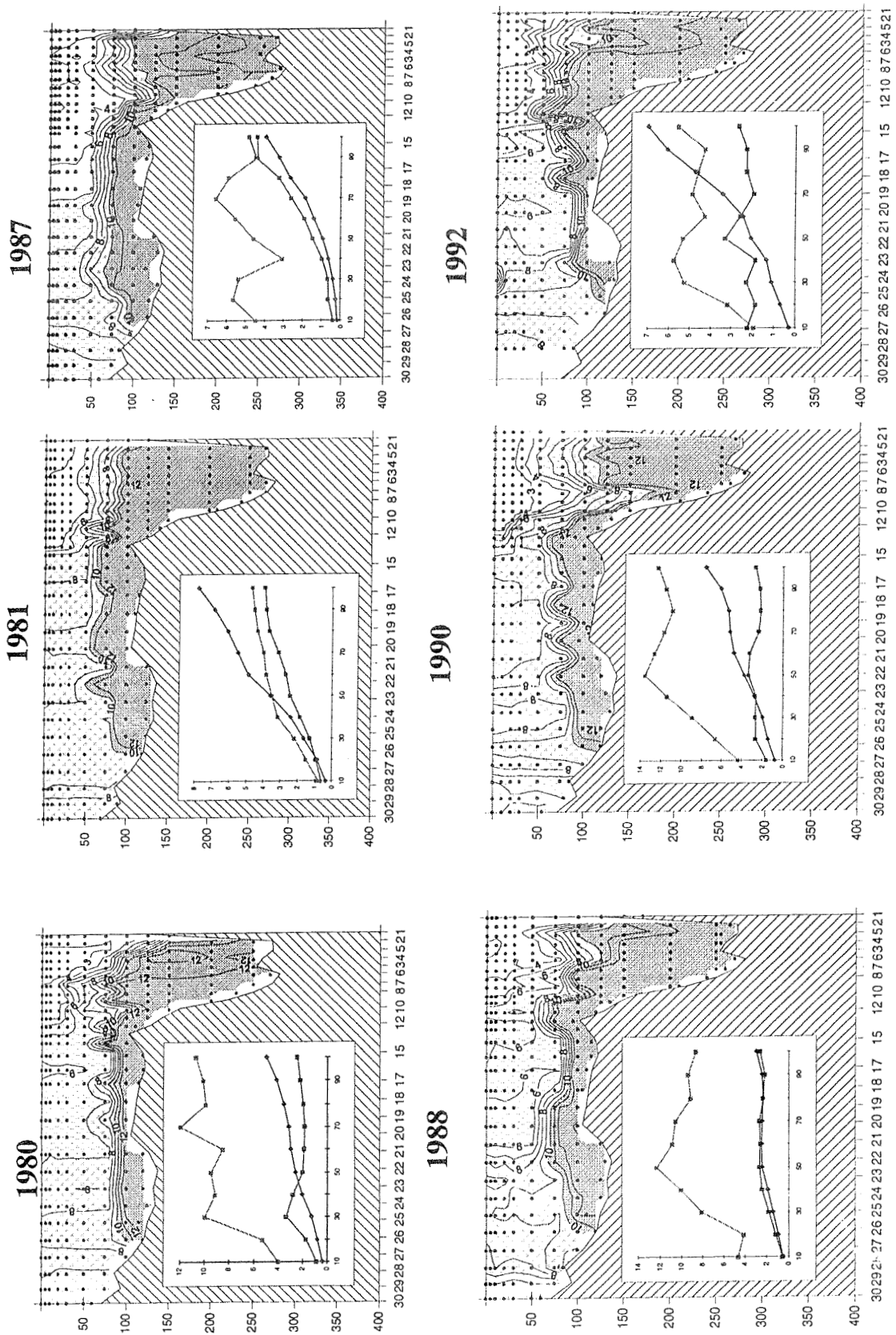
Figur B.1.12 viser også at det utenfor Hirtshals typisk var et vårmaksimum i klorofyll-*a* i april på 5-6 $\mu\text{g/l}$. Fra mai til september lå konsentrasjonene mellom 2 og 3 $\mu\text{g/l}$, med et lokalt høst-

maksimum i august måned. Resten av året var klorofyll-*a* under omlag 1 µg/l. Langs norskekysten og i Kattegat inntraff vårbloomstringen i mars måned, ca 1 måned før Hirtshals. Klorofyll-*a* konsentrasjonene i mars var høyere (7µg/l) i Kattegat enn langs norskekysten ved Arendal (5µg/l). Langs norskekysten lå klorofyll-*a* nivået mellom 1 og 2 µg/l fra mai til november, med unntak for et lokalt maksimum i august på ca 3µg/l. I desember og januar lå klorofyll-*a* under 1 µg/l. I Kattegat varierte konsentrasjonene mellom 1 og 2 µg/l fra april og ut året, med unntak av november med et lokalt klorofyll-*a* maksimum på omlag 3 µg/l. Klorofyll-*a* var både under vårbloomstringen og ellers i året høyere i de innstrømmende vannmasser fra Nordsjøen og langs norskekysten enn i sentrale deler av Skagerrak.

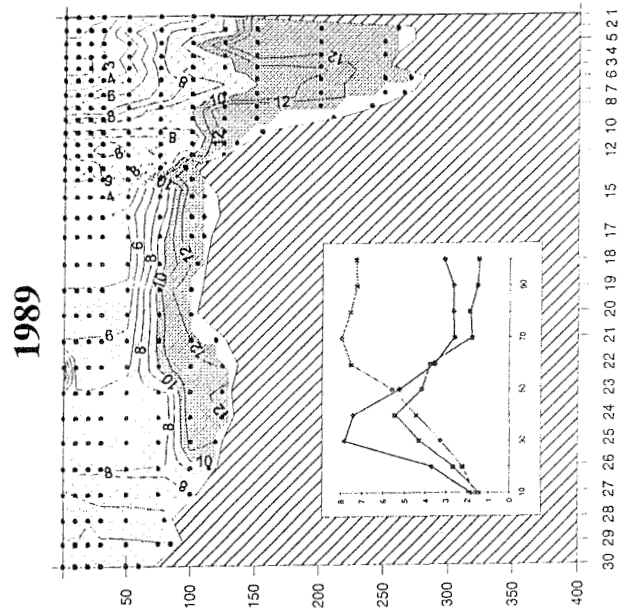
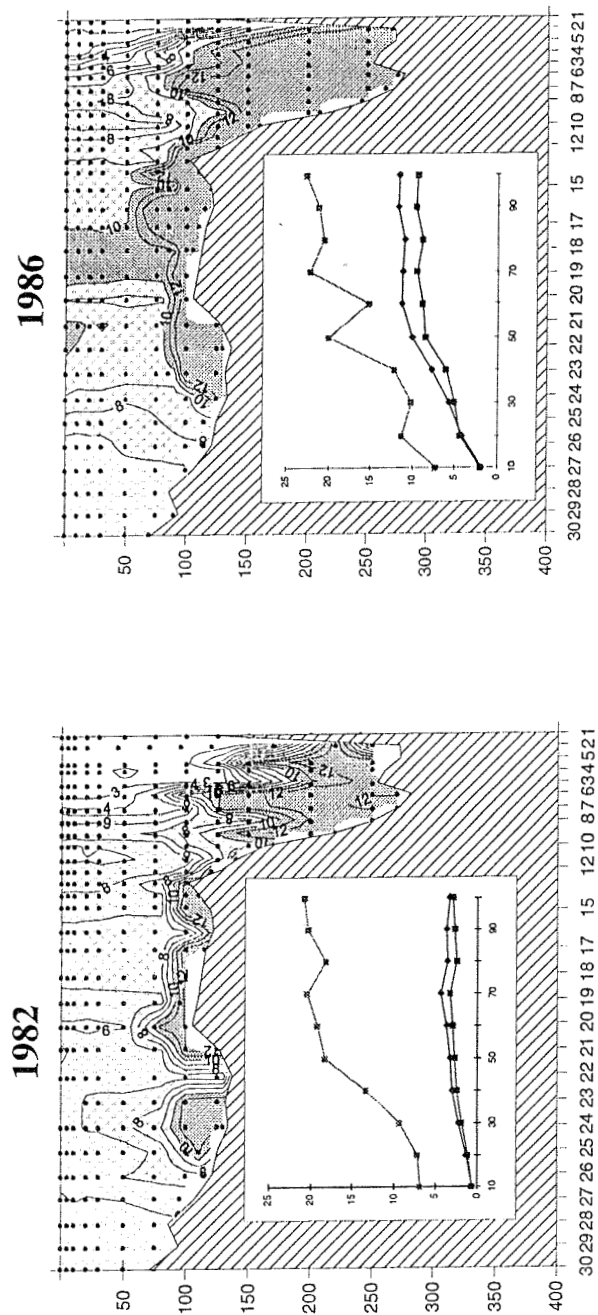
Tabell B.1.3. Korrelasjoner (*r*) i nitrat (over diagonalen) og fosfat (under diagonalen) mellom utvalgte stasjoner på Torungen-Hirtshals snittet 1980-96. Alle korrelasjonene er statistisk signifikant ulik 0 på 1% nivå. Korrelasjoner på over 0.80 er uthevet og understreket. Kun tilfeller med observasjon på begge stasjoner innenfor samme døgn benyttes i korrelasjonsberegningene. Dette antallet ligger mellom 160 og 175.

Stasjon	201	205	215	220	230	252
201	Nit Fos	<u>0.97</u>	0.76	0.75	0.78	0.74
205	<u>0.97</u>	Nit Fos	<u>0.81</u>	<u>0.80</u>	<u>0.83</u>	0.74
215	<u>0.85</u>	<u>0.87</u>	Nit Fos	<u>0.89</u>	<u>0.83</u>	0.52
220	<u>0.83</u>	<u>0.86</u>	<u>0.92</u>	Nit Fos	<u>0.85</u>	0.52
230	<u>0.85</u>	<u>0.85</u>	<u>0.85</u>	<u>0.86</u>	Nit Fos	0.62
252	0.74	0.75	0.65	0.65	0.72	Nit Fos

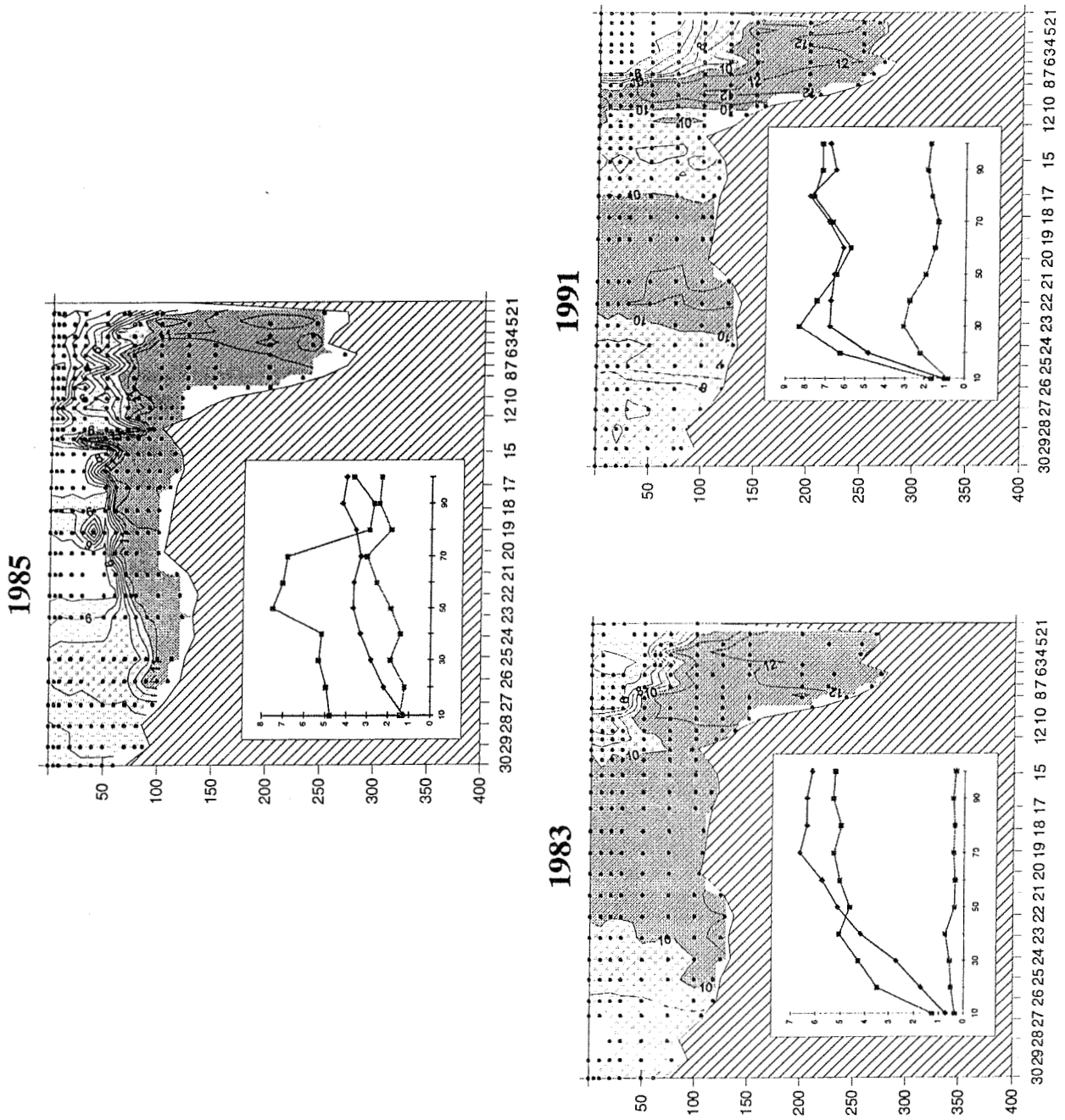
Geostatistisk analyse av nitratdata samlet inn på snittet Utsira-Orkneyøyene 1980-92 avslørte noen typiske fordelingsmønstre (Ostrowski, 1997). Vi kan gruppere årene inn i ulike klasser mhp. variabilitet i nitrat på tvers av den nordlige Nordsjøen. For de fleste av de undersøkte årene, 1980, 1981, 1987, 1988, 1990 og 1992, var den horisontale nitratstruktur i de øvre lag karakterisert av en gradvis økning fra Norskekysten og vestover (Figur B.1.13). Variogrammene for 10m og, i de fleste tilfeller, 50m viser en lineær økning i semi-variens med økende avstand. Områdene med høye konsentrasjoner fra overflaten til bunn ligger typisk fra stasjon 25-27, altså innenfor innflytelsesområdet til Fair Isle strømmen. Alle fordelingene i Figur B.1.13 viser et markert lag med høy konsentrasjon av nitrater fra 50 meters dyp og ned til bunn. Variogrammene viser at horisontalstrukturen på dette laget er ganske annerledes enn det vi fant nærmere overflaten. I November 1982 og 1986 er det et område med høy nitratkonsentrasjon gjennom hele vannsøylen sentralt på Nordsjøplataet (Figur B.1.14). I 1989 er det to slike områder, på yttersiden av Norskerenna og i den vestlige Nordsjøen, øst for Fair Isle. I de fleste år er vertikalfordelingen av nitrat i to klart skilte lag. Dette gjenspeiles i variogrammene der strukturen, og ofte størrelsen på semi-variansen, forandrer seg mellom 50 og 100 meters dyp. Klare avvik fra denne regelen forekommer i 1983 og 1991 fordelingene (Figur B.1.15). I disse årene er laget nær bunn ikke tilstede, den eneste forandringen i struktur med dyp framkommer ved et gradvis grunnere lag av norsk kystvann.



Figur B.1.13. Fordelingsmønstre for nitrat på snittet fra Utsira (til høyre) til Orkneyøyene i november 1980, 1981, 1987, 1988, 1990 og 1992. Stasjonsnummer langs X-aksen. De innfelte variogrammer viser horisontal korrelasjonsstruktur som funksjon av avstand mellom stasjoner (i km., langs X-aksen) på 10, 50 og 100 meter dyp (fra Ostrowski, 1997).



Figur B.1.14. Fordelingsmønster for nitrat på snittet fra Utsira (til høyre) til Orkneyøyene i november 1982, 1986 og 1989. Stasjonsnummer langs X-aksen. De innfelte variogrammer viser horisontal korrelasjonsstruktur som funksjon av avstand mellom stasjoner (i km., langs X-aksen) på 10, 50 og 100 meter dyp (fra Ostrowski, 1997).



Figur B.1.15. Fordelingsmønster for nitrat på snittet fra Utsira (til høyre) til Orkneyøyene i november 1983, 1985 og 1991. Stasjonsnummer langs X-aksen. De innfelte variogrammer viser horisontal korrelasjonsstruktur som funksjon av avstand mellom stasjoner (i km., langs X-aksen) på 10, 50 og 100 meter dyp (fra Ostrowski, 1997).

B.2. Tidsmessig variabilitet i målinger av hydrografi, strøm, næringsalter og algeparametre fra faste snitt, faste hydrografiske stasjoner og bøyer.

Ved måling av oseanografiske parametre er det viktig at observasjonsfrekvensen er tilpasset de naturlige variasjonene i de parametrene man ønsker målt. Vi vil her først kort diskutere den teoretiske, statistiske, bakgrunnen for å bestemme observasjonsfrekvens, før vi ser på selve resultatene av variabilitetsanalysene. Fagområdet som omfatter observasjonsfrekvensens betydning for måleresultatene fra en statistisk synsvinkel kalles tidsserieanalyse. En tidsserie er observasjoner av en parameter med faste tidsintervall. Rent matematisk kan enhver funksjon bygges opp av en sum av sinus-funksjoner med forskjellig frekvens. Dette vil si at enhver tidsserie kan deles opp til en sum av sinus-funksjoner. Dette kalles Fourier eller spektralanalyse (Chatfield, 1989). Ved Fourieranalyse av en tidsserie får man altså ut hvilke frekvenser som er tilstede i tidsserien. Et fundamentalt krav til observasjonsfrekvensen er i følge sample-teoremet at observasjonsfrekvensen er to ganger større enn den høyeste frekvensen som er tilstede i den parameteren man ønsker å observere. Hvis denne betingelsen ikke er oppfylt, vil målingene rent statistisk ikke være i stand til å gjengi den parameteren man ønsker målt.

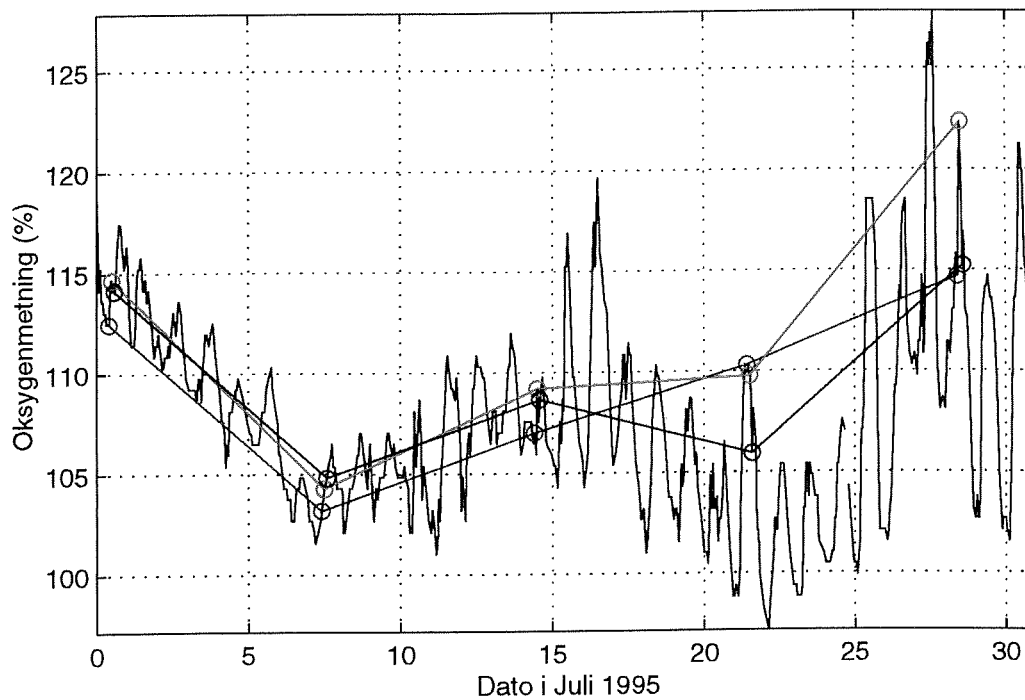
En illustrasjon av for lav observasjonsfrekvens er vist i Figur B.2.1. Her ser vi timeverdier for oppløst oksygen ved Torbjørnskjær plottet for juli måned 1995 sammen med ukentlige stikkprøver tatt ved forskjellig tidspunkt på dagen. Som vi ser varierer oksygeninnholdet på daglig basis, slik at de ukentlige verdiene ikke vil gi representativt bilde. De daglige variasjonene “foldes ned” slik at de ukentlige prøvene her viser variasjoner som ikke eksisterer.

Figur B.2.2 viser timeverdier for svekningskoeffisienten for blått lys, målt med OptiSense-instrumentet, ved Torbjørnskjær plottet for mai måned 1993 sammen med ukentlige stikkprøver tatt ved forskjellig tidspunkt på dagen. Her ser vi en god illustrasjon på at vi har en relativt rask oppblomstring av alger som stikkprøvene viser i varierende grad, alt etter hvor “heldig” man er med tidspunktet for prøvetaking. Selv om oppblomstringen av alger er et fenomen som forekommer sjelden, dvs. er lavfrekvent, er tidsforløpet så raskt at man bør ha en relativt høy observasjonsfrekvens.

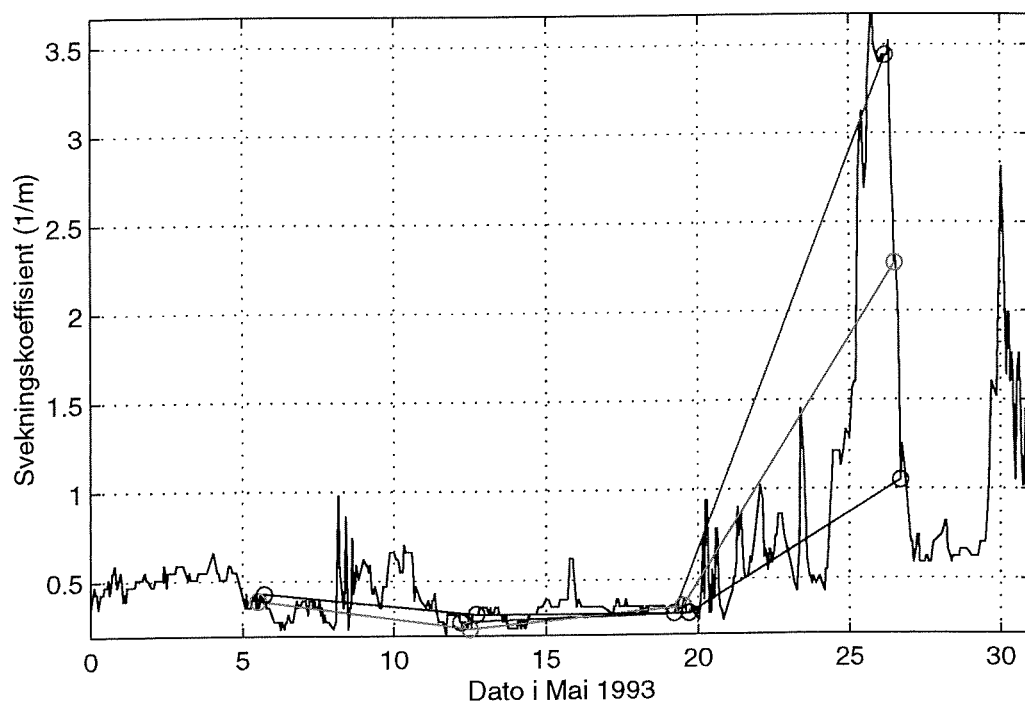
Variabilitet på tidsskala fra måneder til år

Månedsmidler av temperatur og saltholdighet samt tilhørende standardavvik (Figur B.2.3) er beregnet for utvalgte dyp for stasjon 220 i den dypeste delen av Skagerrak. Maksimumstemperaturen i overflaten forekommer typisk i august med 1, 2, og 4 måneders forsinkelse på henholdsvis 10, 20 og 50 m. Dypere nede er midlere sesongvariasjon svak og mellomårlig variasjon innenfor enkeltmåneder liten og lik for alle måneder. Saltholdigheten i overflaten har en klar sesongsyklus med et minimum på ca 27 psu i juni og et maksimum på rundt 32.5 i desember. Sesongvariasjonen er mindre klar på 10 og 20 m og fra 100 m og ned mangler den helt. Variabiliteten i de øvre lag er størst i mars/april, under 100 m er også for saltholdighet den mellomårlig variasjon innenfor enkeltmåneder liten og lik for alle måneder.

Langtidsvariasjonen (1962-1994) av sesongsyklusen for temperatur (Figur B.2.4) viser at maksimum på 30 m dyp inntreffer i oktober-november (med unntak av 1985) noe som bekrefter inntrykket fra Figur B.2.3. Store år til år variasjoner såvel som anomalier som varte over flere år har forekommet i perioden. På 200 meters dyp er sesongsignalet svakt, temperaturen er de fleste år noe lavere om sommeren enn om vinteren (Danielssen *et al.*, 1996).

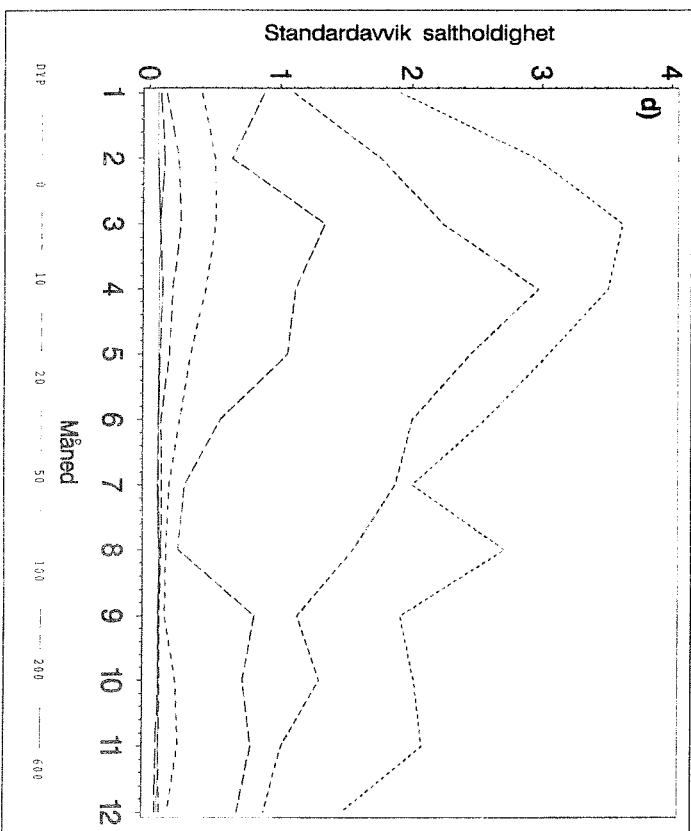
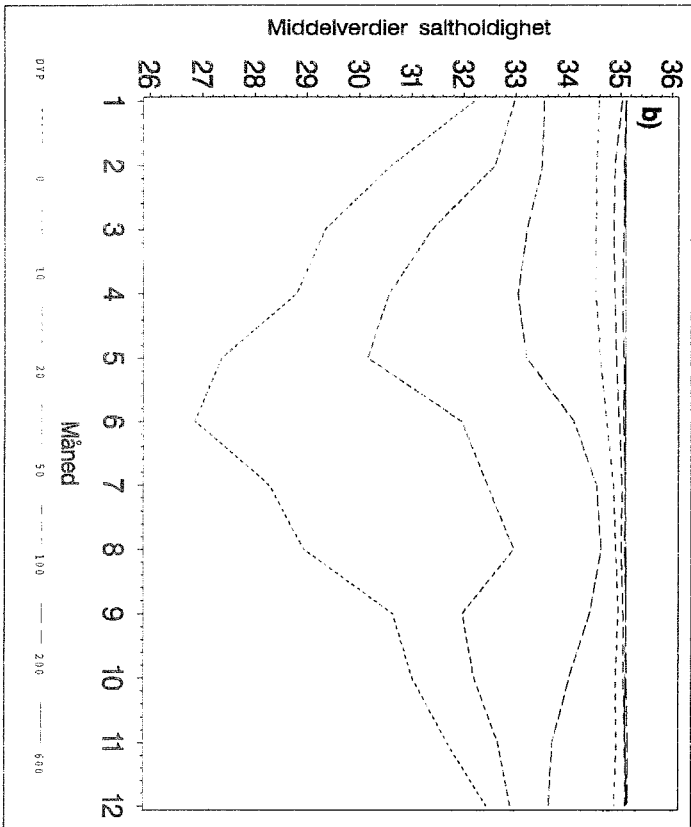
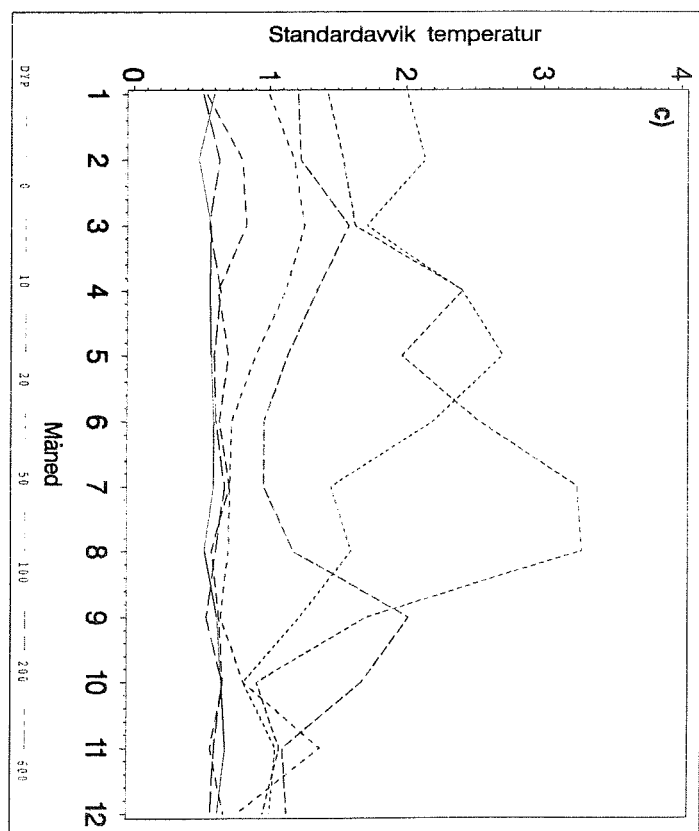
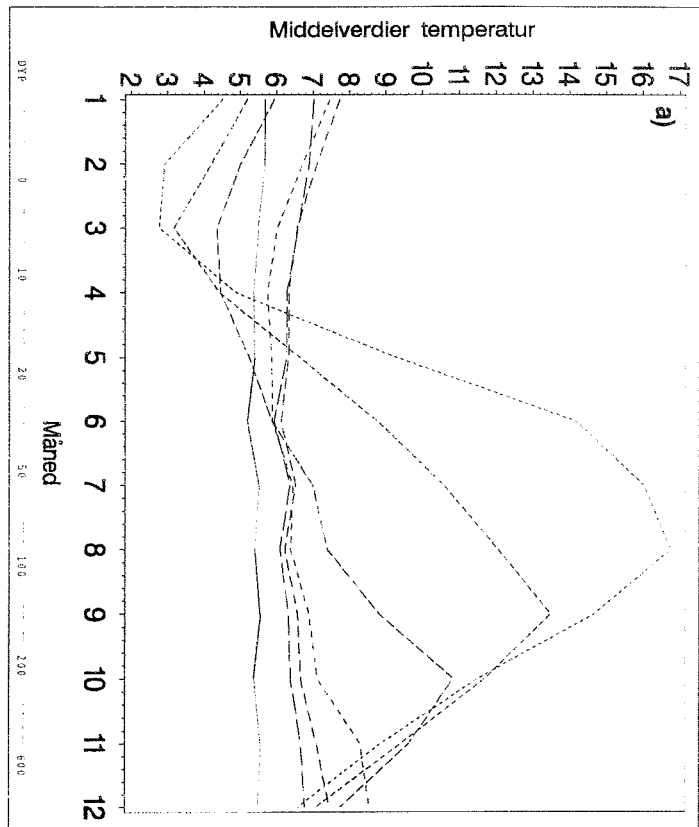


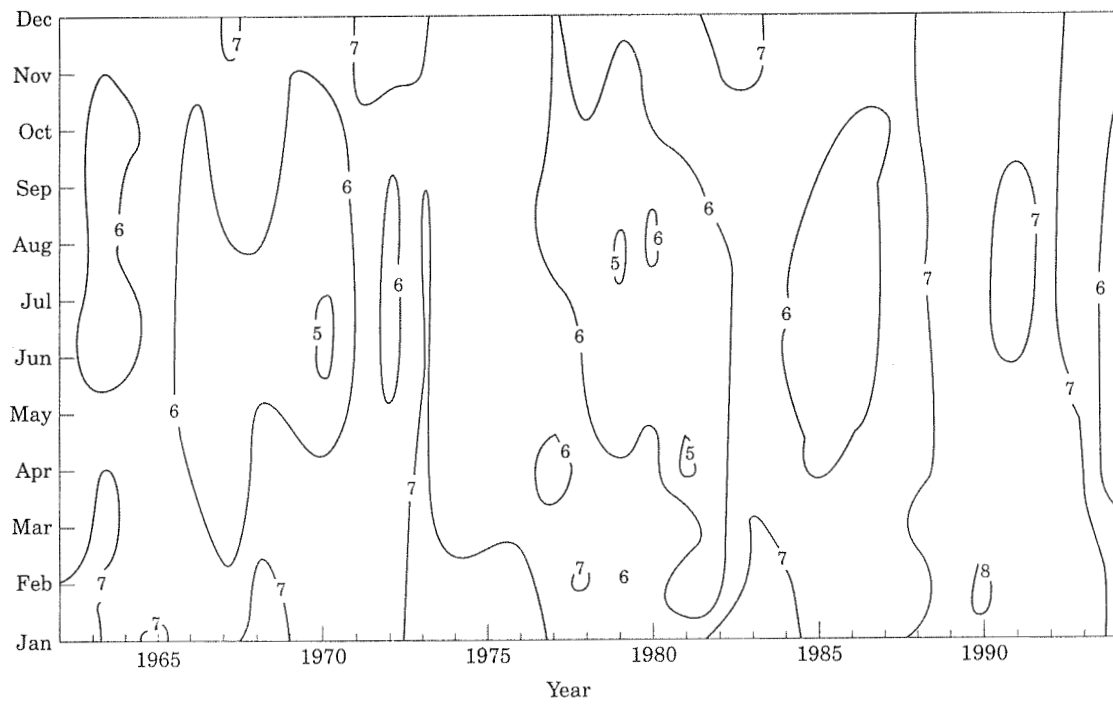
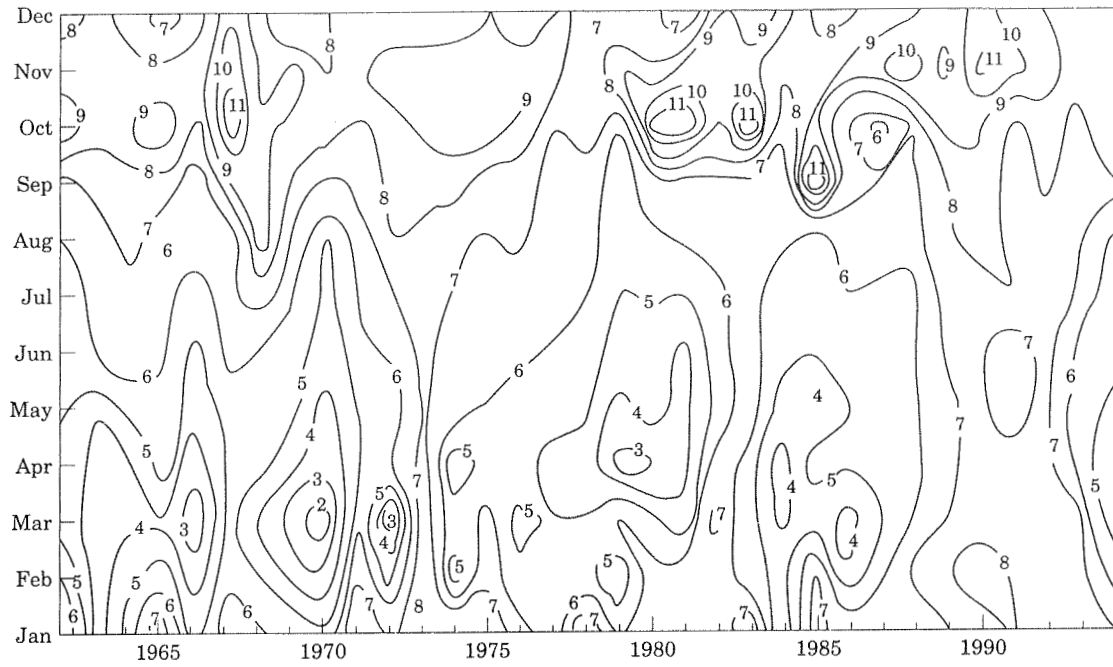
Figur B.2.1. Timeverdier for oksygenmetning ved Torbjørnskjær juli 1995 (svart) og ukentlige verdier innsamlet kl. 10:00, 12:00 og 14:00.



Figur B.2.2. Timeverdier for svekningskoeffisient for blått lys ved Torbjørnskjær mai 1993 (svart) og ukentlige verdier innsamlet kl. 05:00, 12:00 og 17:00.

Figur B.2.3. Månedsmidler av temperatur (a) og saltholdighet (b), standardavvik av temperatur (c) og saltholdighet (d) fra utvalgte dyp ved stasjon 220 i den dyreste delen av Skagerrak.





Figur B.2.4. Temperatur ved stasjon 220 på Torungen-Hirtshals snittet ved dyp 30 m (øverst) og 200 m (nederst) for perioden 1962-1994 (fra Danielssen *et al.*, 1996).

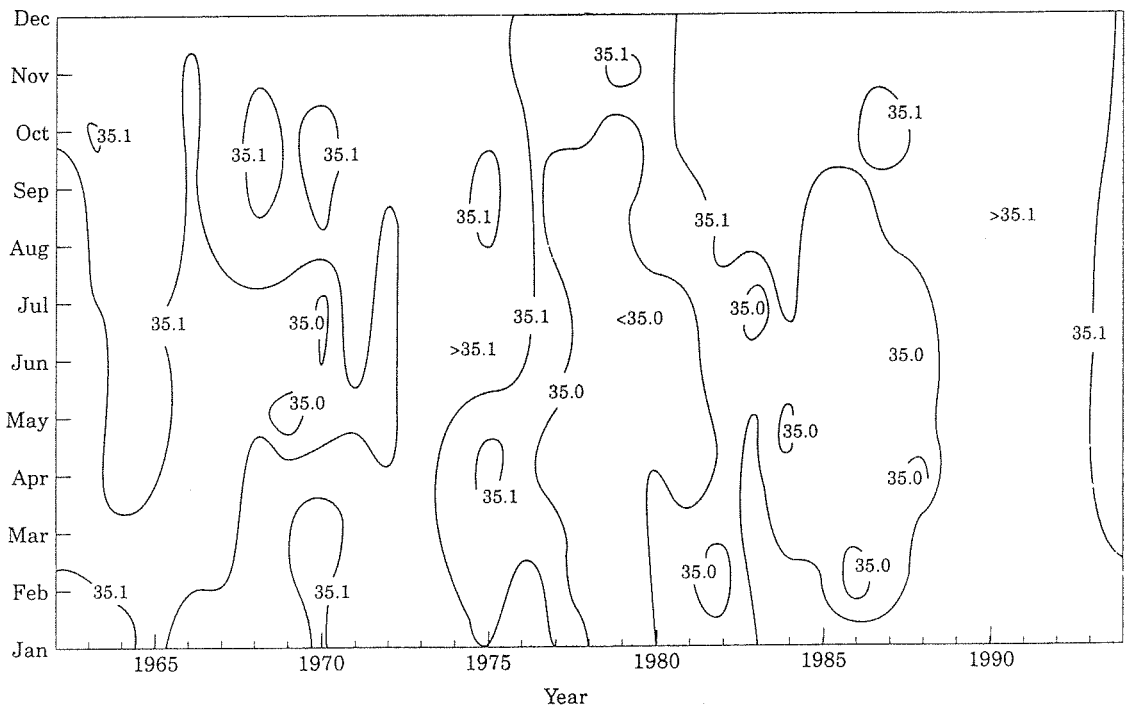
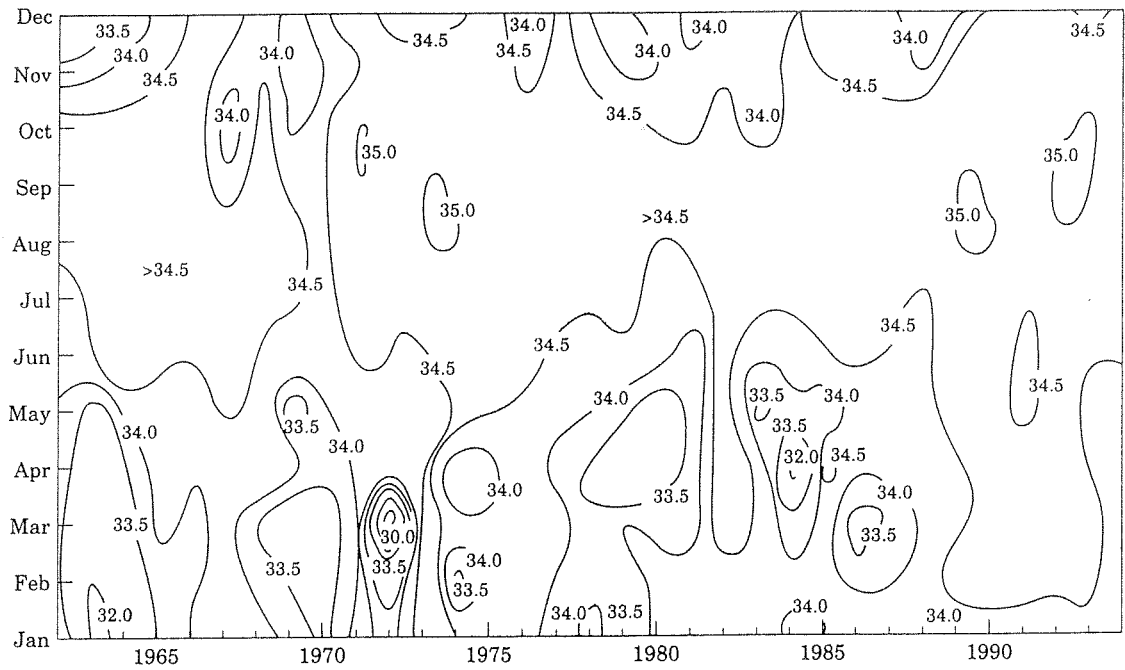
Langtidsvariasjonen i saltholdighet på 30 m dyp for samme periode og stasjon (Figur B.2.5) har også en sesongvariasjon med høyeste verdier om høsten. På 200 m dyp kan ingen sesongvariasjon observeres (Danielssen *et al.*, 1996).

Tabell B.2.1 viser variasjoner av tetthet fra de faste stasjonene i kystovervåkingsprogrammet (observasjoner ca. 2 ganger pr måned) fra 1990-95. Vi ser at variasjonen ved Jomfruland gjennomgående er noe større enn ved Arendal. På alle stasjoner avtar standardavvikene hurtig med dypet.

Tabell B.2.1. Standardavvik (std. av.) av sigma-t på ulike dyp og stasjoner. Samtlige observasjoner fra kystovervåkingsprogrammet 1990-95.

Dyp	Jomfruland		Arendal St. 3 (201)		Arendal St. 3 (205)		Lista	
	N	std. av.	N	std. av.	N	std. av.	N	std. av.
0	108	3.34	119	3.13	61	3.0	68	2.75
5	109	3.12	120	2.94	60	2.63	55	2.18
10	109	2.49	120	2.50	60	1.93	69	2.29
20	109	1.43	120	1.38	60	1.06	68	1.70
30	108	1.04	120	0.91	59	0.83	69	1.01
50	107	0.73	120	0.64	60	0.53	69	0.83
75	110	0.54	119	0.43	60	0.38	69	0.60
100	100	0.42			60	0.22	69	0.43
125					58	0.16	69	0.28
150					59	0.14	69	0.23
200					58	0.11	69	0.17
240					53	0.09		
250							69	0.13
300							65	0.10

Fourieranalyse ble forsøkt anvendt på hydrografiske serier fra stasjoner på snittet Torungen-Hirtshals. Dessverre fant vi det vanskelig å få noe ut av disse resultatene. Dette må skyldes at det rett og slett ikke er svingninger i faste perioder i området. Den eneste klare perioden er sesongvariasjonen, ellers skjer endringer som følge av ikke-deterministiske pulser som tilfører systemet vannmasser med andre egenskaper utenfra. En annen metode for å kunne vurdere hvilken målefrekvens som er nødvendig for å fange opp det vesentlige av variabiliteten til en parameter er den benyttet av Stigebrandt (1984), beskrevet under materiale og metoder, der variansen dekomponeres på forskjellige perioder.



Figur B.2.5. Saltholdighet ved stasjon 220 på Torungen-Hirtshals snittet ved dyp 30 m (øverst) og 200 m (nederst) for perioden 1962-1994 (fra Danielssen *et al.*, 1996).

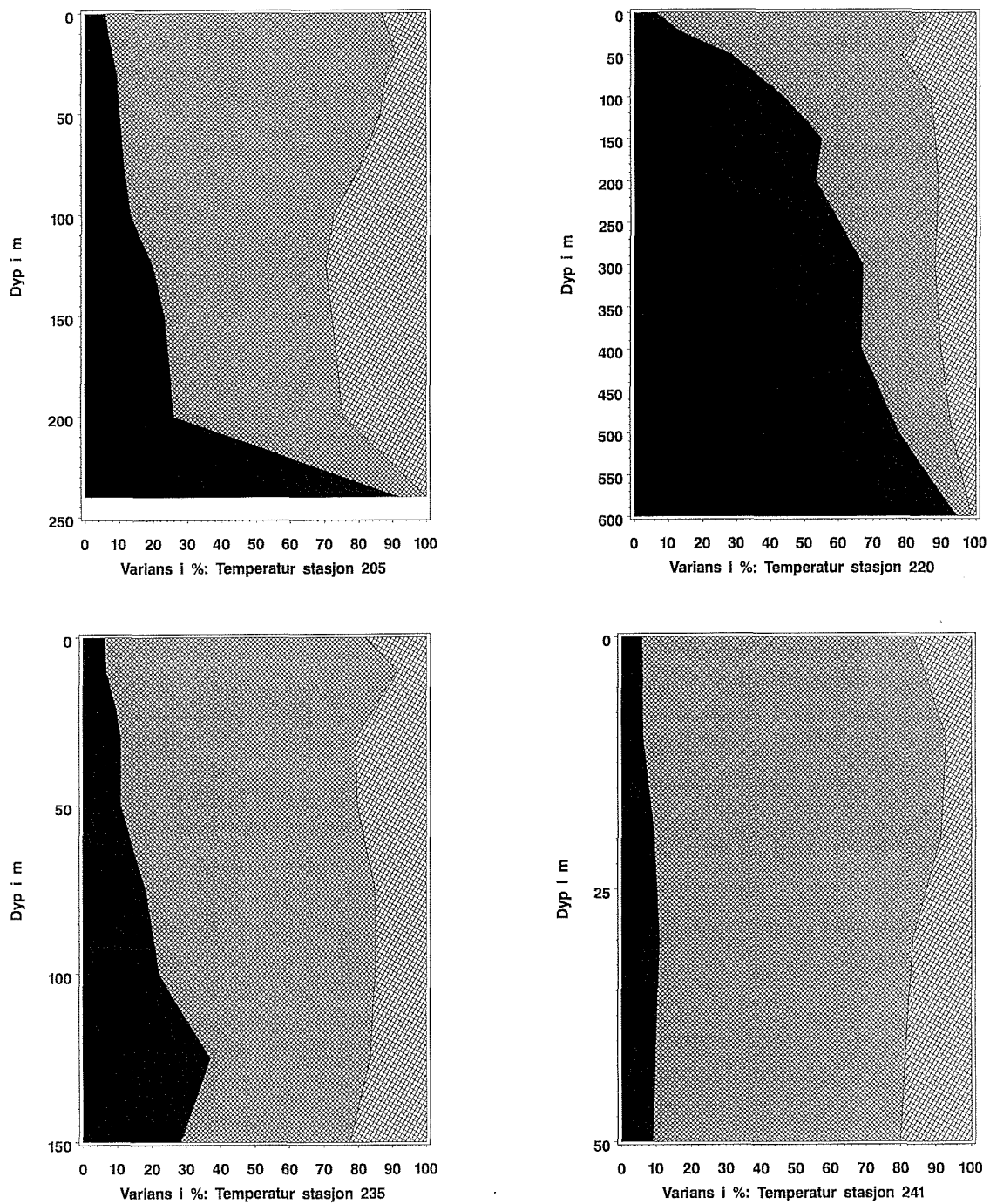
For fire stasjoner på snittet Torungen-Hirtshals studerte vi hvordan den totale variabiliteten til salt, temperatur og tetthet fordelte seg på komponenter på mer enn 12 måneder, fra 3 til 12 måneder og mindre enn 3 måneder som funksjon av dyp. Stasjonene som ble valgt ut (se Figur B.0.1) er 205 (dominert av norsk kystvann), 220 (den dypeste, midt i Skagerrak), 235 (influert av kjernen av atlantisk innstrømming langs 200 meters koten) og 241 (influert av vann fra den sentrale Nordsjøen). Figur B.2.6 viser den prosentvise fordeling av varians i temperatur på de ulike perioder på ulike dyp. Vi ser at variasjon innenfor 3-12 måneder, "sesongvariasjon", dominerer i de øverste lag. På 50 meters dyp ligger 50 (stasjon 220) til 75 prosent av variabiliteten i dette frekvensintervallet. Bidraget på mellomårlig og lengre skala utgjør på dette dypet kun ca 10 prosent, unntatt på stasjon 220 der det er oppe i 30%. Dette skyldes at på rendene av bassenget er innflytelsen av kortvarige fenomener, gjerne relatert til vind, sterkere. Oppholdstiden til vannmassene i det sentrale området er mye lenger enn nær kysten. Det mest iøynefallende i Figur B.2.6 er hvordan den prosentvise betydning av den langperiodiske variasjonen øker dramatisk med dypet og sesongvariasjonen avtar tilsvarende. Nær bunnen på de to dypeste stasjonene, 240 meter på 205 og 600 meter på 220 er over 90% av variabiliteten på mellomårlig eller lengre tidsskala, mens variasjon på mindre enn 3 måneders skala er så godt som fraværende.

Sesongvariasjonen i saltholdighet (Figur B.2.7) er ikke så dominerende i de øvre lag som hos temperatur. På 50 meters dyp ligger fra 25 til 50 (stasjon 220) prosent av variansen i intervallet 3-12 måneder. Den prosentvise betydning av den langperiodiske variasjonen øker med dypet på stasjon 220 og fra 200 til 250 meter på stasjon 205, men ikke så klart som for temperatur. Ingen slik tendens sees på stasjon 235 og 241. Den prosentvise fordeling av varians i tetthet med dyp (Figur B.2.8) ser til forveksling ut som den for saltholdighet. I de øvre lag er det likevel en markant større del av den totale tetthetsvariasjon som ligger i intervallet 3-12 måneder, 50-65% på 50 meters dyp.

Selve variansene (i motsetning til prosentvise, relative verdier) i saltholdighet på de samme dyp, fordelt på de samme 3 frekvensområder og for de samme fire stasjoner vises i figurene B.2.9 og B.2.10. Varians i saltholdighet på stasjon 205 beregnet ut fra henholdsvis opprinnelig serie, sesongmidler (3 mnd) og årsmidler vises dessuten i Tabell B.2.1. Det dominerende inntrykket er at den totale variabilitet i saltholdighet avtar dramatisk med dypet på alle stasjonene. Stasjon 205 har de største variansverdier gjennom hele vannsøylen. Den totale variansen i saltholdighet er her 11.49 i overflaten, men reduseres kraftig ned til 1.49, altså 13% av overflateverdien, på 20 meters dyp. På 50 meter er variansen 0.23, kun 2% av variansen i overflaten. På de andre stasjonene er altså selve variansen noe mindre, men reduksjonen med dypet enda klarere. Stasjon 235 har en varians på 8.52 i overflaten, 0.42 på 20 m (5% av overflateverdien) og 0.06 på 50 m (0.7%). Reduksjonen i varians med dypet er av samme størrelsesorden på de ulike frekvensintervaller. Unntaket er, som vi husker fra den prosentvise fordeling, stasjon 220 der variasjonen på mellomårlig skala avtar minst hurtig. Det må understrekes at variansen uansett frekvens er liten fra 20 meter og nedover.

Varians i tetthet (Figur B.2.11 og B.2.12) følger det samme mønsteret som saltholdigheten både mhp. selve størrelsesordenen, forholdet mellom de ulike stasjoner, reduksjon av den totale variabilitet med dypet og relativ utvikling mellom de ulike frekvensintervaller. Dette understreker at tetthetsvariabiliteten i dette området er bestemt av variabilitet i saltholdighet.

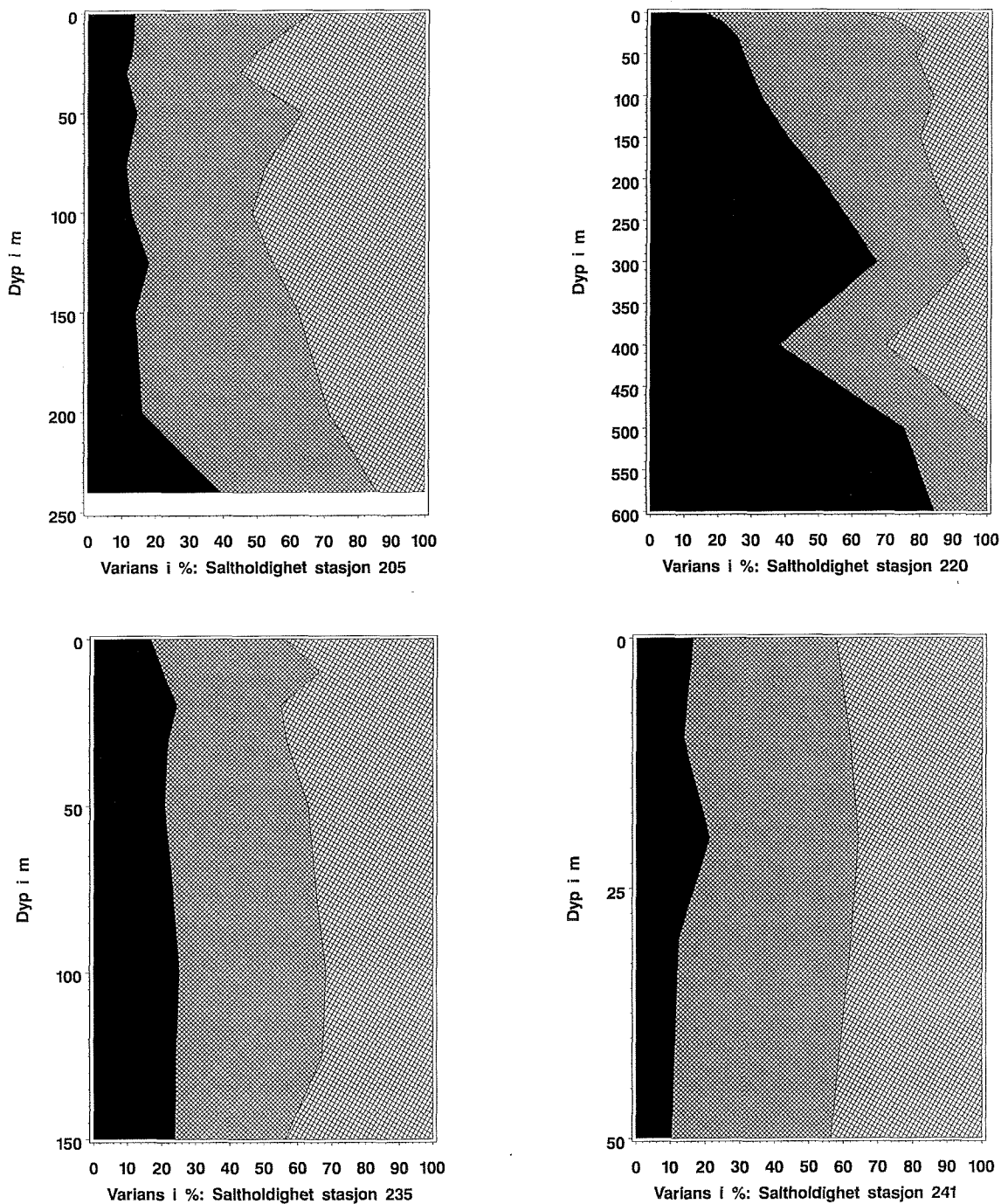
Som det fremgår av Tabell B.2.2 er det en klar forskjell mellom de ulike eutrofirelevante variablers årsvariasjon. Størst variasjon har de løste næringssaltene som nitrat, fosfat og silikat samt klorofyll-*a*, hvor standardavviket ligger mellom vel 50 til vel 100% av middelverdiene.



Varians i temperatur prosentvis fordelt på ulike perioder

mer enn 12 mnd
 3-12 mnd
 mindre enn 3 mnd

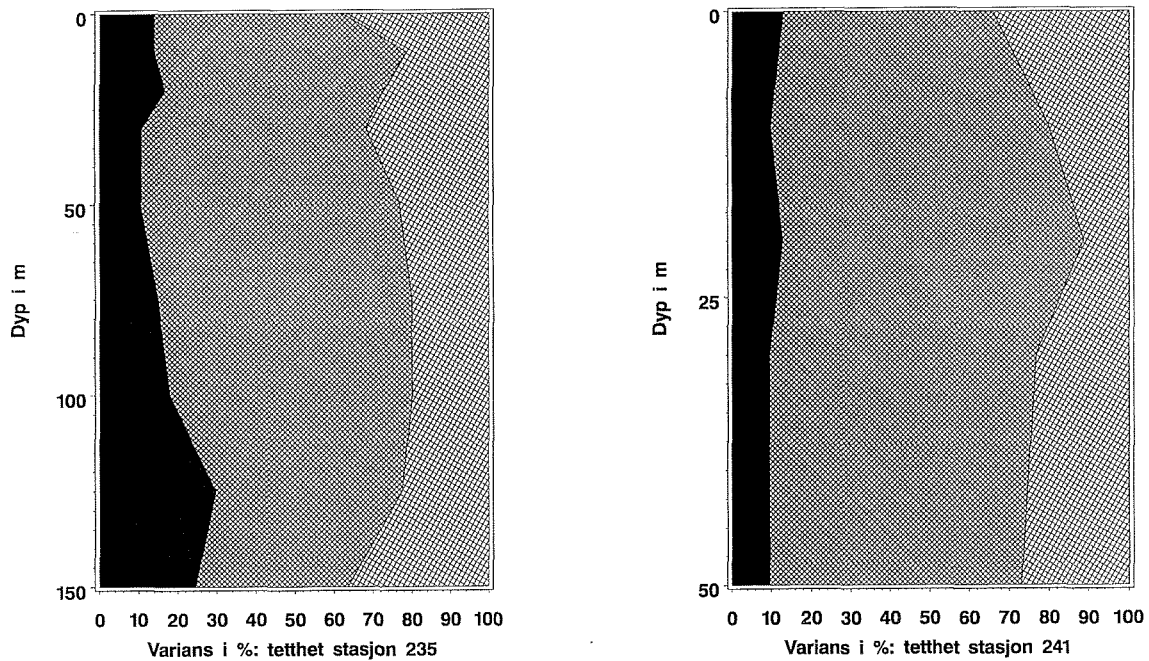
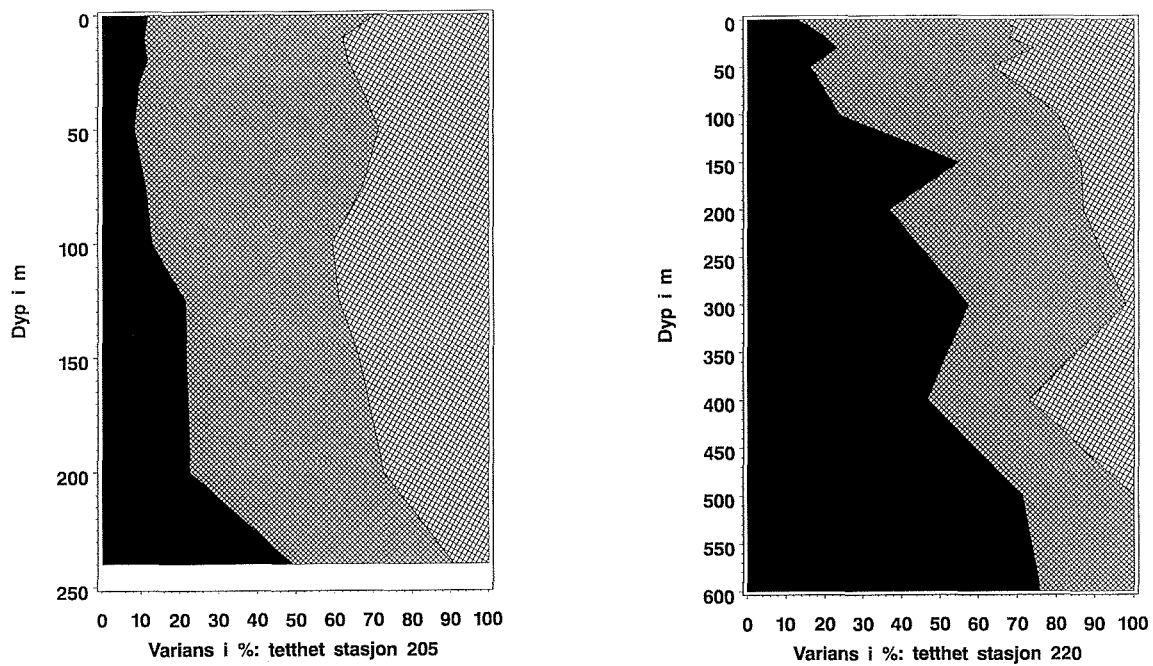
Figur B.2.6. Fordeling med dypet av varians i temperatur prosentvis fordelt på ulike perioder ved 4 stasjoner på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Merk ulik dybdeskala pga. stor forskjell i dyp. Variansen i den opprinnelige serie er satt til 100%. Figuren viser hvor mye av totalvariansen som kan forklares fra tidsmidlete serier, serier med grovere oppløsning i tid.



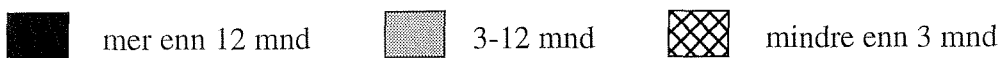
Varians i saltholdighet prosentvis fordelt på ulike perioder

mer enn 12 mnd
 3-12 mnd
 mindre enn 3 mnd

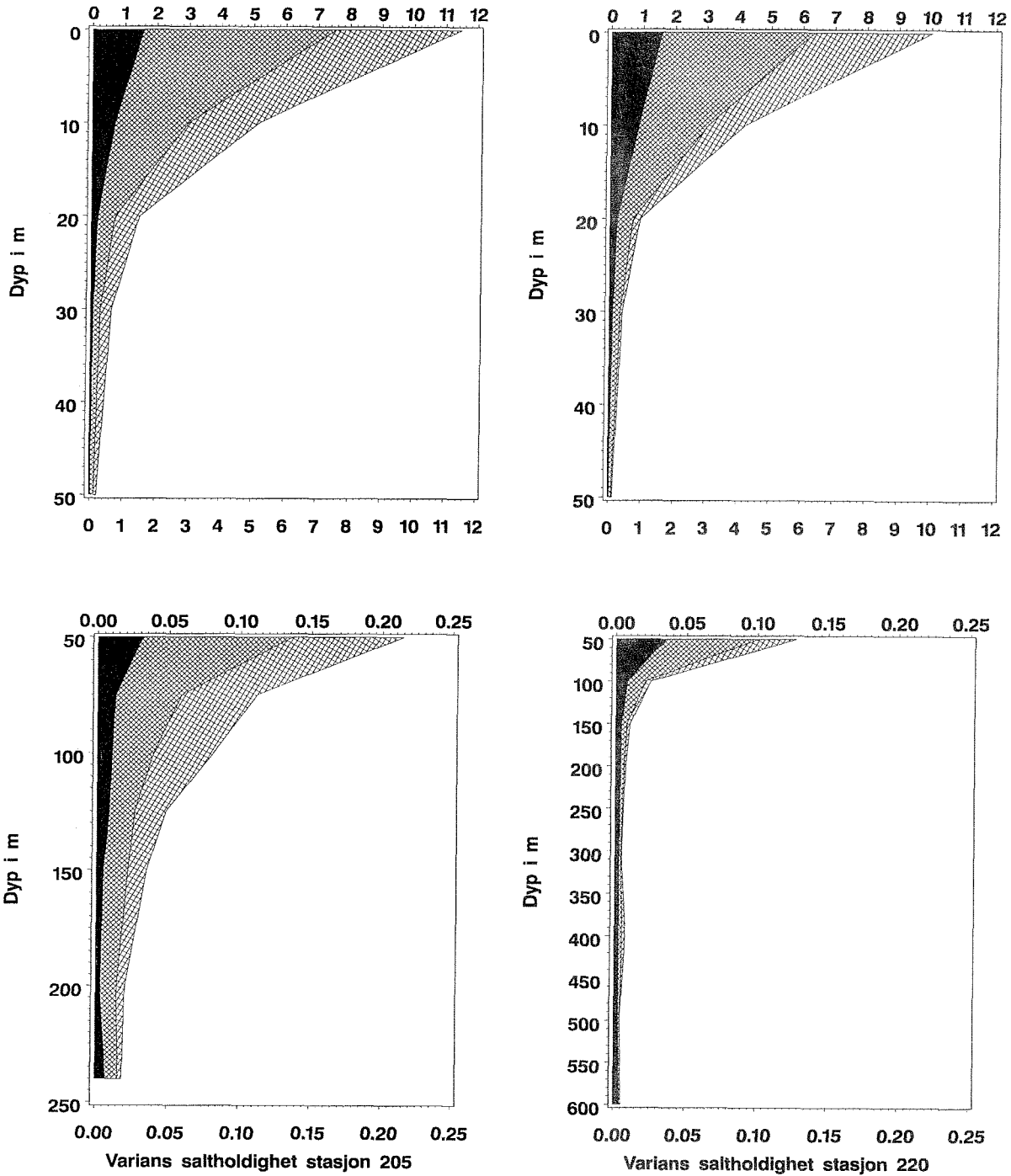
Figur B.2.7. Fordeling med dyppet av varians i saltholdighet prosentvis fordelt på ulike perioder ved 4 stasjoner på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Merk ulik dybdeskala pga. stor forskjell i dyp. Variansen i den opprinnelige serie er satt til 100%. Figuren viser hvor mye av totalvariansen som kan forklares fra tidsmidlete serier, serier med grovere oppløsning i tid.



Varians i tetthet prosentvis fordelt på ulike perioder



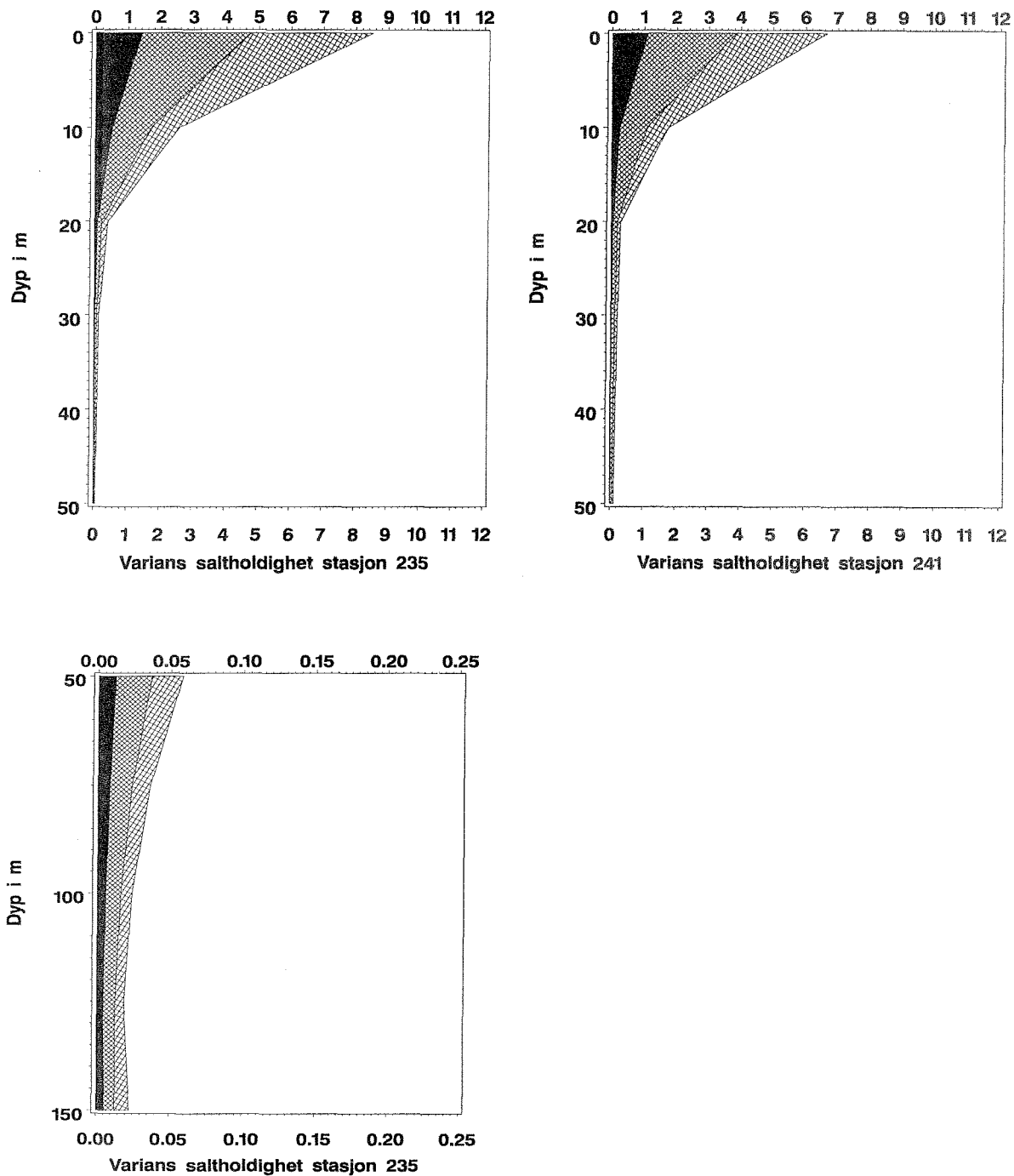
Figur B.2.8. Fordeling med dyppet av varians i tetthet prosentvis fordelt på ulike perioder ved 4 stasjoner på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Merk ulik dybdeskala pga. stor forskjell i dyp. Variansen i den opprinnelige serie er satt til 100%. Figuren viser hvor mye av totalvariansen som kan forklares fra tidsmidlele serier, serier med grovere oppløsning i tid.



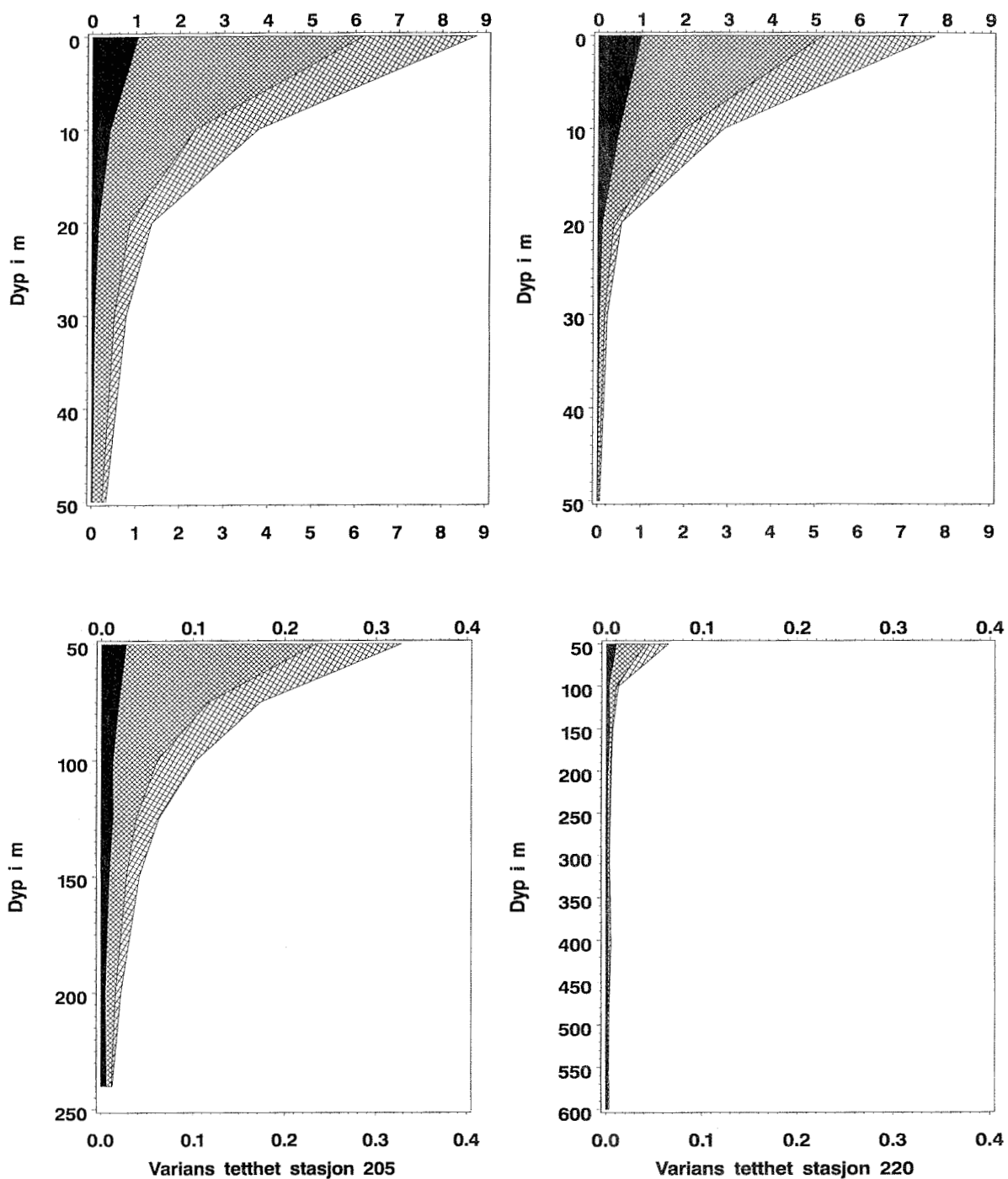
Varians i saltholdighet fordelt på ulike perioder

mer enn 12 mnd
 3-12 mnd
 mindre enn 3 mnd

Figur B.2.9. Fordeling med dybden av variansen til saltholdighet på ulike perioder ved stasjon 205 og 220 på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Pga. stor forskjell på verdier med dybde er intervallene 0-50 m og 50m-plottet separert med ulike horisontalskalaer. Ulike dybdeskalaer benyttes pga. stor forskjell i bunndyp mellom stasjonene.



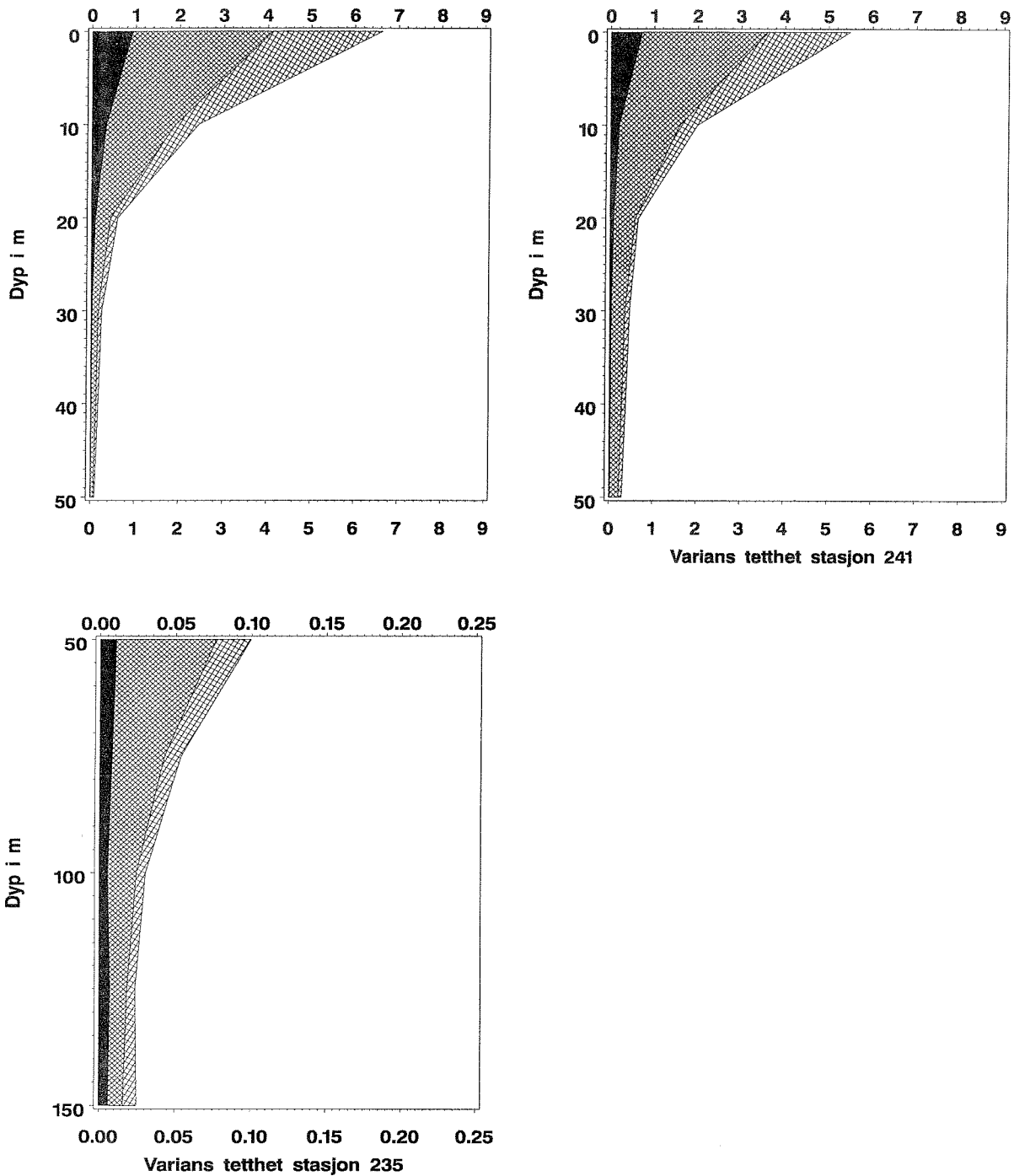
Figur B.2.10. Fordeling med dypet av variansen til saltholdighet på ulike perioder ved stasjon 235 og 241 på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Pga. stor forskjell i verdier med dyp er intervallene 0-50 m og 50m-plottet separat med ulike horisontalskalaer for stasjon 235. Ulike dybdeskalaer benyttes pga. stor forskjell i dyp mellom stasjonene.



Varians i tetthet fordelt på ulike perioder

mer enn 12 mnd
 3-12 mnd
 mindre enn 3 mnd

Figur B.2.11. Fordeling med dypet av variansen til tetthet på ulike perioder ved stasjon 205 og 220 på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Pga. stor forskjell i verdier med dyp er intervallene 0-50 m og 50m- plottet separat med ulike horisontalskalaer. Ulike dybdeskalaer benyttes pga. stor forskjell i dyp mellom stasjonene.



Varians i tetthet fordelt på ulike perioder

mer enn 12 mnd
 3-12 mnd
 mindre enn 3 mnd

Figur B.2.12. Fordeling med dypet av variansen til tetthet på ulike perioder ved stasjon 235 og 241 på snittet Torungen-Hirtshals. Data fra 1952-1996. Pga. stor forskjell i verdier med dyp er intervallene 0-50 m og 50m- plottet separat med ulike horisontalskalaer. for stasjon 235. Ulike dybdeskalaer benyttes pga. stor forskjell i dyp mellom stasjonene.

Størst variasjon er det i overflatelaget. For totalnitrogen, totalfosfor og partikulært organisk materiale er variasjonen over året mindre (ca. 50%). I utgangspunktet vil en forandring på årsbasis således være vanskelig å observere for de fleste variabler, hvilket betyr at en sammenligning bør foretaes på årstidsbasis f.eks. i de sesonger hvor variabiliteten er liten sammenlignet med middelverdien. Dette taler mot en jevn observasjonsfrekvens for alle variable over året.

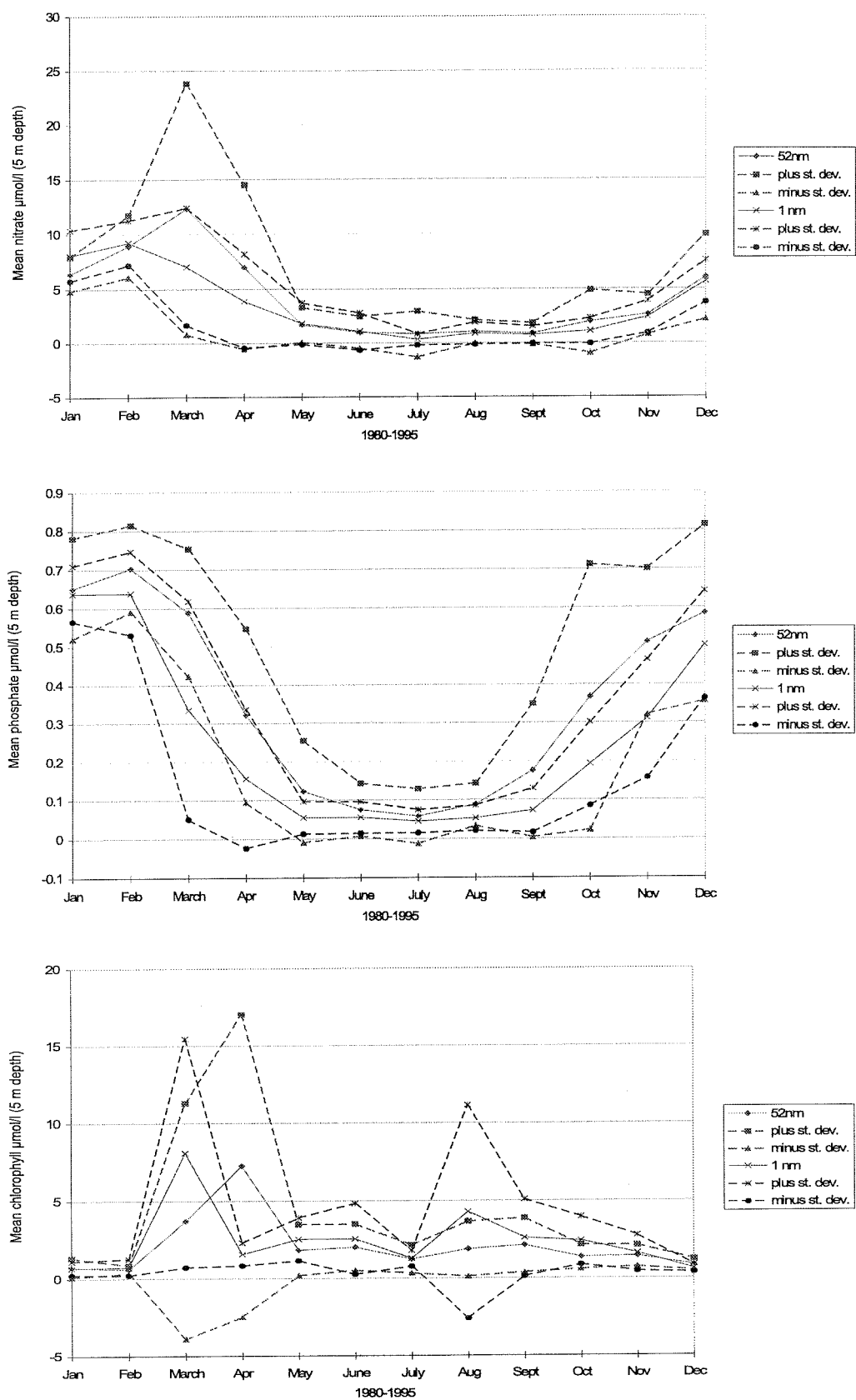
Tabell B.2.2. Middelerdi og standardavvik for enkelte variable 1990-95 ved Jomfruland, hele år, alle observasjoner (ca. 2 ganger pr måned).

Variabel	Tot-N		NO ₃ +NO ₂ -N		Tot-P		PO ₄ -P		SiO ₃	
Dyp	Middel	std. av.	Middel	std. av.	Middel	std.av.	Middel	std. av.	Middel	std. av.
5	19.1	5.23	3.01	3.72	0.46	0.22	0.18	0.22	2.55	2.67
10	18.9	5.61	3.27	3.94	0.47	0.22	0.20	0.23	2.54	2.52
20	18.6	6.86	3.87	4.20	0.48	0.22	0.27	0.23	2.71	2.37
30	18.8	7.53	4.74	4.08	0.53	0.20	0.35	0.22	2.91	1.95
50	18.8	5.97	5.35	3.67	0.62	0.19	0.45	0.20	3.52	1.71
75	19.1	6.78	6.03	3.27	0.69	0.18	0.53	0.19	3.90	1.77
100	20.5	7.17	7.20	3.05	0.81	0.21	0.63	0.19	4.27	1.83
Variabel	Kl-a		PON		POP		POC		TSM	
Dyp	Middel	std. av.	Middel	std.av.	Middel	std.av.	Middel	std. av.	Middel	std.av.
5	1.78	1.17	4.04	2.18	0.18	0.10	29.0	15.6	0.94	0.48
10	1.75	1.19	3.76	1.87	0.17	0.09	26.9	13.2	0.94	0.48
20	1.16	0.63	3.17	1.91	0.13	0.08	22.8	12.6	0.89	0.55
30	0.70	0.37	2.69	1.77	0.10	0.07	20.3	16.5	0.85	0.55
50	0.34	0.23								
75			2.51	2.11	0.09	0.06	19.3	13.0	1.18	1.03
100										
Variabel	Tot-(N/P)		POC/PON							
Dyp	Middel	std. av.	Middel	std.av.						
5	48.4	21.6	7.36	1.39						
10	47.1	21.4	7.38	1.41						
20	44.6	22.2	7.52	1.87						
30	38.6	16.6	7.68	2.28						
50	31.7	10.5								
75	28.6	11.5	8.70	3.09						
100	26.1	8.7								

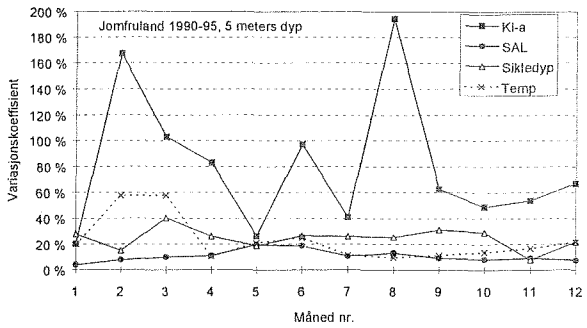
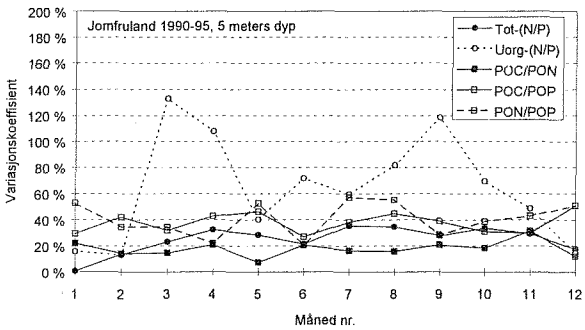
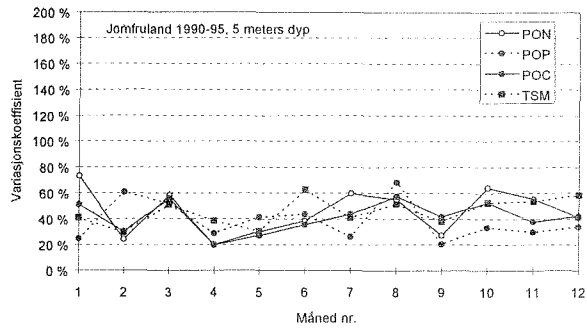
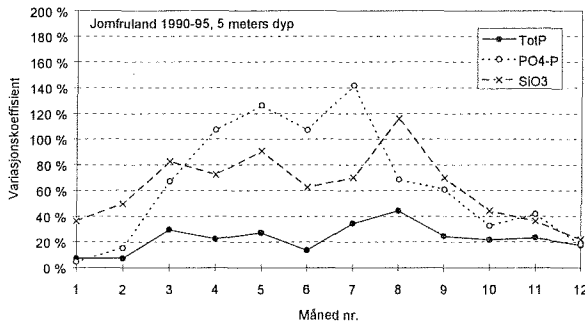
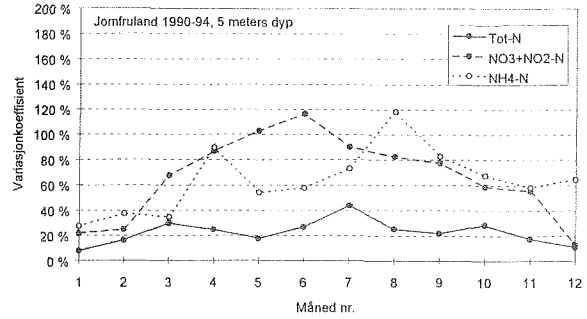
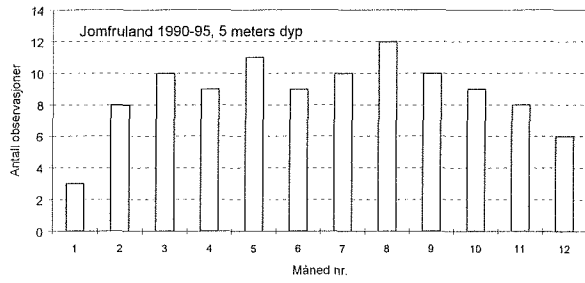
Noe som vanskeliggjør innsamlingstrategien for eutrofirelevante variable er at det i enkelte perioder er spesielt stor variasjon. I Figur B.2.13 vises månedsmidler og standardavvik for nitrat, fosfat og klorofyll i 5 meters dyp ved stasjon 201 (1 nm fra norskekysten) og stasjon 252 utenfor Hirtshals (52 nm fra norskekysten). På stasjon 252 har en i middel de høyeste nitratverdier i mars, men også den høyeste variabiliteten fra år til år. Ved norskekysten inntreffer årsmaksimum noe tidligere og uten det store utslaget i standardavviket. På begge sider av Skagerrak har en lavt nitratnivå nær overflaten gjennom sommeren før nivået igjen øker i oktober / november. Årssyklusen i månedsmidler for fosfat i 5 meters dyp er svært klar og sammenfallende for stasjon 201 og 252. Nivået på danskesiden er noe høyere gjennom hele året, men det mest karakteristiske er de store relative forskjeller mellom de høyere verdier på seinhøsten / vinteren og de lave sommerverdier. Maksimumsverdien og maksimum år til år variasjon for klorofyll kommer, som for nitrat, ca en måned tidligere ved norskekysten enn utenfor Danmark. En mindre topp forekommer også om høsten, men år til år variabiliteten på stasjon 201 er relativt stor på denne tiden.

Figurene B.2.14, B.2.15 og B.2.16 illustrerer de ulike variablers variasjon pr. måned (variasjonskoeffisienten) ved Jomfruland når samtlige observasjoner fra 1990-95 er brukt. Strategien da programmet startet opp var observasjoner ca. 2 ganger pr måned, men med lavere frekvens vinterstid (desember-februar, 1 gang pr. måned). Strategien avspeiler seg i antall observasjoner pr. måned gjennom hele perioden (Figur B.2.14).

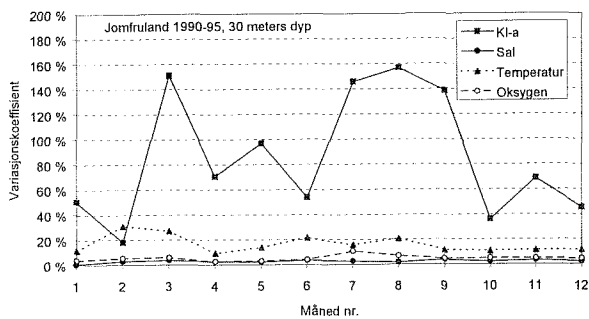
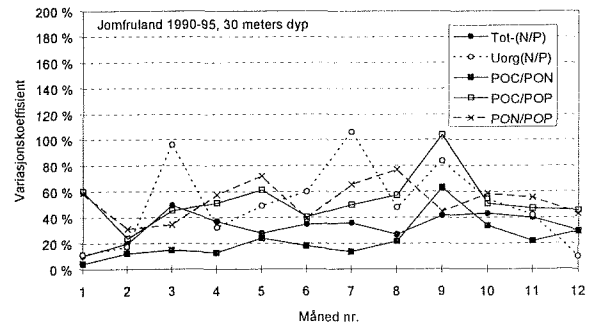
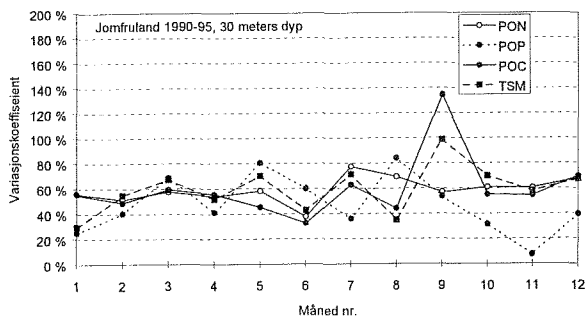
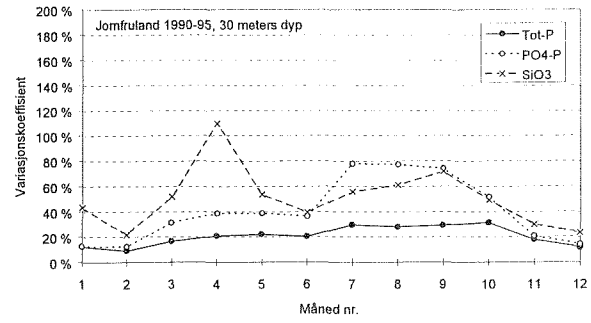
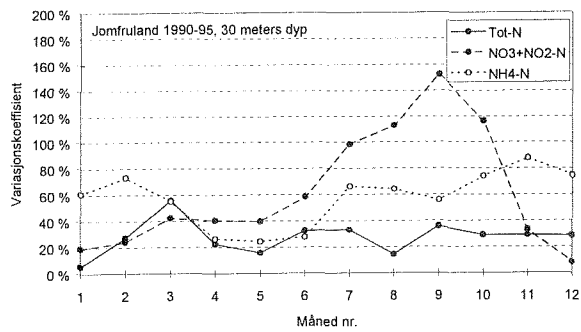
Som for tettheten er variasjonen i de øvre vannmasser betydelig større enn de dypereliggende vannmasser, men det er store forskjeller mellom de ulike variable. Klorofyll-*a* og de løste næringssaltene varierer mest over året på 5m dyp, mens siktedyp, silikat og totalnitrogen, totalfosfor og partikulært materiale varierer mindre. Optimal innsamling vil således i utgangspunktet være en hyppigere observasjonsfrekvens av klorofyll-*a* i februar til april og i august, hvis en langtidsutvikling skal følges og kunne analyseres med høy grad av utsagnskraft.



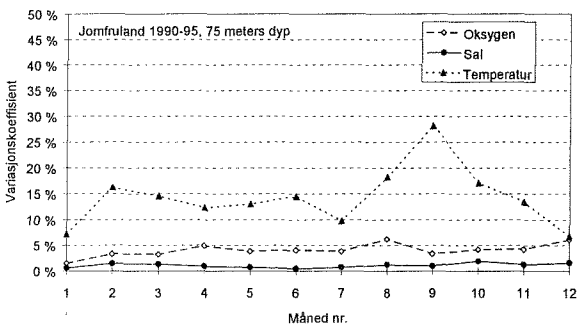
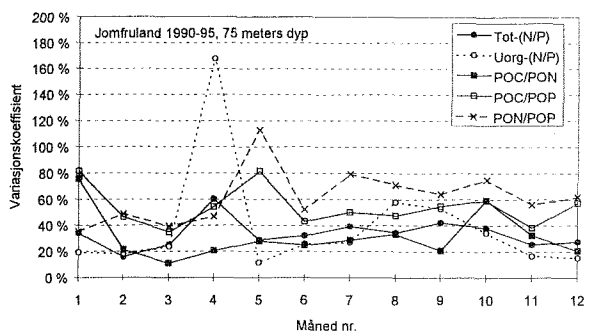
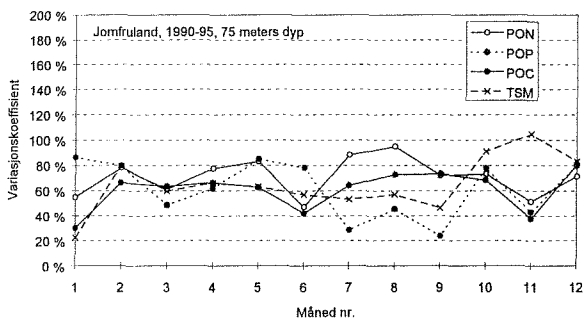
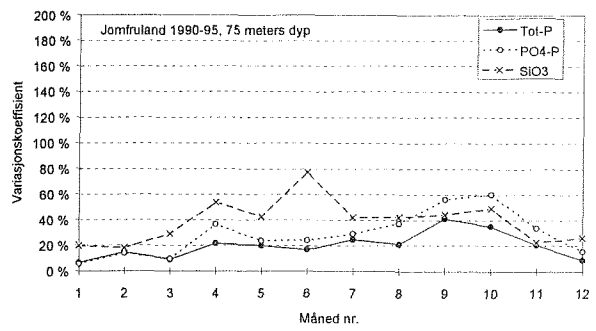
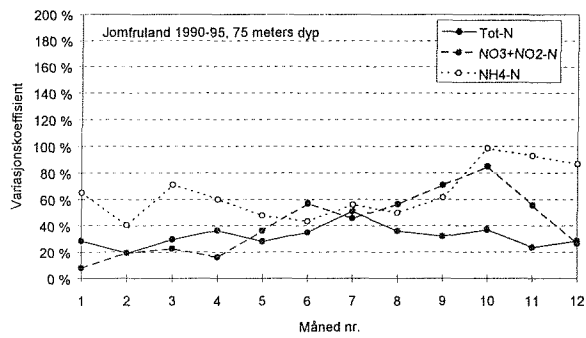
Figur B.2.13. Middelerverdi og standardavvik for årene 1980-1995 for nitrat (øverst), fosfat (i midten) og klorofyll (nederst) i 5m fra stasjon 201 (ved Arendal) og 252 (utenfor Hirtshals).



Figur B.2.14. Variasjonskoeffisienten (standardavvik/middelverdi) for aktuelle eutrofirelevante variabler pr. dyp og måned ved Jomfruland, 5 meters dyp. Observasjoner fra kystovervåkingsprogrammet 1990-95.



Figur B.2.15. Variasjonskoeffisienten (standardavvik/middelverdi) for aktuelle eutrofirelevante variabler pr. dyp og måned ved Jomfruland, 30 meters dyp. Observasjoner fra kystovervåkingsprogrammet 1990-95.



Figur B.2.16. Variasjonskoeffisienten (standardavvik/middelverdi) for aktuelle eutrofirelevante variabler pr. dyp og måned ved Jomfruland, 75 meters dyp. Observasjoner fra kystovervåkingsprogrammet 1990-95.

Korttidsvariabilitet

For å kunne uttale oss om variabiliteten på kortere perioder har vi benyttet tilsvarende metode som over på en ettårig serie av hydrografiske målinger foretatt med strømmåler utenfor Torungen (Stigebrandt *et al.*, 1995). Prosentvis varians i tetthet og saltholdighet fordelt på frekvensintervallene 1-24 timer, 1-7 døgn, 7-28 døgn og mer enn 28 døgn er vist i Figur B.2.17. Variasjonen på tidsskala mer enn 28 dager står for 53% av totalvariasjonen i tetthetsfeltet (fra timesmidlene) på 13 m dyp, på 75 m har denne økt til 73%. Variasjoner i tetthet med perioder 7-28 dager har omtrent samme relative betydning på alle dyp, en viss økning med dyp kan likevel observeres. Den relative andel av den totale variasjonen i tetthet som ligger på de korteste perioder, mindre enn en uke, avtar raskt med dypet. Dette gjelder spesielt perioder fra 1-7 dager som står for ca 23% av totalvariabiliteten på 13 meters dyp, men kun ca 0.7% på 75 m. Stigebrandt *et al.* (1995) viste at variasjoner i tetthet med perioder mindre enn 1 time er ubetydelige på alle dyp. Figur B.2.17 viser at komponenter på mer enn 28 dager bidrar noe mindre til totalvariasjonen i saltholdighet enn tilfellet var for tetthet. Dette må ha sammenheng med den store sesongvariasjonen i temperatur som har en viss innflytelse på variabiliteten i tetthetsfeltet. Som for tetthet, men noe klarere, er den prosentvise andel av variasjonen i saltholdighet med perioder 7-28 dager litt større på 75 m enn på 13 m. Den relative andel av den totale variasjonen som ligger i perioder fra 1-7 dager avtar også for saltholdighet klart med dypet.

Isoplet-diagrammene fra høyfrekvent måling med strømmålere for temperatur ved Torungen (Figur B.2.18), saltholdighet ved Torungen (Figur B.2.19), temperatur ved Jomfruland (Figur B.2.20) og saltholdighet ved Jomfruland (Figur B.2.21) viser at mye av variabiliteten i øvre vannlag skyldes dynamiske prosesser med perioder kortere enn 1/2-1 måned (Stigebrandt *et al.*, 1995).

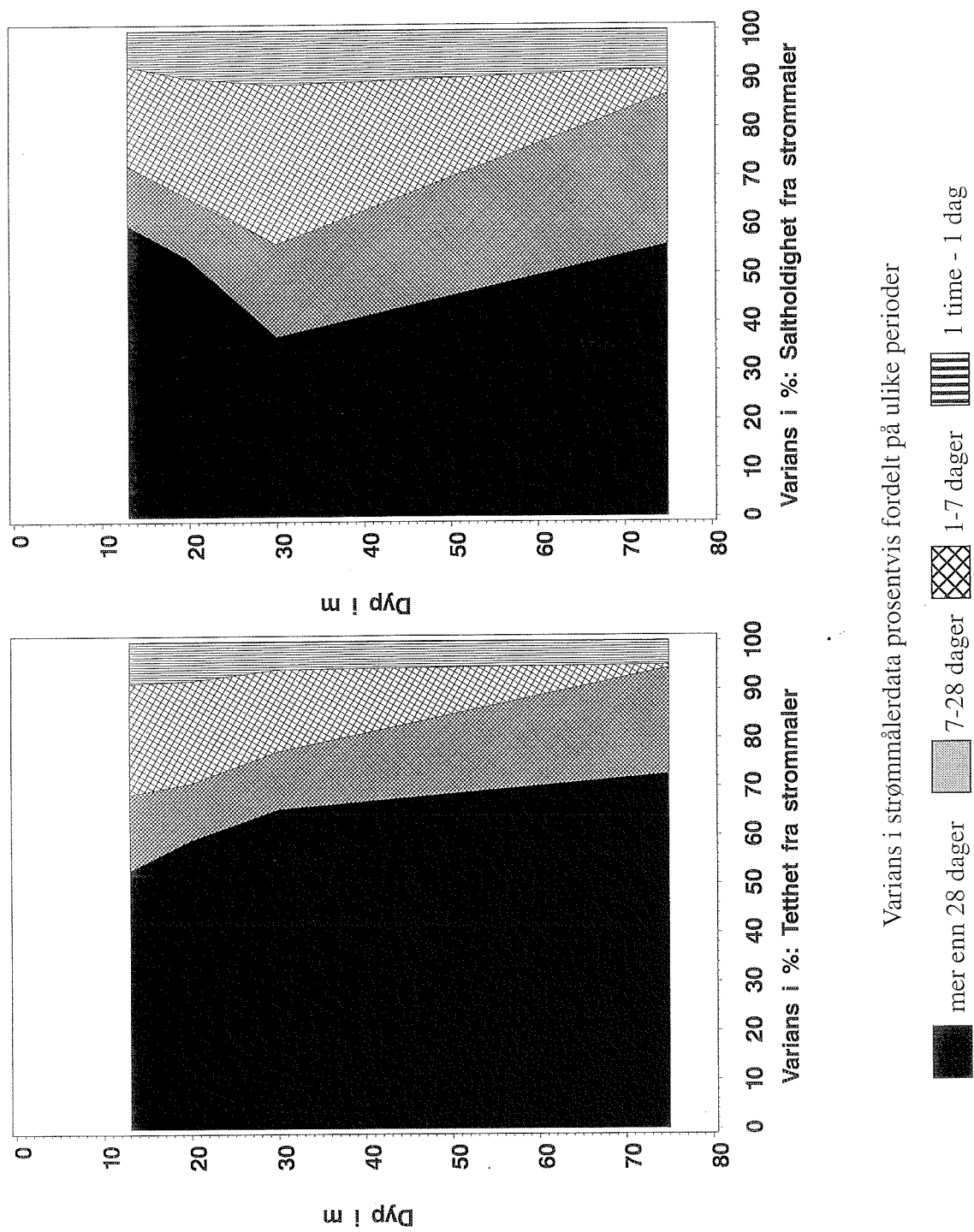
Variabiliteten i både saltholdighet og tetthet fra strømmåleren avtar raskt med dypet (Figur B.2.22, Tabell B.2.3. og B.2.4). Mens totalvariansen i saltholdighet (timesmiddelserien) ligger på 4.08 på 13 m dyp er den redusert til 0.86 (ca 20%) på 20 m og 0.07 (under 2%) på 75 meters dyp. Også totalvariansen i tetthet avtar raskt med dypet. På 13 m dyp er den 2.37, på 20 m 0.67 (ca 28%) og på 75 m 0.09 (ca 4%).

Totalvariabilitet

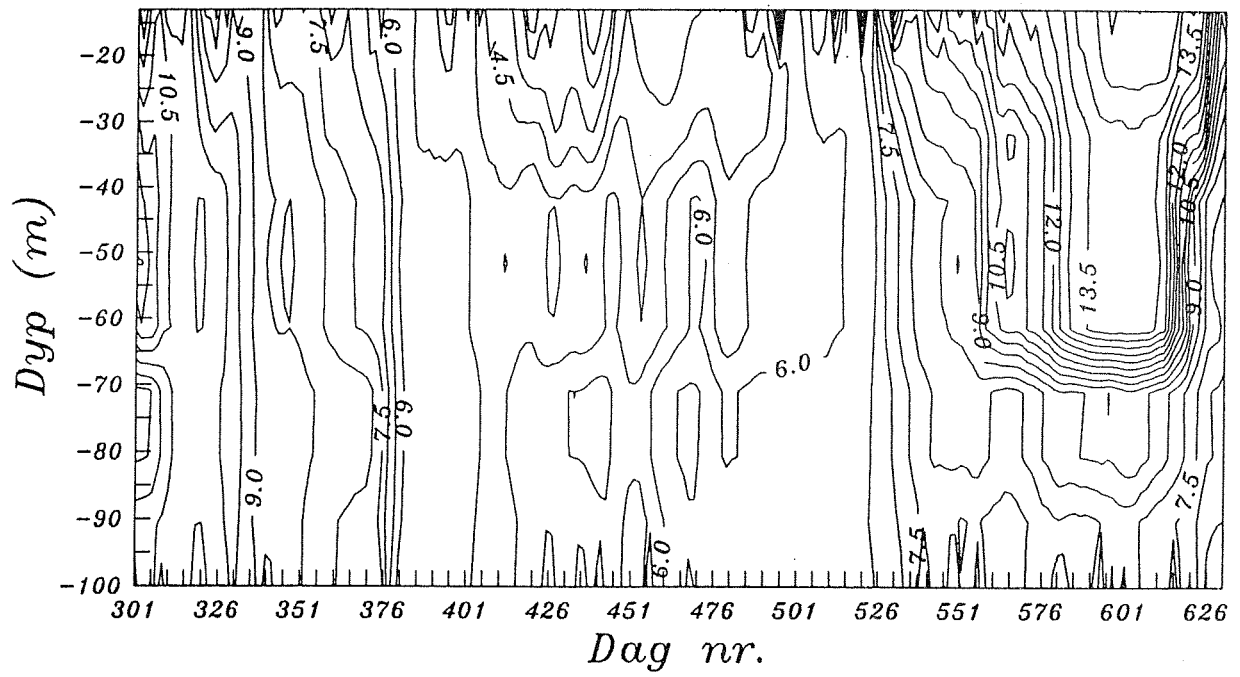
Ved å studere variabilitet i saltholdighet fra stasjon og strømmåler fra nær samme posisjon under ett (Tabell B.2.3) får vi dekket variasjonen på hele spekteret av tidsskalaer fra timer til år. Vi har beregnet varianser fra både stasjon 205 og 201 i tillegg til strømmåleren for å kunne ta eventuelle geografiske forskjeller med i betraktningene. Varianser for saltholdighet fra strømmåleren er beregnet både fra tidsmidlele verdier og verdier trukket ut fra observasjonsserien på ulike frekvenser, altså serier med grovere tidsoppløsning enn den opprinnelige.

De to seriene som ligger nærmest hverandre mhp. tidsoppløsning er hele serien fra stasjonene og månedlige verdier fra strømmåleren. Hovedinntrykket er at variabiliteten i månedsmidler fra den høyfrekvente strømmålerserien er vesentlig lavere enn totalvariasjonen i stasjonsserien selv om førstnevnte har høyere oppløsning i tid. En naturlig forklaring til dette kunne være at vi sammenligner en observasjonsserie (stasjoner) med midler (fra strømmåler). Men også variansene beregnet fra samlede enkeltverdier fra strømmåleren er lavere enn fra stasjonsseriene.

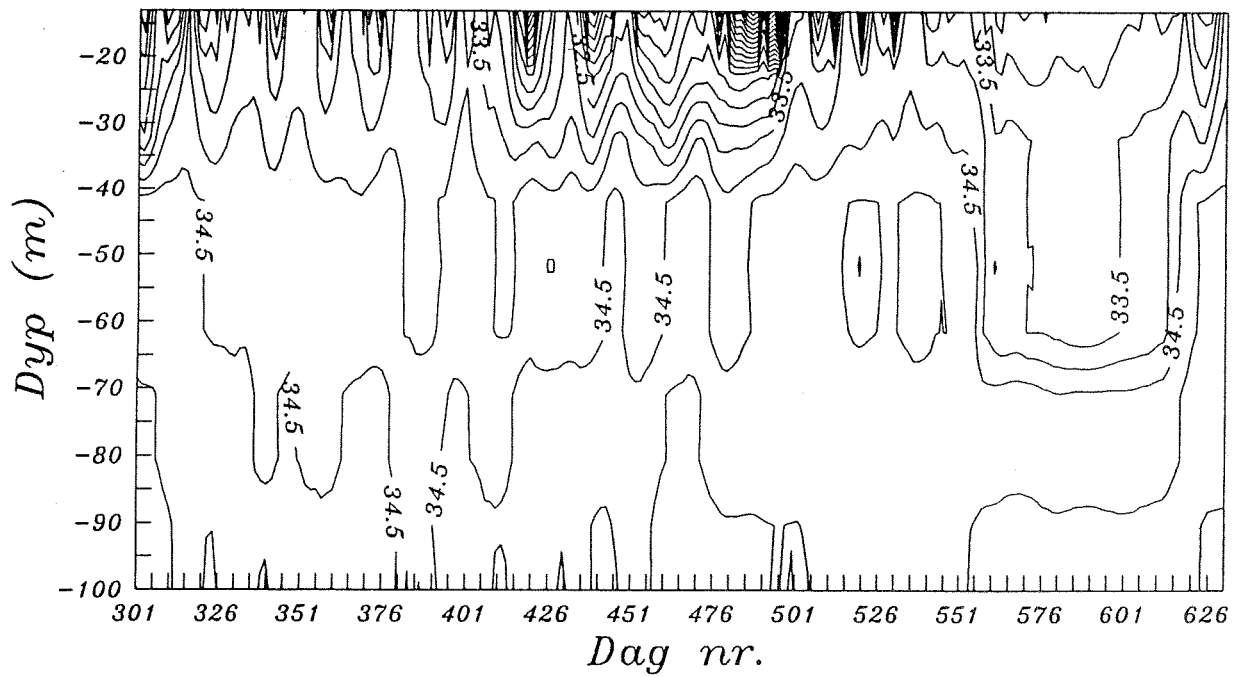
Dette kan ha sin naturlige forklaring i at stasjonsseriene fanger opp langtidsvariasjon som ikke de kortere strømmålerseriene kan. Selv om variansen i timesmidlene fra strømmåleren er av samme størrelsesorden eller større enn den vi finner i 3 måneders midlene fra stasjon 205 betyr



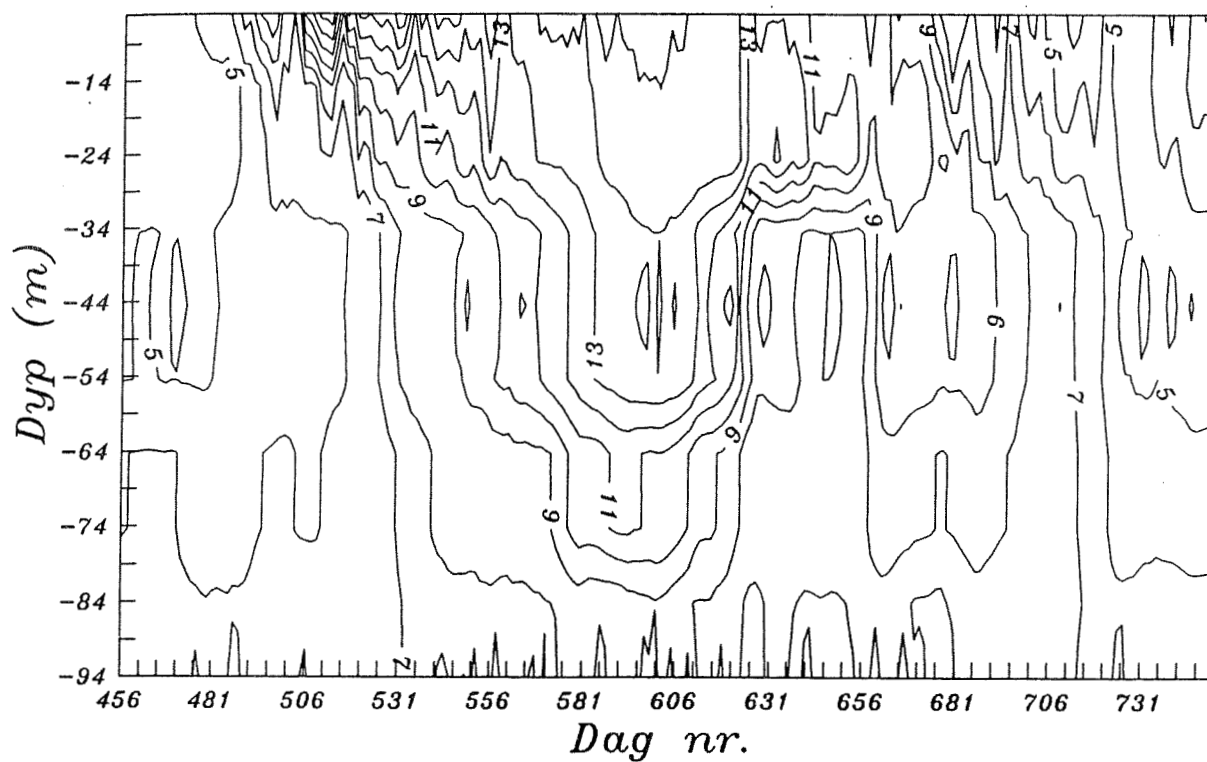
Figur B.2.17. Fordeling med dypet av varians i saltholdighet (øverst) og tetthet prosentvis fordelt på ulike perioder. Data fra strømmåler plassert utenfor Torungen (nær stasjon 205). Variansen i den opprinnelige serie er satt til 100%. Figuren viser hvor mye av totalvariansen som kan forklares fra tidsmidlete serier, serier med grovere oppløsning i tid.



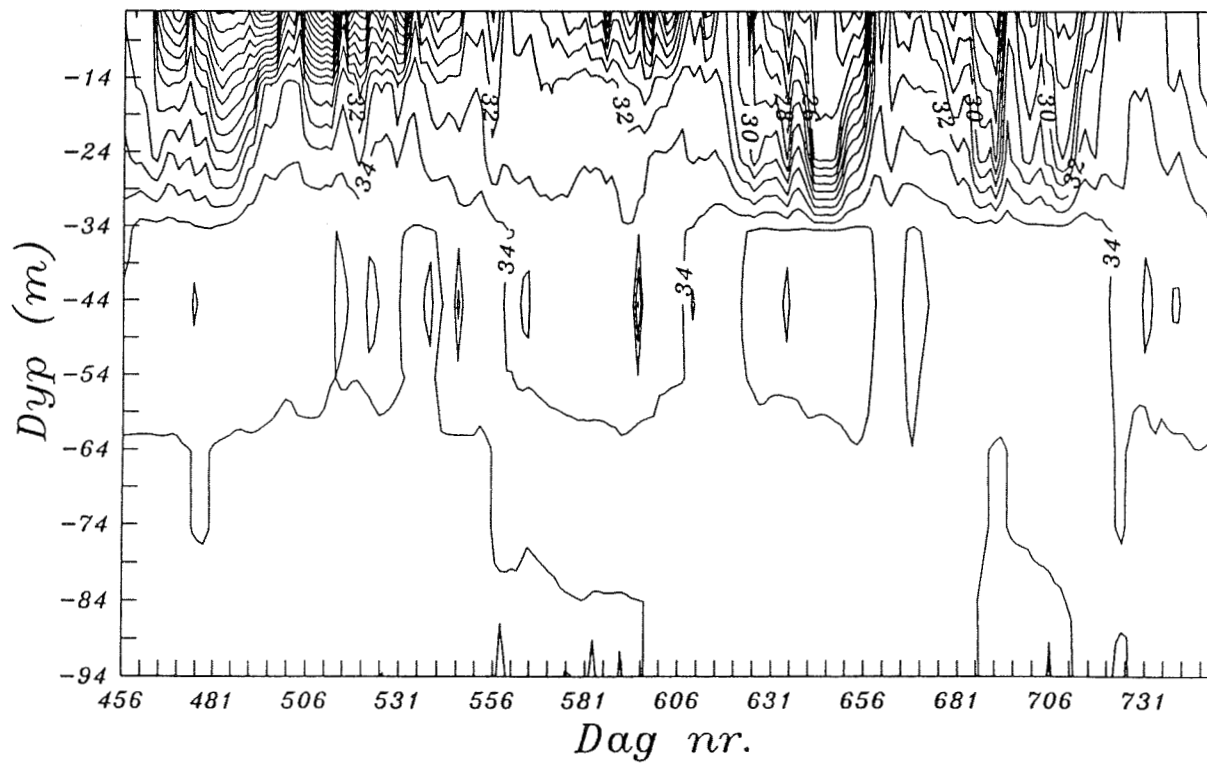
Figur B.2.18. Isoplet diagram for temperatur ved Torungen (fra Stigebrandt et al., 1995).



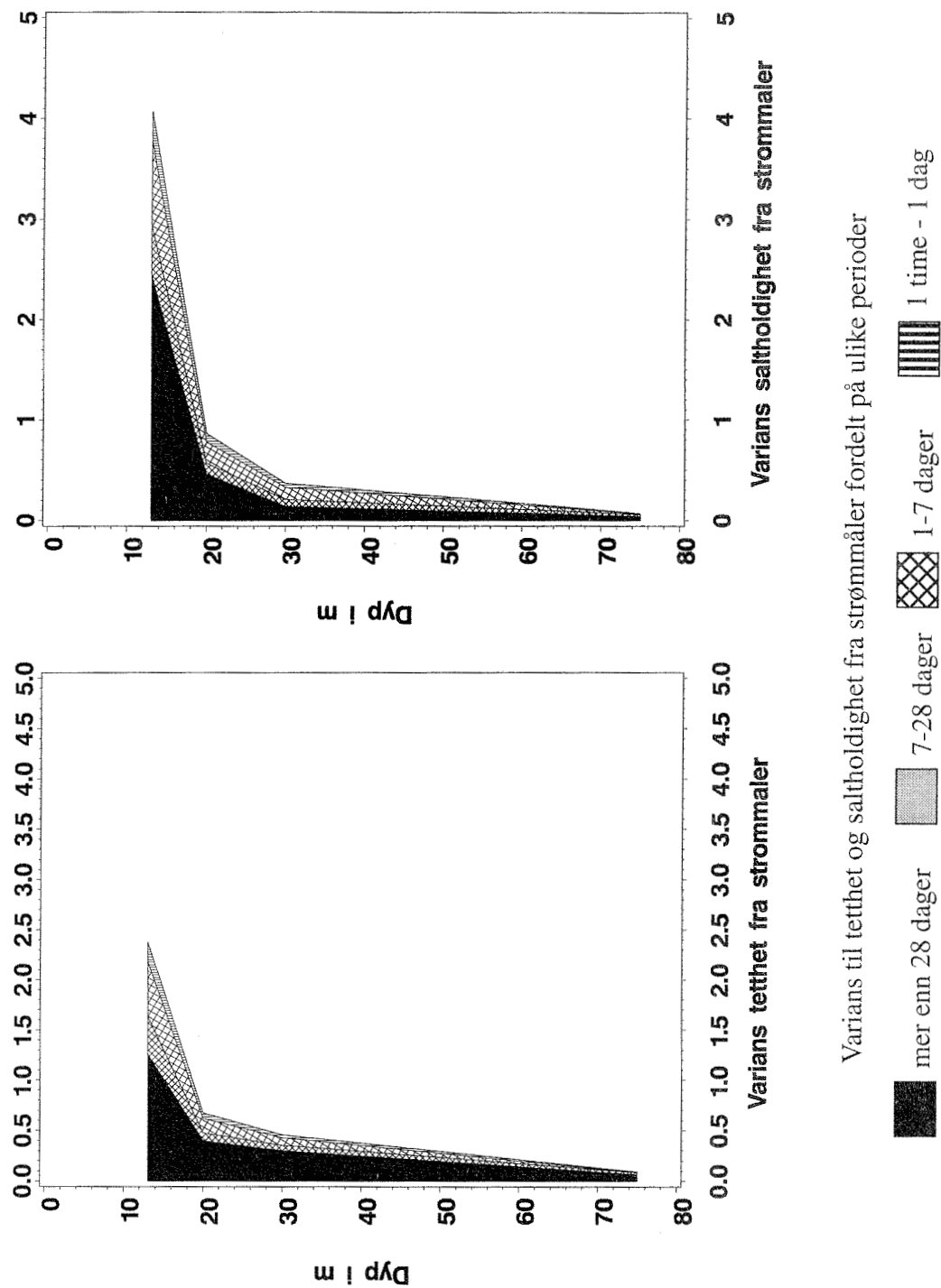
Figur B.2.19. Isoplet diagram for saltholdighed ved Torungen (fra Stigebrandt et al., 1995).



Figur B.2.20. Isopleth diagram for temperatur ved Jomfruland (fra Stigebrandt et al., 1995).



Figur B.2.21. Isopleth diagram for saltholdighet ved Jomfruland (fra Stigebrandt et al., 1995).



Figur B.2.22. Fordeling med dypet av variansen til tetthet og saltholdighet på ulike perioder ved strømmåler plassert utenfor Arendal (nær stasjon 205 på snittet Torungen-Hirtshals). Måleperiode 27/10-92 til 22/9-93.

ikke dette at en kort og intensiv overvåkningsperiode kan erstatte langtidsserier. Variansen som forklares er på helt ulike tidsskalaer. Variansen i tetthet fra stasjon 205 og middelværdier fra strømmåleren bekrefter inntrykket fra saltholdighet at variabiliteten i langtidsserien fra stasjon 205 er vesentlig høyere.

Varians splittet opp i ulike perioder, som tidligere vist i en rekke figurer, er samlet i Tabell B.2.5 (saltholdighet) og Tabell B.2.6 (tetthet) for stasjon 205 og strømmåleren. For sammenfallende dyp 20, 30 og 75m er variansen størst i perioder i 3-12 måneders intervallet etterfulgt av perioder på under 3 måneder og, fra strømmåleren, perioder fra 28 døgn og oppover. Dette kan sammenfattes til at sesongvariasjonen dominerer, mens variasjon mellom år og på tidsskalaer under en måned er av noe mindre betydning.

Tabell B.2.3. Varians for saltholdighet ved ulike dyp ned til 100m på data fra 1952-1996 fra stasjonene 201 og 205 utenfor Torungen og fra strømmåler utplassert i posisjon mellom de to stasjoner 27/10-1992 til 22/9-1993. Variansene for stasjonene er beregnet basert på henholdsvis årsmidler (År), sesongmidler (3 mnd, Ses.) og alle måleverdier (Alle). Varianser fra strømmåleren er beregnet både basert på midler over en måned (28 dager, Mnd), en ukes, et døgn og en time, samt enkeltmålinger trukket ut fra observasjonsserien med disse tidsintervallene.

Dyp	Stasjon 201			Stasjon 205			Strømmåler (middelværdier)				Strømmåler (enkeltverdier)			
	År	Ses.	Alle	År	Ses.	Alle	Mnd	Uke	Døgn	Time	Mnd	Uke	Døgn	Time
0	2.54	8.75	14.08	1.59	7.56	11.49								
10	1.17	4.01	7.16	0.71	2.99	5.15								
13							2.43	2.92	3.76	4.08	1.24	1.26	1.58	1.67
20	0.33	1.34	2.34	0.19	0.74	1.49	0.46	0.56	0.77	0.86	0.58	0.71	0.70	0.75
30	0.15	0.47	0.74	0.07	0.29	0.64	0.14	0.20	0.32	0.37	0.21	0.27	0.40	0.39
50	0.05	0.17	0.29	0.03	0.14	0.21								
75	0.03	0.12	0.19	0.01	0.06	0.11	0.04	0.06	0.06	0.07	0.13	0.06	0.07	0.07
100				0.01	0.04	0.08								

Tabell B.2.4. Varians for tetthet ved ulike dyp ned til 100m på data fra 1952-1996 fra stasjon 205 utenfor Torungen, fra kystovervåknings data fra samme stasjon (10 obs.) og stasjon 201 (20 obs.) 1992-93 og fra strømmåler utplassert i posisjon mellom de to stasjonene 27/10-1992 til 22/9-1993. Variansene er beregnet basert på henholdsvis årsmidler, sesongmidler (3 mnd) og hele serien fra stasjon 205 samt måneds (28 dager), ukes, døgn og -timesmidler fra strømmåleren.

Dyp	St. 201 (2)	Stasjon 205 (Arendal St. 3)			Strømmåler				
	1992/93	År	Sesong	Hele serien	1992/93	Måned	Uke	Døgn	Time
0	8.76	1.04	6.20	8.76	9.42				
5	7.95				8.24				
10	6.60	0.41	2.34	3.80	6.45				
13						1.25	1.64	2.16	2.37
20	1.10	0.16	0.86	1.37	0.77	0.40	0.48	0.61	0.67
30	1.04	0.07	0.52	0.77	0.64	0.30	0.35	0.44	0.46
50	0.62	0.03	0.23	0.33	0.31				
75	0.16	0.02	0.12	0.18	0.05	0.06	0.08	0.08	0.09
100		0.01	0.06	0.10	0.04				

Tabell B.2.5. Varians for saltholdighet fordelt på ulike frekvensintervaller ved ulike dyp på data fra 1952-1996 fra stasjon 205 utenfor Torungen og fra strømmåler utplassert i nær samme posisjon 27/10-1992 til 22/9-1993. Variansene er beregnet som differanser basert på henholdsvis årsmidler, sesongmidler (3 mnd) og hele serien fra stasjon 205 samt måneds (28 dager), ukes, døgn og -timesmidler fra strømmåleren.

Dyp	Stasjon 205			Strømmåler			
	> 12 mnd	3-12 mnd	< 3 mnd	> 28 dager	7-28d	1-7d	1-24timer
0	1.59	5.97	3.93				
10	0.71	2.28	2.16				
13				2.43	0.59	0.84	0.32
20	0.19	0.55	0.75	0.46	0.10	0.21	0.09
30	0.07	0.22	0.35	0.14	0.05	0.09	0.02
50	0.03	0.11	0.07				
75	0.01	0.05	0.05	0.04	0.02	0	0.01
100	0.01	0.03	0.04				

Tabell B.2.6. Varians i tetthet fordelt på ulike frekvensintervaller ved ulike dyp på data fra 1952-1996 fra stasjon 205 utenfor Torungen og fra strømmåler utplassert i nær samme posisjon 27/10-1992 til 22/9-1993. Variansene er beregnet som differanser basert på henholdsvis årsmidler, sesongmidler (3 mnd) og hele serien fra stasjon 205 samt måneds (28 dager), ukes, døgn og -timesmidler fra strømmåleren.

Dyp	Stasjon 205			Strømmåler			
	> 12 mnd	3-12 mnd	< 3 mnd	> 28 dager	7-28d	1-7d	1-24timer
0	1.04	5.16	2.56				
10	0.41	1.93	1.46				
13				1.25	0.39	0.52	0.21
20	0.16	0.70	0.51	0.40	0.08	0.13	0.06
30	0.07	0.45	0.25	0.30	0.05	0.09	0.02
50	0.03	0.20	0.10				
75	0.02	0.10	0.06	0.06	0.02	0	0.01
100	0.01	0.05	0.04				

Endringsforløp og tid

Vi vil til slutt i dette kapitlet vise noen eksempler på endringsforløp for et utvalg oseanografiske parametre. Utvalget er valgt med henblikk på å vise noen fenomener, slik som oppvelling og oppblomstring av alger samt for å illustrere hvor raskt en parameter kan endres.

Algeproduksjon

Figur B.2.23 viser målinger av strømhastighet, strømrretning, svekningskoeffisienter som målt med Optisense, oksygenmetning, sjøtemperatur og saltholdighet ved Torbjørnshjær i mai 1993. Av figuren får vi et godt overblikk over tilstanden i vannmassene denne måneden. Vi ser at rundt den 26. mai og 30. mai har vi en samtidig forandring i svekningskoeffisientene og oksygenmetningen. Dette tyder på en oppblomstring av alger, som senere ble verifisert til å være en oppblomstring av kiselalger. Samtidig ser vi også at strømrretninger før og delvis under oppblomstringene er fra nord, som indikerer at algeforekomstene tilføres fra Oslofjorden.

Tilførsel av elvevann

Figur B.2.24 viser målinger av strømhastighet, strømrretning, svekningskoeffisienter, oksygenmetning, sjøtemperatur og saltholdighet ved Torbjørnshjær i oktober 1994. I figuren ser vi en økning i svekningskoeffisientene uten at dette gir seg utslag i oksygenmetningen på samme måte som i Figur B.2.23. Derimot ser vi en klar sammenheng mellom svekningskoeffisientene og saltholdigheten. Strømrretningen i denne perioden er fra nord. Tilsammen indikerer disse målingene tilførsel av elvevann i overflatelaget. Dette stemmer bra, da det ble observert svært stor vannføring i Glomma i denne perioden.

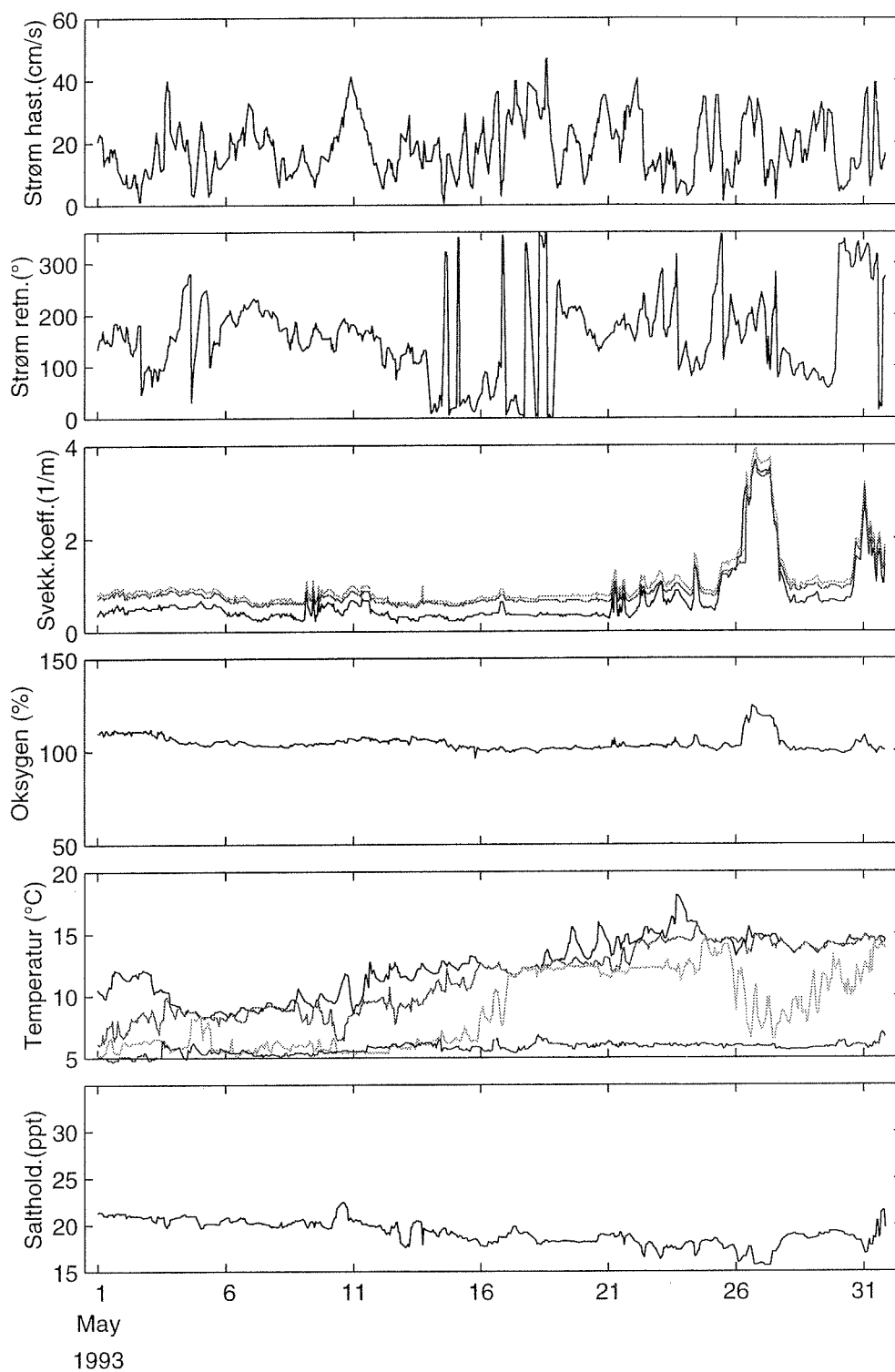
Oppvelling

I temperaturdataene fra bøyene i SEAWATCH Europa ser vi en rekke tilfeller av oppvelling ved kysten, d.v.s. at vann strømmer fra dypet opp til overflaten og erstatter det opprinnelige kystvannet. Fenomenet er spesielt utbredt ved Lista og i noe mindre grad ved Torungen og Sotra. I dette området ligger det relativt varme kystvannet over kaldere og saltere Nordsjøvann og Skagerrakvann, som om våren og sommeren har en temperatur mellom 6 og 7°C. Kyststrømmen danner vanligvis en kile av lettere brakkvann som flyter langs kysten ut av Skagerrak og nordover langs Vestlandskysten. Denne strømmen er relativt kald om vinteren og varm om sommeren, men kyststrømmvannet er alltid lettere enn Nordsjø- og Skagerrak-vannet p.g.a. forskjellen i saltholdighet. Derfor vil oppvelling av dypvann vinterstid føre til en økning i overflatetemperaturen.

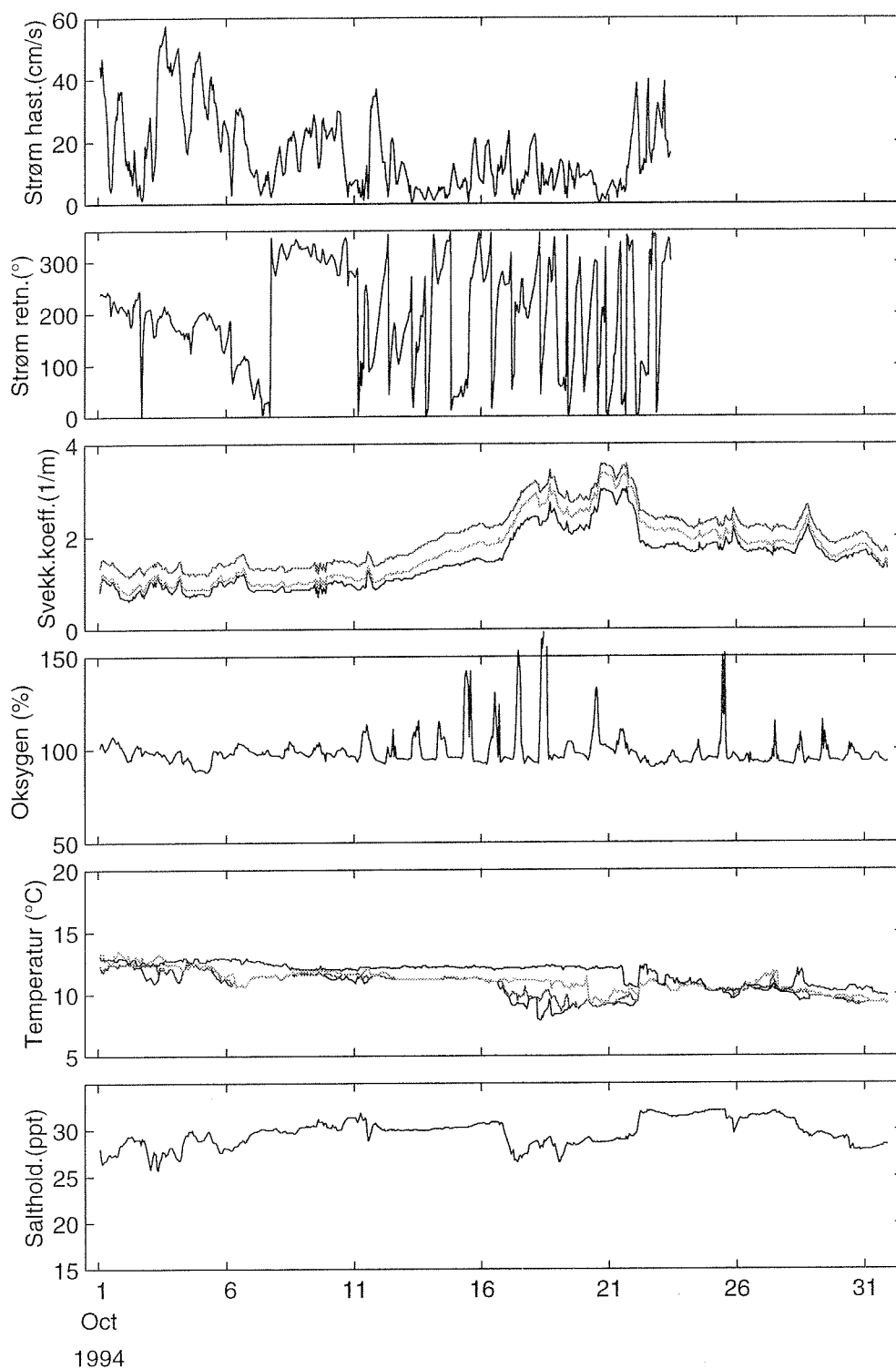
Drivkraften for oppvellingen er vinden som blåser enten langs kysten med kysten til venstre, eller ut fra kysten. Dette forårsaker en vinddrevet Ekman-transport av brakkvannet bort fra kysten. Dypvannet flyter da opp og erstatter brakkvannet. Området langs kysten som er berørt av oppvellingen er bestemt av den interne Rossby-radius. For den Norske Kyststrømmen er denne 10-15 km. En skisse av en oppvellingssituasjon er vist i Tangen og Lønseth (1996).

Oppvelling av dypvann er en viktig kilde for næringssalter (NO₃, PO₄, SiO₂) til det eufotiske (produktive) lag i kystvannmassene og åpent hav. Om sommeren er primærproduksjonen normalt næringssalt-begrenset (N, P) langs norskekysten. Blant andre viktige kilder for ny produksjon (økt biomasse) i dette området er avrenning fra land og tilførsler fra atmosfæren. Menneskeskapte tilførsler av næringssalter til Skagerrak og Nordsjøen har lenge vist en økende tendens.

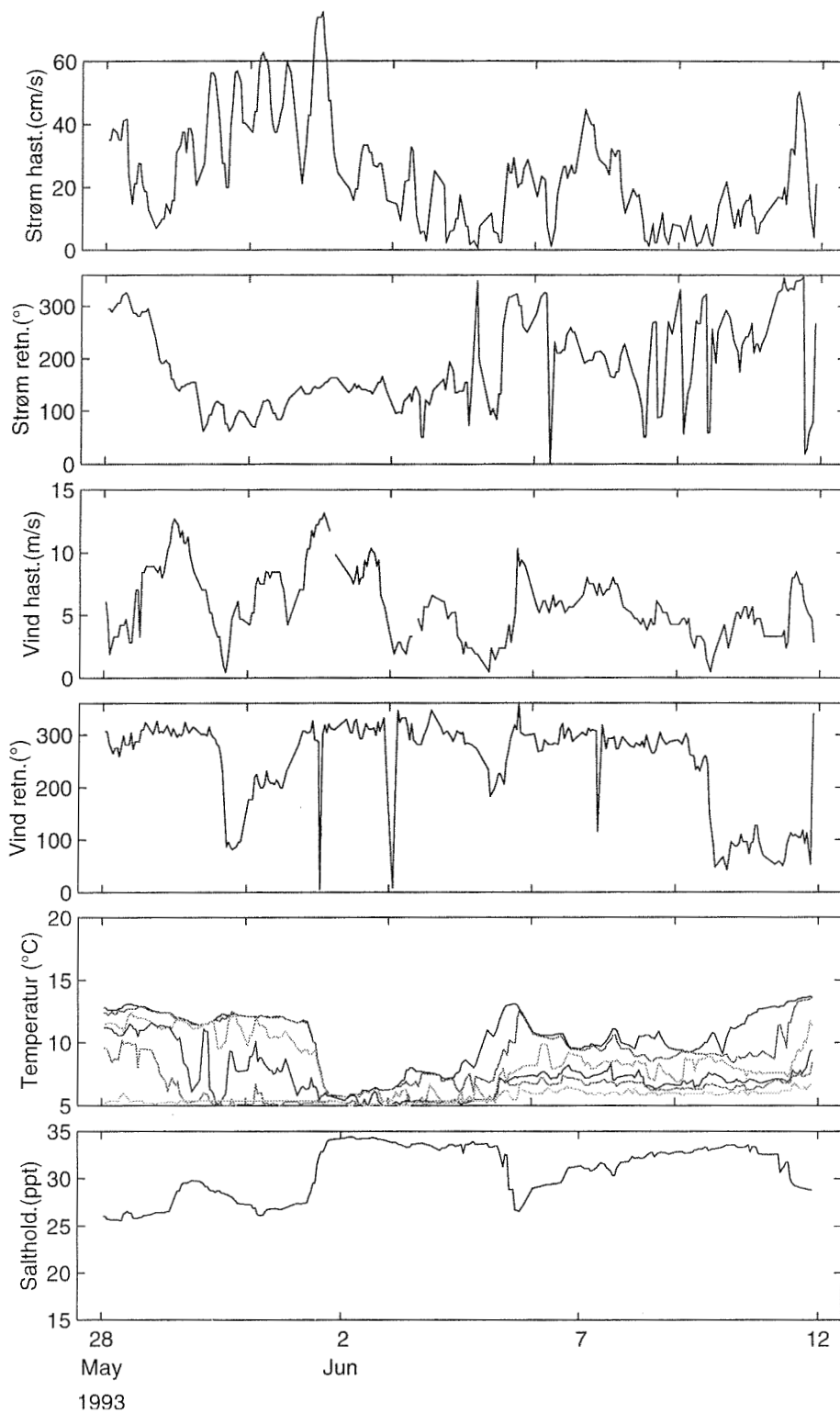
Oppvelling inntraff ved Lista 1. juni med strøm mot øst og sørøst. Overflatetemperaturen falt fra 12 til 6°C, mens saltholdigheten økte fra 27 til 34‰. Figur B.2.25 viser målinger av strømhastighet, strømrretning, vindhastighet, vindretning, sjøtemperatur og saltholdighet ved Lista 28 mai til 12 juni 1993. Oppvellingsperioden varte til 10. juni, bare avbrutt av hendelsen 5. juni da vinden dreide sørlig og strømrretningen dreide mellom vest og nord. Temperaturmålingene viser at verdien i overflaten falt til det samme som i 20 m i løpet av en halv dag. Dette gir en oppstrømningshastighet på 40 m/dag eller 0.5 mm/s i begynnelsen av oppstrømningen. I denne pe



Figur B.2.23. Timesverdier av strømhastighet, strømretning, lyssvekningskoeffisienter (rødt, grønt og blått lys), oksygenmetning, vanntemperatur (0.5, 5, 15 og 30 m) og saltholdighet ved Torbjørnskjær i mai 1993. Illustrasjon av algeoppblomstring.



Figur B.2.24. Timesverdier av strømhastighet, strømretning, lyssvekningskoeffisienter (rødt, grønt og blått lys), oksygenmetning, vanntemperatur (0.5, 5, 15 og 30 m) og saltholdighet ved Torbjørnskjær oktober 1994. Illustrasjon av tilførsel av ellevann/partikulært materiale fra Glomma.



Figur B.2.25. Timesverdier av strømhastighet, strømretning, vindhastighet, vindretning, vanntemperatur (0.5, 5, 10, 15, 20 og 30 m) og saltholdighet ved Lista 28 mai til 11 juni 1993. Illustrasjon av oppvelling.

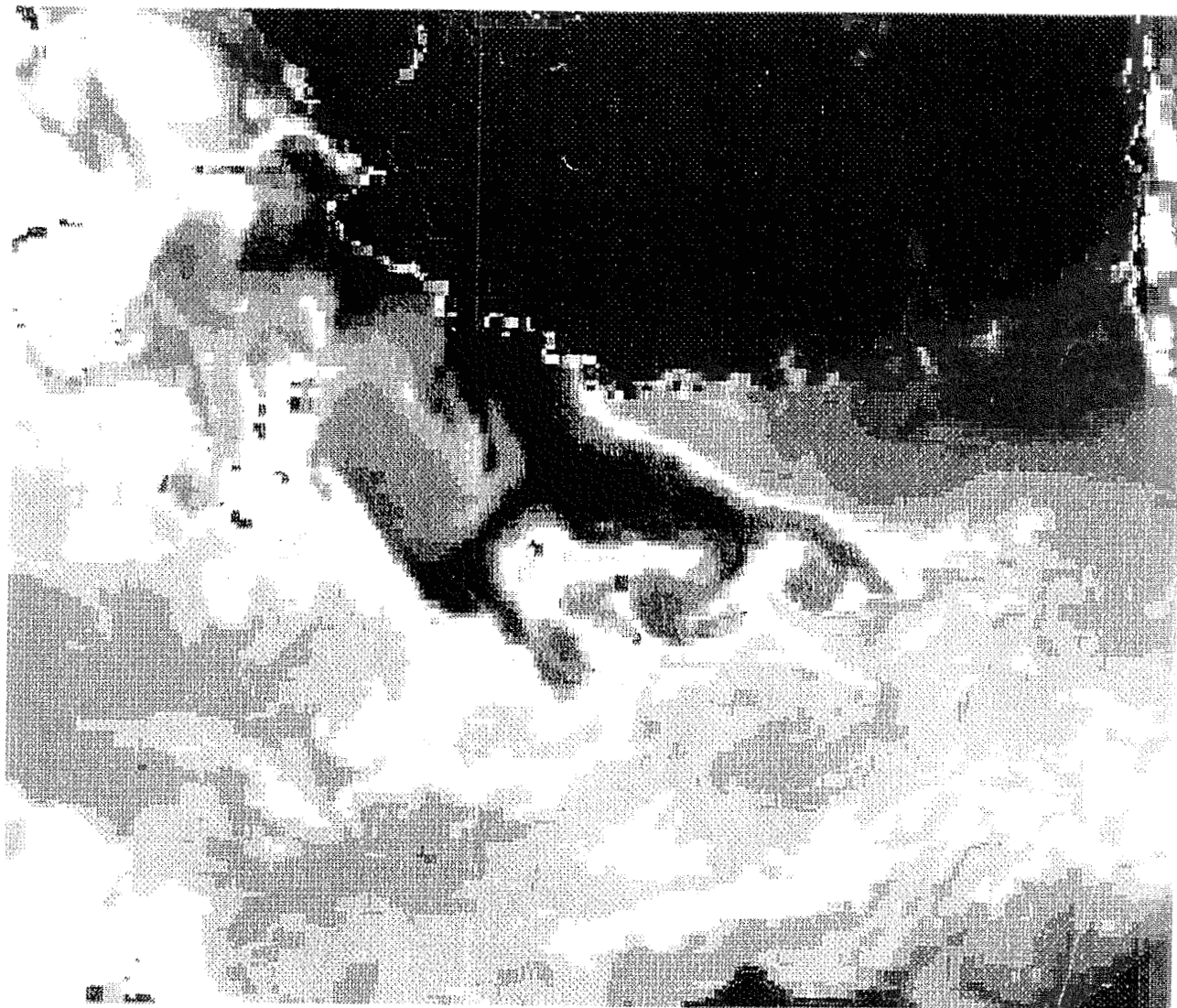
rioden var det en sørgående strøm på 75 cm/s. I resten av oppvellingsperioden var strømhastigheten omtrent 15 cm/s, og siden oppvellingen kompenseres av fralandskastigheten, er midlere oppstrømningshastighet beregnet til 8 m/dag.

Figur B.2.26 illustrerer situasjonen i slutten av oppvellingsperioden. Oppvellingen opptrer i området fra Mandal til Lista. Bredden av oppvellingen er omtrent 15 km, som er det samme som den interne Rossby-radien. Flak av vann lenger ut fra kysten og også sørvest for oppvellingsområdet er transportert ut fra kysten. Ut fra bildet anslår vi oppvellingsområdet til ca. 1000 km². Med en varighet på 8 dager og med den beregnede vertikalkastigheten er den totale mengden av dypvann som transporteres til overflaten, 60 km³. Antar vi at tykkelsen av brakkvannslaget utenfor kysten er 20 m, så er det totale området som påvirkes av oppvellingen 3000 km², dvs. 50 km fra kysten med en oppvellingssone langs kysten på 60 km. Dette bekreftes også av satellittbildet som indikerer at kanten av det kalde vannet ligger 50-60 km fra kysten.

Om sommeren er vannmassene lagdelt med et næringsfattig eufotisk øvre lag og et næringsrikt dypvann. Næringsstoffs-konsentrasjonene i dypvannet på denne tiden på året er 2-10 µmol NO₃/l og 0.4 - 0.6 µmol PO₄/l. 60 km³ dypvann som transporteres til overflaten, vil bringe med seg mellom 1600 og 8400 tonn NO₃-N og mellom 780 og 1200 tonn PO₄-P. Sammenlignet med de totale norske tilførselene pr. år av næringsstoffer til Skagerrak (1990-tall) tilsvarer denne oppvellingssituasjonen f.eks. et bidrag av N på 5% til 30%.

Ortofosfat

Figur B.2.27 viser målinger av ortofosfat, strømhastighet, strømrretning, sjøtemperatur og saltinnholdighet ved Torbjørnskjær 19 juli til 31 august 1993. I panelet for ortofosfat er SFTs klassifisering av tilstand indikert med farger. I løpet av denne perioden ser vi at alle parametrene viser stor variasjon. I to tilfeller, med strømrretning fra nord har vi topper hvor ortofosfatnivået når opp til hhv. 0.5 og 0.6.



Figur B.2.26. Satelittbilde av Skagerrak mellom Sørnorge og Danmark, 10/6-1993 kl. 14 GMT. Rødt: varmt kystvann, blått: kaldt oppstrømmet vann.

B.3. Romlig og tidsmessig variabilitet i hydrografi, strøm og næringssalter fra modellsimuleringer.

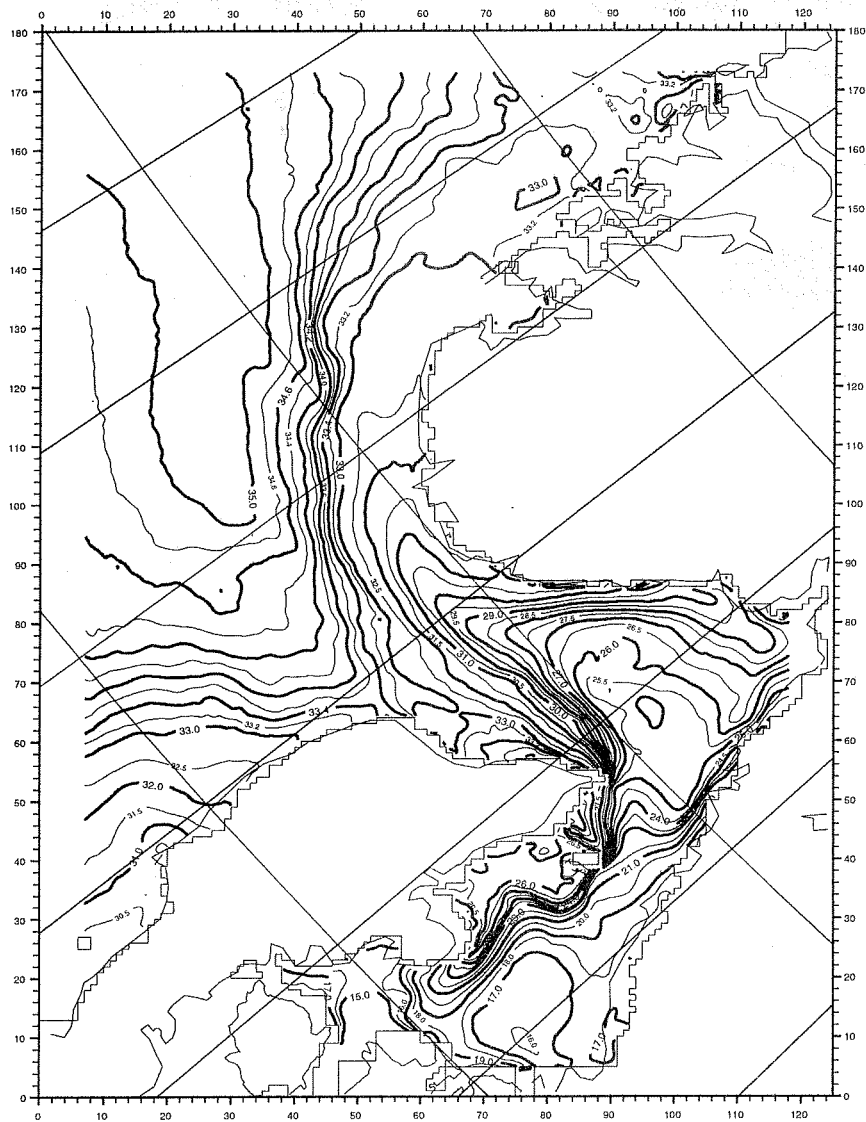
Den fullstendige NORWECOM modellen ble kjørt for 1993, og i Figur B.3.0 er middelsaltholdigheten i 5m i mai vist. Figuren viser at det er sterke gradienter og saltholdigheten varierer fra under 15 PSU til over 35 PSU. Det er også tydelig hvordan kyststrømmen transporterer vann med lav saltholdighet fra Kattegat langs norskekysten.

På to "stasjoner" på Torungen-Hirtshals snittet har vi beregnet varians for modelldataene på samme måte som for de hydrografiske data fra snitt og strømmåler. For modelldataene har vi beregnet variansen fordelt på de tre periodeintervallene, 1-7døgn, 7-28 døgn og mer enn 28 døgn. I Figur B.3.1 vises fordeling med dypet av varians i saltholdighet og tetthetsverdier prosentvis fordelt på ulike perioder ved 2 "stasjoner" i modellen nær posisjonene til stasjon 220 og 205 / strømmåleren. Selve variansen i saltholdighet fra modellen og bøyedataene er sammenlignet i Figur B.3.2. Både i modell og bøyedata avtar variansen med dypet, men den totale variansen nær overflaten er større i observasjonene enn i modellen og den avtar også raskere med dypet. Det er spesielt den lavfrekvente delen av variansen som ser ut til å være underestimert nær overflaten i modellen, mens for den høyfrekvente variabiliteten er overensstemmelsen bedre. Av modelldata fra "stasjon 220" (Figur B.3.3) ser vi at variansen i overflaten er større og mer lik bøyedataene. På "stasjon 220" er mer enn 50% av variansen i overflaten på lengre tidsskala enn 28 dager (Figur B.3.1), og det er den for bøyedataene også (Figur B.2.17). Dette illustrerer et problem som en ofte støter på når observasjoner og modelldata sammenliknes, at det er små romlige avvik mellom modell og observasjon pga. unøyaktigheter i bunnmatrisen. I dette tilfellet er stasjon 205 er bare 8 km fra kysten, det vil si 2 ganger gridpunkt avstanden i modellen. Tar vi dette med i vurderingene er variabiliteten i modellen i god overensstemmelse med observasjonene. I modellen avtar variansen raskt med dypet. I 30 m er variansen redusert til 1/3-1/4 av hva den var i 5 m og ved 150 m er den ubetydelig sammenliknet med 5m (Figur B.3.4). Økningen i varians i det dype Skagerrak skyldes at modellen i løpet av et år har økt saltholdighet i dypet. Dette er urealistisk, men har ikke innflytelse på modelldataene fra de øvre vannmasser som vi bruker i resten av denne rapporten.

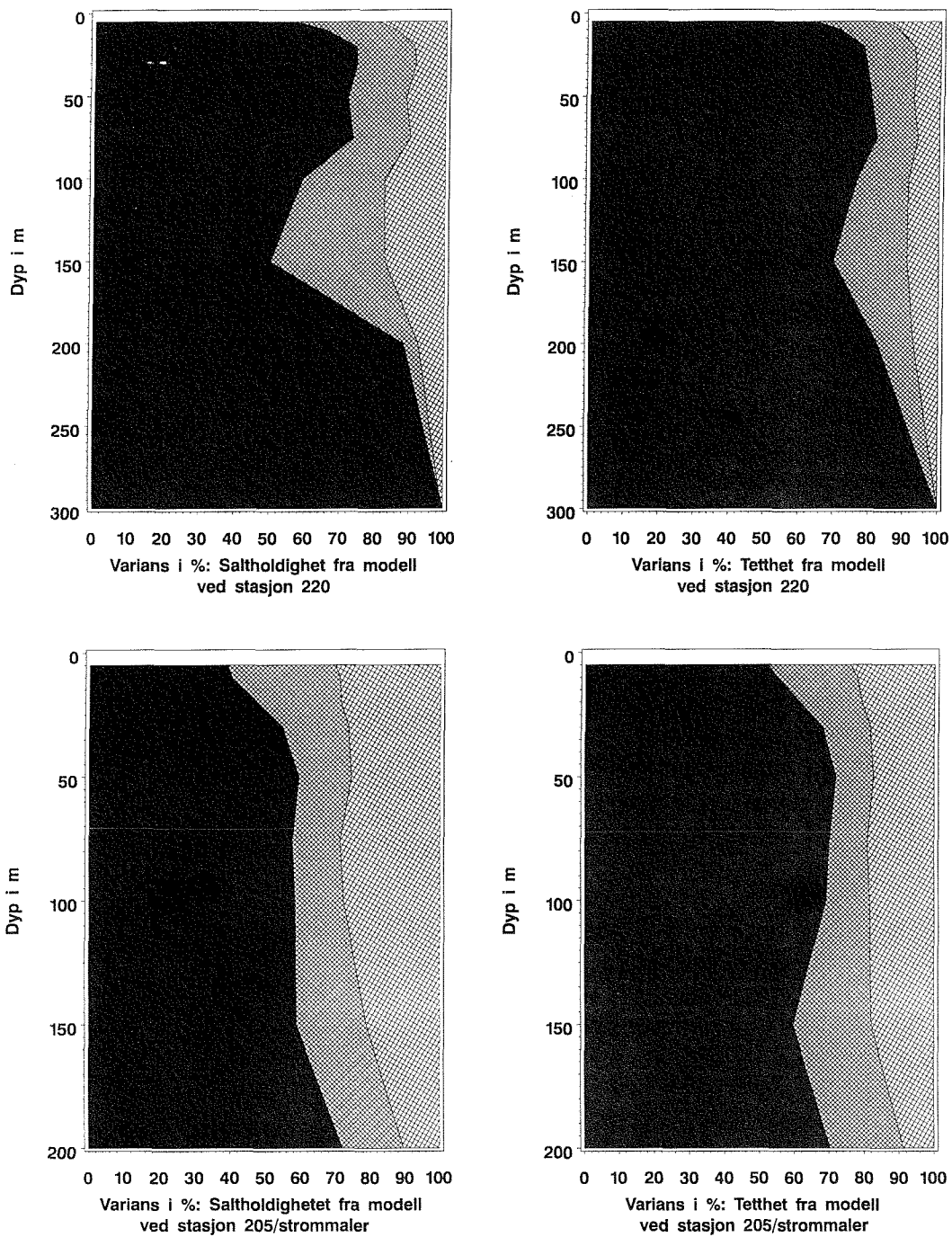
For å se nærmere på variabiliteten og tidsskalaene som karakteriserer denne i Skagerrak, har vi valgt å studere modelldata fra 5 snitt. Tre av snittene krysser Skagerrak fra norskekysten til danskekysten: Jomfruland-Skagen (JoSk), Torungen-Hirtshals (ToHi) og Oksøy-Hanstholm (OkHa). De to siste snittene strekker seg fra norskekysten og ut i Nordsjøen, ett snitt ved den vestlige grensen av Skagerrak, Lindesnes SSW, og ett utenfor Skagerrak, Egerøy SW (Figur B.3.5). I første omgang ser vi på de statistiske egenskaper ved de fysiske variablene saltholdighet og hastighet. Næringssaltene vil i tillegg til de fysiske prosessene naturligvis i stor grad være påvirket av biologiske prosesser, men i det dynamisk aktive Skagerrak antas det at de fysiske prosessene har vesentlig innflytelse på de statistiske egenskaper ved næringssaltene.

Det lokale standardavvik for saltholdighet i 5m er plottet som funksjon av avstand fra norskekysten i Figur B.3.6. For de tre vestligste snittene ser en at et hovedtrekk er at variabiliteten er størst ved kysten og avtar med økenede avstand. Videre ser vi at ved kysten er variabiliteten størst ved Oksøy og avtar vestover. Standardavvikene er større på de to andre snittene, og på ToHi er standardavviket størst ca 60 km fra norskekysten, mens på JoSk snittet er det størst ca 30km fra Skagen. På begge snittene avtar variabiliteten igjen mot danskekysten. Den store variabiliteten 30km fra Skagen på JoSk skyldes at det er en frontal sone hvor Østersjøvann og Nordsjøvann eller Tyskebukt vann støter sammen, Skagerrak fronten. Sammenligner standard-

YEAR=93 MONTH= 5 DAY=31 HOUR= 0 MINUTE= 0



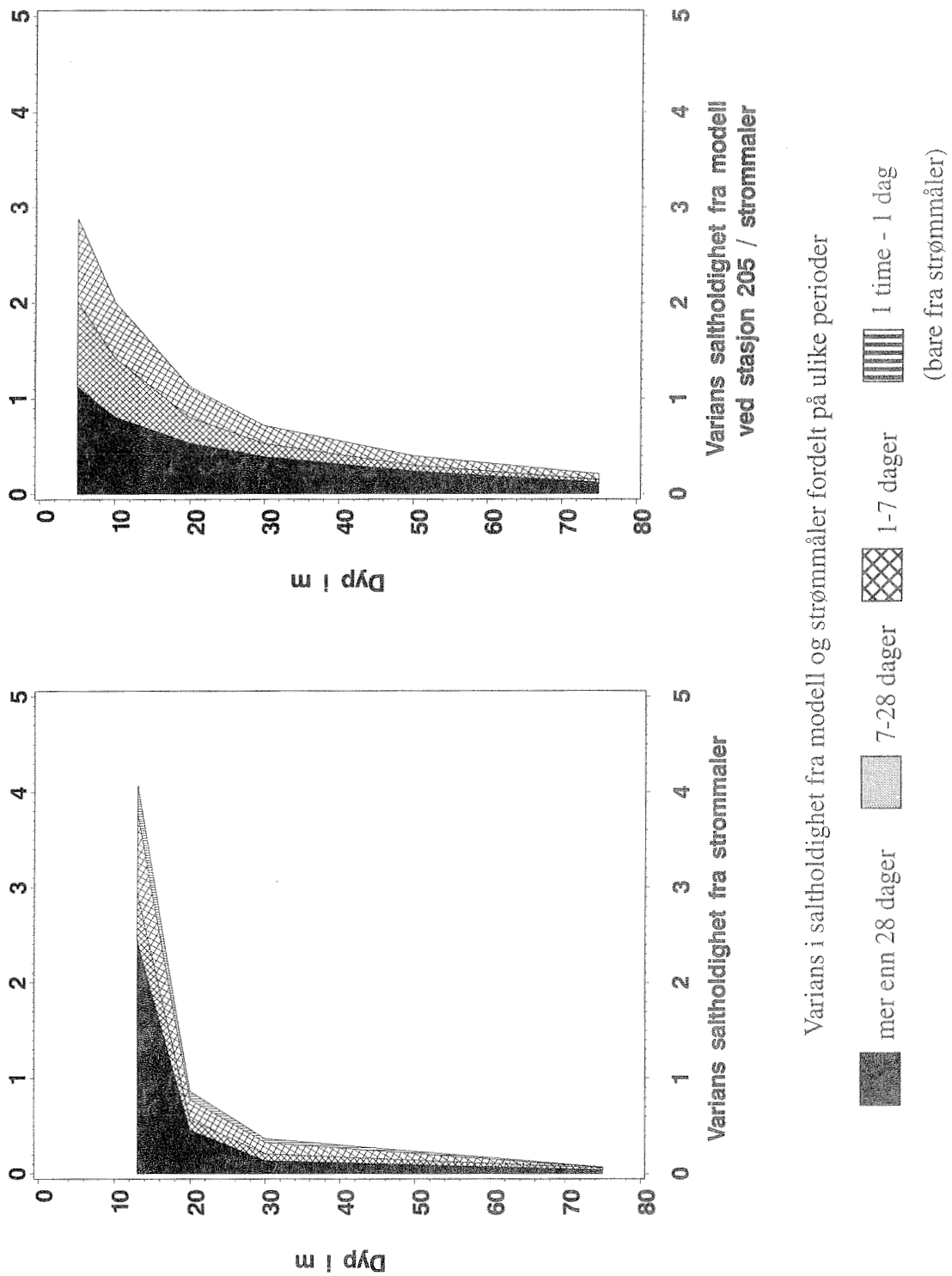
Figur B.3.0. Middelsaltholdigheten i 5 meter i mai 1993 fra NORWECOM. Figuren viser at det er sterke gradienter og at saltholdigheten varierer fra under 15 PSU til over 35 PSU. Det er også tydelig hvordan kyststrømmen transporterer vann med lav saltholdighet fra Kattégat langs norskekysten.



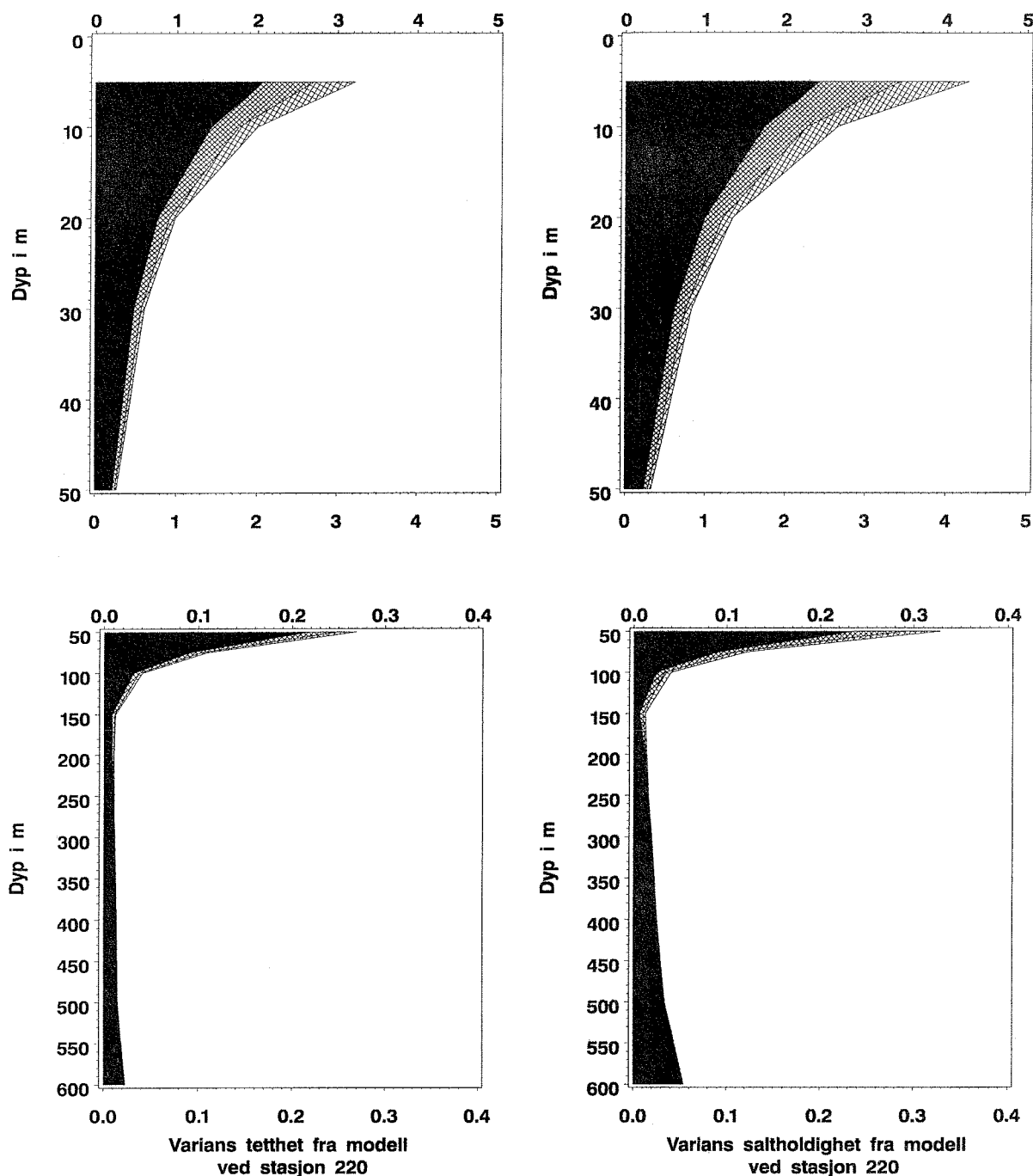
Varians i modellverdier prosentvis fordelt på ulike perioder

mer enn 28 dager
 7-28 dager
 mindre enn 7 dager

Figur B.3.1. Fordeling med dypet av varians i saltholdighet og tetthetsverdier fra numerisk modell prosentvis fordelt på ulike perioder ved 2 posisjoner på snittet Torungen-Hirtshals. Verdier for 1993 fra nær stasjon 220 (øverst) og stasjon 205. Variansen i den opprinnelige serie er satt til 100%. Figuren viser hvor mye av totalvariansen som kan forklares fra tidsmidler av serier med grovere oppløsning i tid.



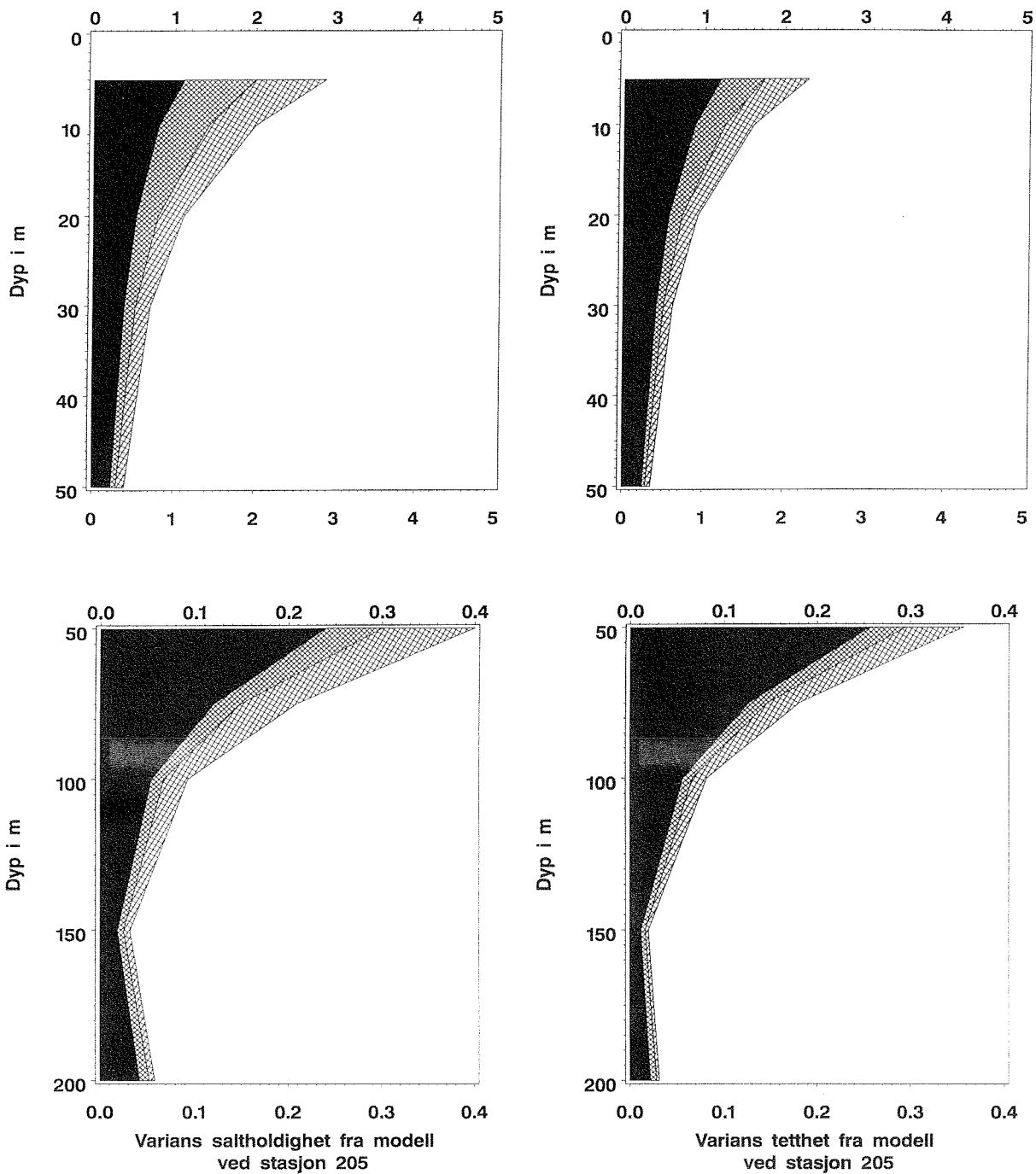
Figur B.3.2. Sammenligning av variansen i saltholdighet på ulike perioder fra strømmåler plassert utenfor Arendal (nær stasjon 205 på snittet Torungen-Hirtshals) og fra numerisk modell.



Varians til modellert saltholdighet og tetthet fordelt på ulike perioder

mer enn 28 dager
 7-28 dager
 mindre enn 7 dager

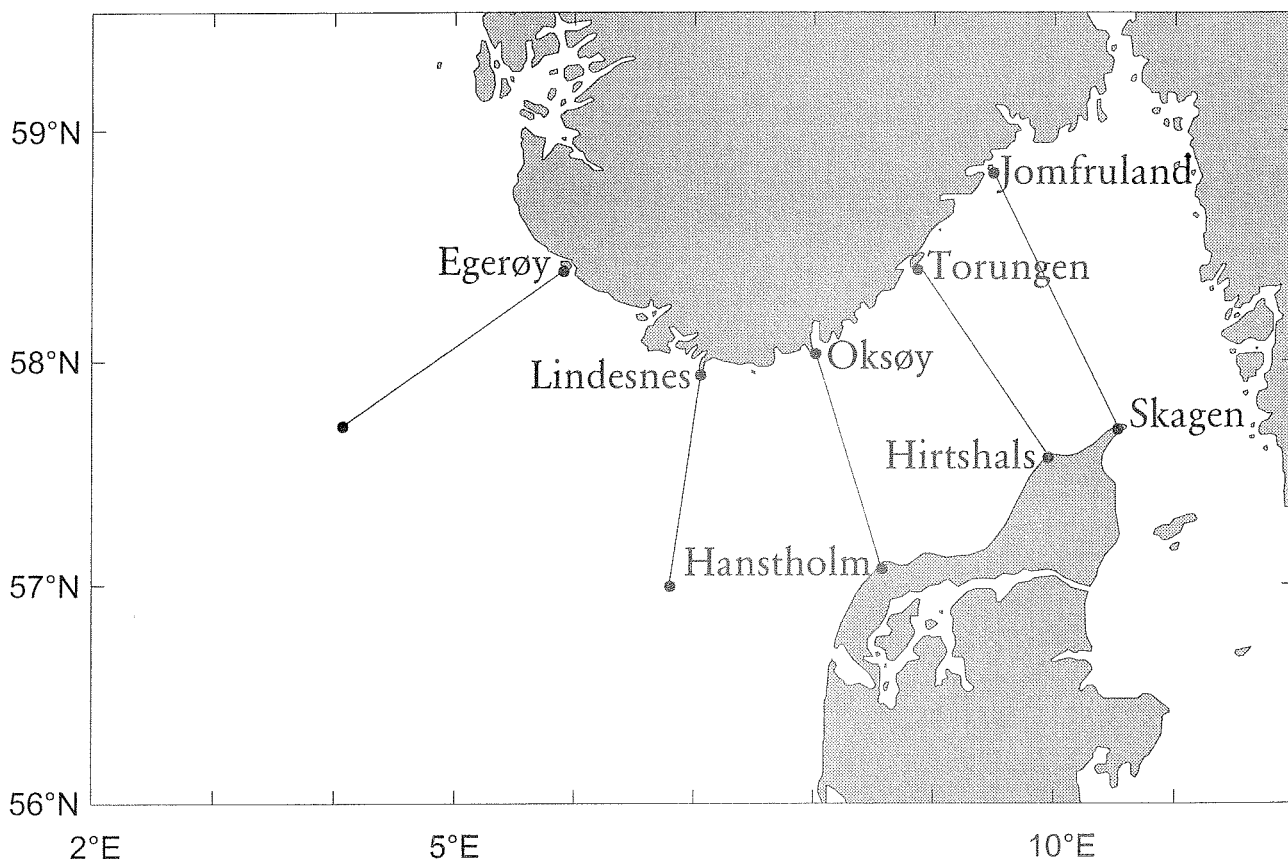
Figur B.3.3. Fordeling med dypet av variansen til tetthet og saltholdighet fordelt på ulike perioder. Verdier for 1993 fra numerisk modell fra posisjon midt i Skagerrak (nær stasjon 220 på snittet Torungen-Hirtshals). Pga. stor forskjell på verdier med dyp er intervallene 0-50 m og 50m- plottet separat med ulike horisontalskalaer. Ulike dybdeskalaer benyttes pga. stor forskjell i bunndyp mellom stasjonene.



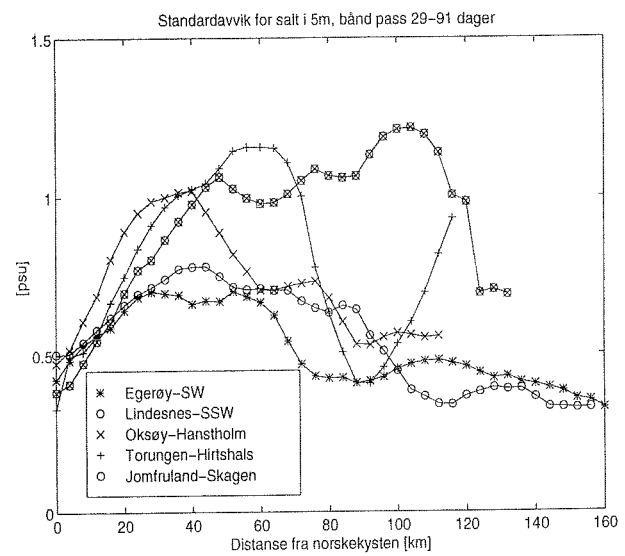
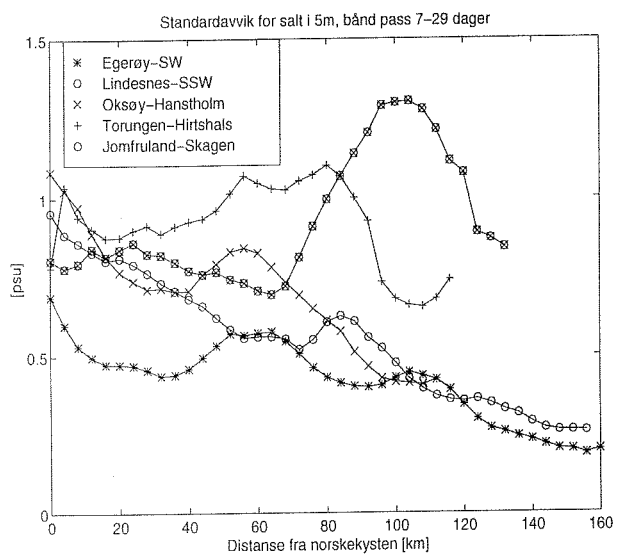
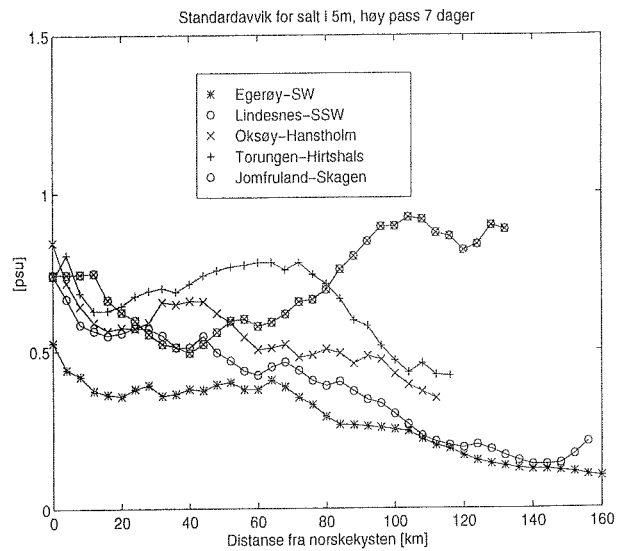
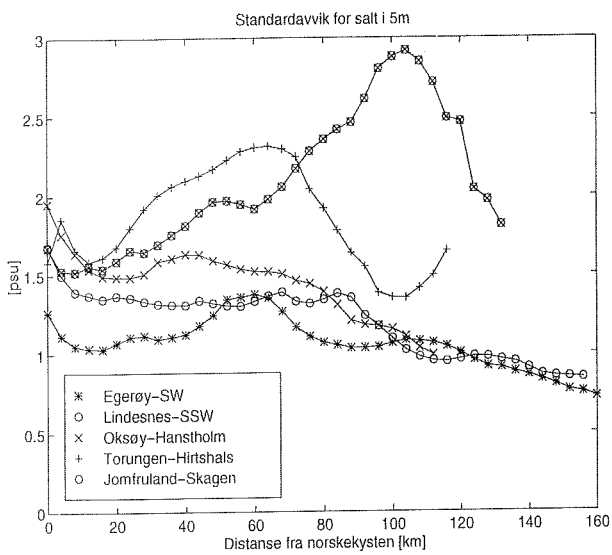
Varians til modellert saltholdighet og tetthet fordelt på ulike perioder

mer enn 28 dager
 7-28 dager
 mindre enn 7 dager

Figur B.3.4. Fordeling med dypet av variansen til tetthet og saltholdighet fordelt på ulike perioder. Verdier for 1993 fra numerisk modell fra posisjon nær stasjon 205 på snittet Torungen-Hirtshals. Pga. stor forskjell på verdier med dyp er intervallene 0-50 m og 50m- plottet separat med ulike horisontalskalaer. Ulike dybdeskalaer benyttes pga. stor forskjell i bunn-dyp mellom stasjonene.



Figur B.3.5. Beliggenhet av snitt der modellert saltholdighet og hastighet er tatt ut. Fra øst mot vest: Jomfruland-Skagen, Torungen-Hirtshals, Oksøy-Hanstholm, Lindesnes SSW og Egerøy SW.



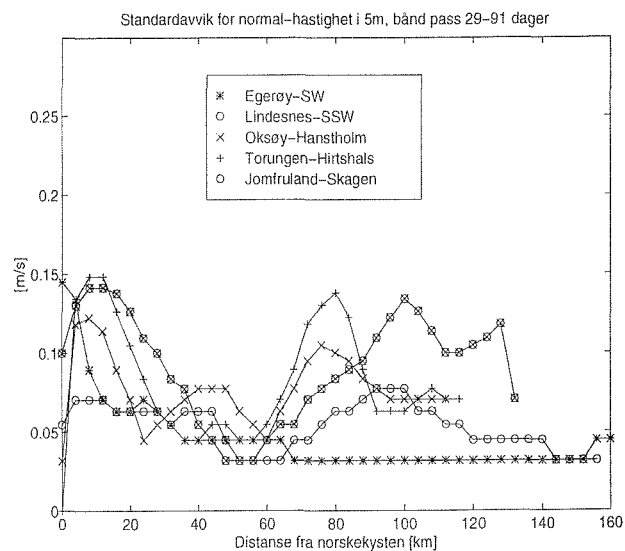
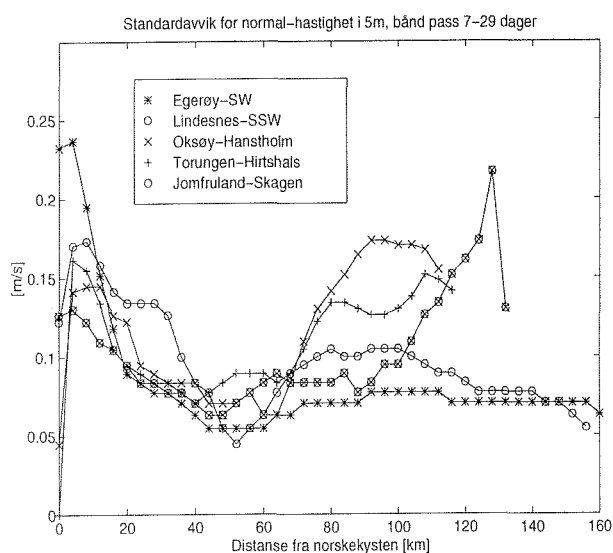
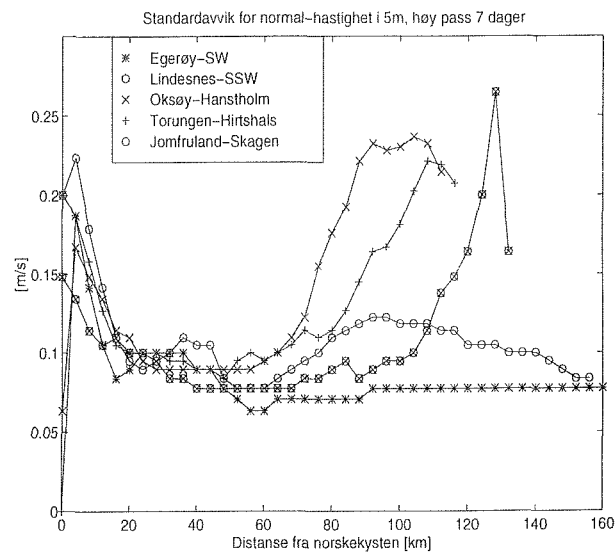
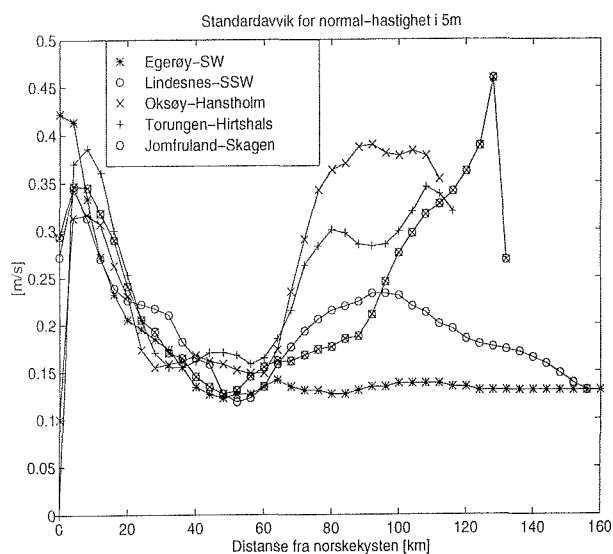
Figur B.3.6. Standardavvik for modellert saltholdighet i 5m som funksjon av distanse fra norskekysten for de 5 snittene: Egerøy-SW, Lindesnes-SSW, Oksøy-Hanstholm, Torungen-Hirtshals og Jomfruland-Skagen. Standardavviket er vist for rådata og 3 filtrerte tidsrekker, høypass 7 dager, båndpass 7-29 dager og båndpass 29-91 dager. Merk at skalaen er forskjellig for rådataene og de filtrerte dataene.

avvikene til rådataene med de til de høypassfiltrerte (hp7) og båndpassfiltrerte (bp 7-29 dager) dataene ser vi at verdien tilhørende de filtrerte seriene er mindre, men at strukturen er i hovedsak den samme, spesielt i bp 7-29 dager. For de lengste periodene derimot finner vi lav variabilitet langs norskekysten som for de tre vestligste snittene øker til et maksimum ca 40 km fra kysten, mens maksima for de to andre snittene er omtrent i samme posisjon som i rådataene. Ser vi på verdiene i standardavvikene er det generelle bildet at verdiene er omtrent det samme for de to tidsseriene med lengst perioder, mens den er betydelig mindre for den kortperiodiske variabiliteten. Videre avtar variabiliteten når en beveger seg fra JoSk snittet til Egerøy snittet.

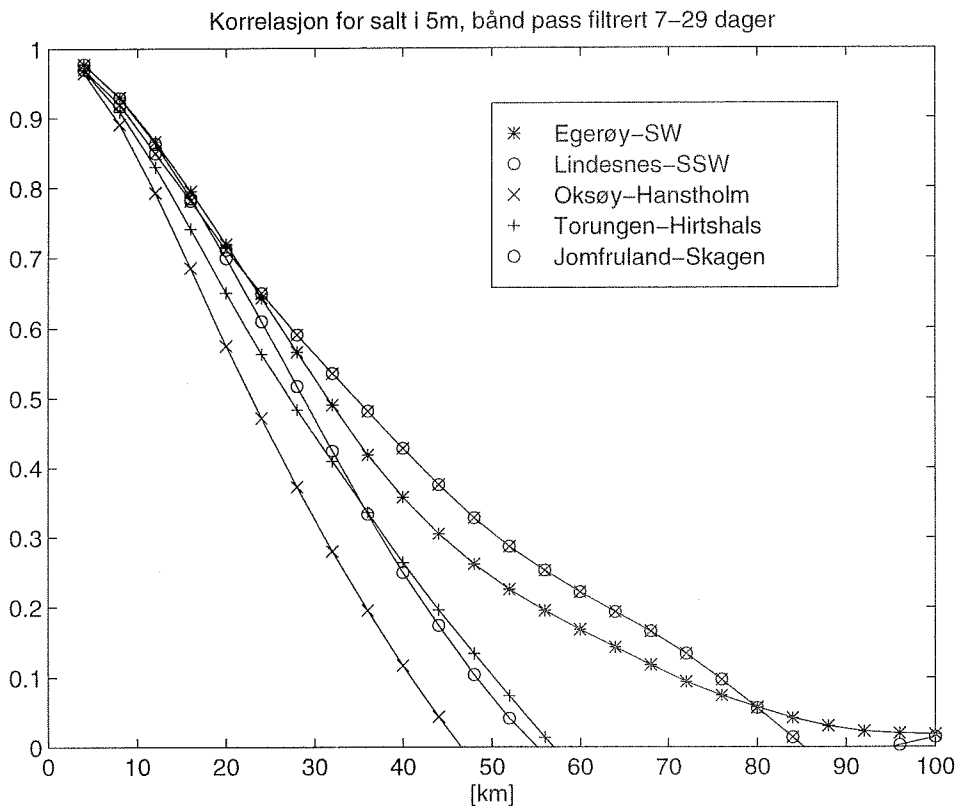
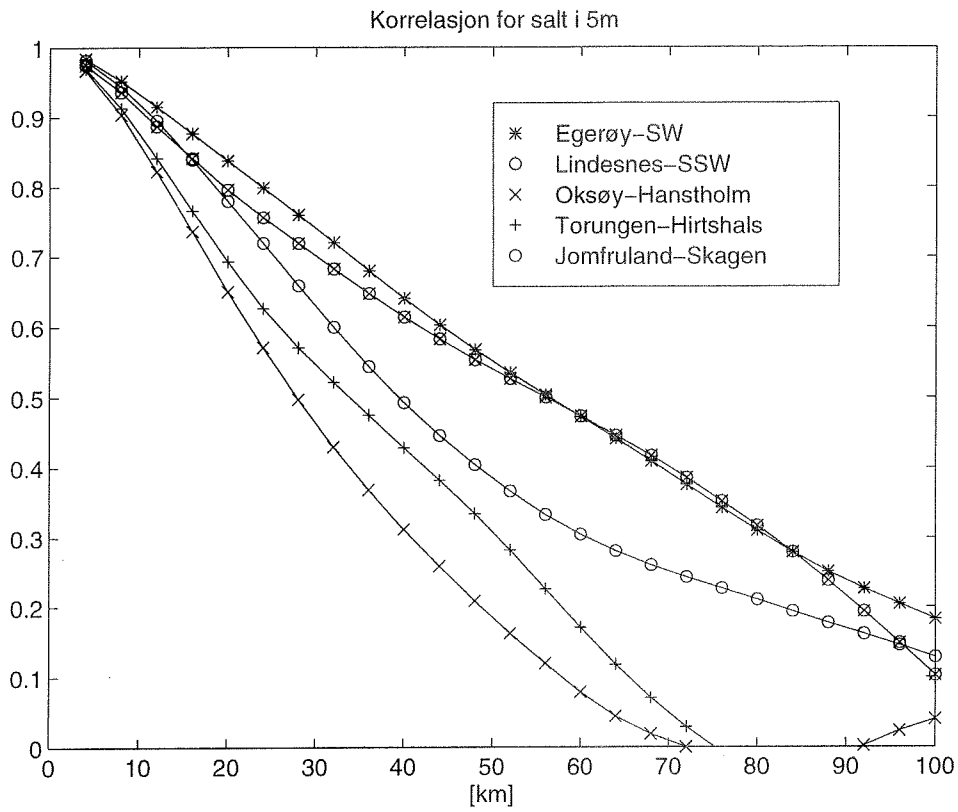
Samme type beregning av standardavvik er foretatt for normalhastigheten i snittene (Figur B.3.7). De fire vestligste snittene krysser stort sett normalt på Norskerenna, mens JoSk snittet er tildels parallell til bunntopografien. I alle snittene er der stor variabilitet i de 20km nærmest norskekysten og de har alle minimumsverdier 40-60km fra kysten. Variabiliteten i Egerøy snittet holder seg lav når en beveger seg ut i Nordsjøen, mens det på Lindesnes snittet er et lokalt maksimum 80-100km fra kysten som faller sammen med innstrømming av nordsjøvann. OkHa og ToHi snittene har omtrent like store standardavvik i Jyllandstrømmen på dansk side som de har i den Norske kyststrømmen. Variabiliteten i JoSk snittet har også de største verdiene ved danskekysten, men pga topografien er en betydelig del av strømhastigheten langsetter snittet og vi får vi ikke et helt korrekt bilde av variabiliteten og bredden av strømmen. Verdiene av standardavvikene gir at den kortperiodiske variabiliteten (1-7 dager) er større enn den langperiodiske (7-29 dager). Dette er motsatt av det som var tilfelle for saltholdighet. Dette er spesielt tydelig på den danske siden av Skagerrak.

I Figur B.3.8 er korrelasjon for salt i 5 m plottet som funksjon av avstand. Vi ser at korrelasjonen faller raskest på OkHa snittet, og seinest på Egerøy snittet. På OkHa snittet faller korrelasjonen til 0.7 i en avstand av noe under 20km (dekorrelasjonsskala), mens på Egerøy er avstanden noe over 30km. Det kan også bemerkes at på to av snittene, ToHi og OkHa, som krysser Skagerrak, faller korrelasjonen raskere enn på de to som strekker seg ut i Nordsjøen, Egerøy og Lindesnes. Vi ser videre at for de båndpass (7-29 dager) filtrerte tidsseriene er rekkefølgen på snittene mhp dekorrelasjon den samme som for rådataene, men her går dekorrelasjonsskalaen fra 15 km til 20 km. Figur B.3.9 viser at dekorrelasjonsskalaen er minst for den høyfrekvente og øker til maksimumsverdi for den mest lavfrekvente variabiliteten. Korrelasjonsskalaen for rådataene faller typisk mellom de to båndpass filtrerte seriene. På Egerøy snittet er dekorrelasjonsskalaen på den høyfrekvente delen ca 10 km og bortimot 40 km for den lavfrekvente. På ToHi snittet derimot er det mye mindre differanse mellom største (~20 km) og minste (~10 km) dekorrelasjonsskala, og for avstander mindre enn ca 30km faller tre av kurvene sammen, det er bare den høyfrekvente som skiller seg ut.

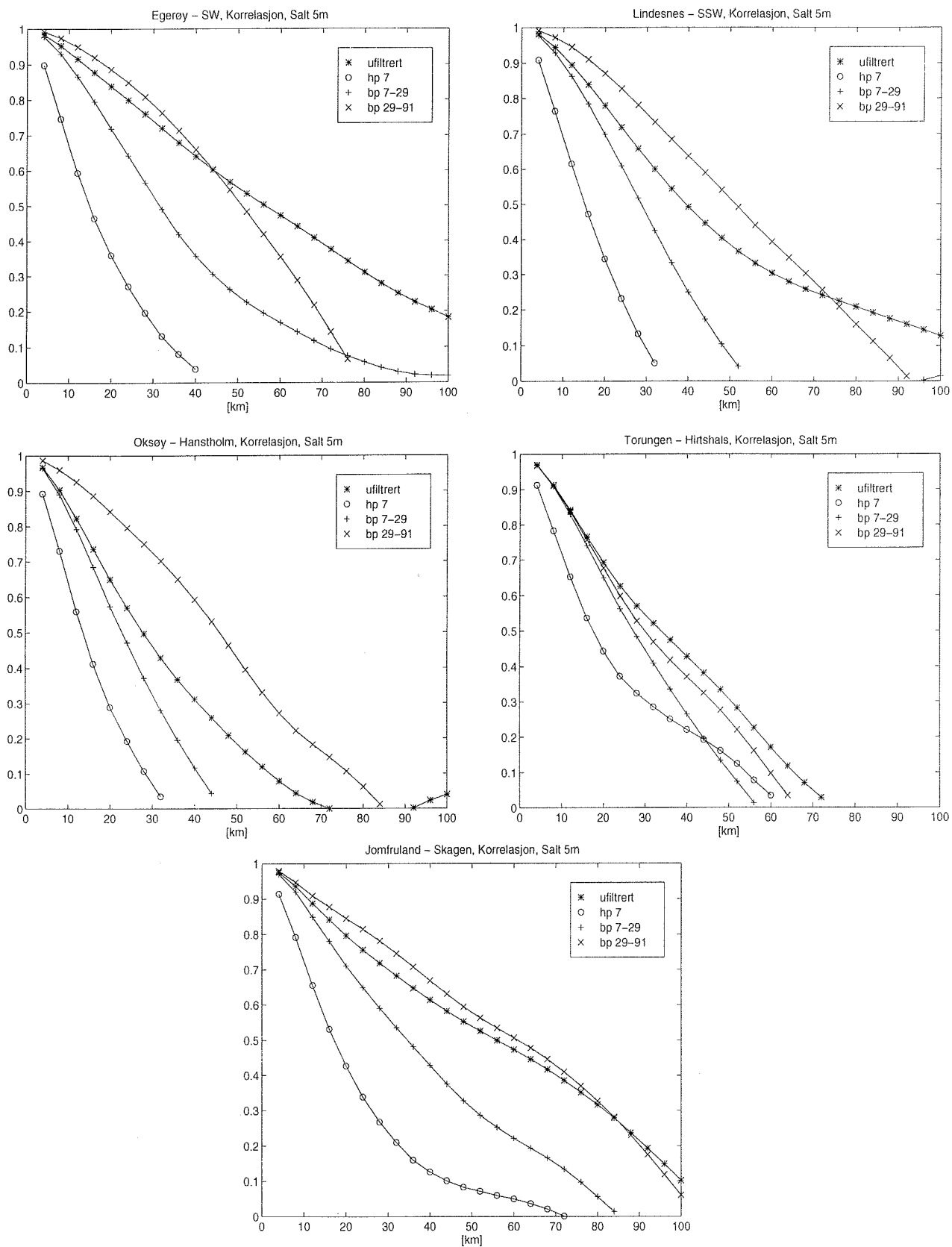
Minimum og maksimum dekorrelasjonsskala er i Figur B.3.10, henholdsvis B.3.11 plottet som funksjon av distanse fra norskekysten. Det er viktig å huske på at skalaene er avhengig av den korrelasjonsverdien, $r=0.7$, som er benyttet i definisjonen av dekorrelasjonsskalaen. Hvis en høyere verdi brukes får en mindre verdier på skalaen, men forsøk som vi har gjort viser at forhold mellom skalaene er stort sett uavhengig av denne verdien. Den høypass filtrerte (hp7) variabiliteten har nærmest konstant dekorrelasjonsskala (maksimum og minimum) på ca 10 km på alle snittene. For rådataene og de andre filtrerte tidsseriene er bildet mer komplisert, men ved å betrakte maksimum og minimum sammen kan vi trekke ut nyttig informasjon. På Egerøy snittet øker skalaen med distanse fra kysten, og i den ytterste del av snittet er faktisk dekorrelasjonsskalen større enn 60 km. Hvis en ser på skalaen for båndpassfiltrerte data (bp 7-29) ser vi at det er et skille på distanse ca 80km, der skalaen øker fra ca. 15 km til 20-25km og fra ca. 20 km til ca. 30 km for henholdsvis minimum og maksimum. Dette skillet finnes igjen i



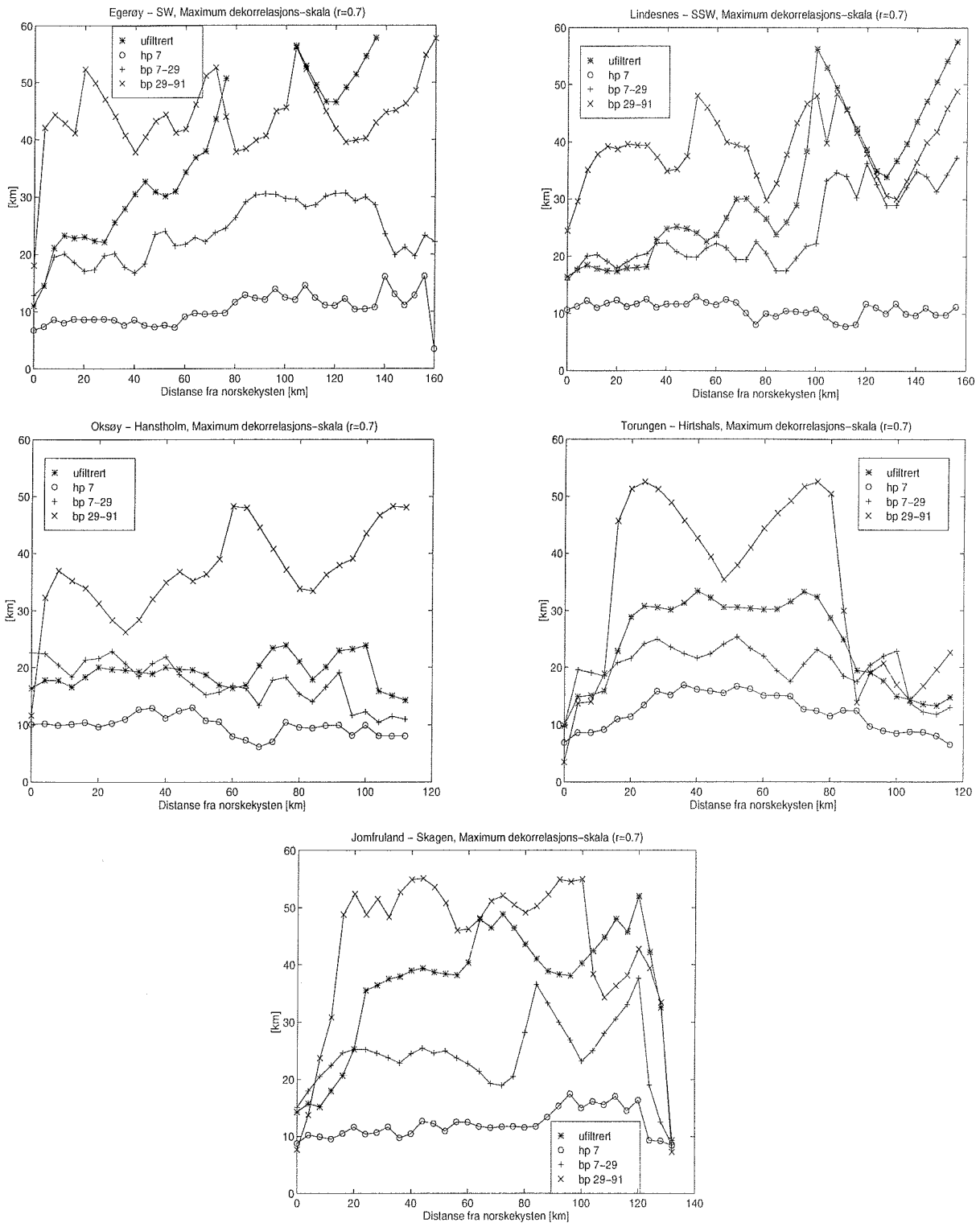
Figur B.3.7. Standardavvik for modellert normalhastighet i 5m som funksjon av distanse fra norskekysten for de 5 snittene: Egerøy-SW, Lindesnes-SSW, Oksøy-Hanstholm, Torungen-Hirtshals og Jomfruland-Skagen. Standardavviket er vist for rådata og for 3 filtrerte tidsrekker, høypass 7 dager, båndpass 7-29 dager og båndpass 29-91 dager. Merk at skalaen er forskjellig på rådataene og de filtrerte verdiene.



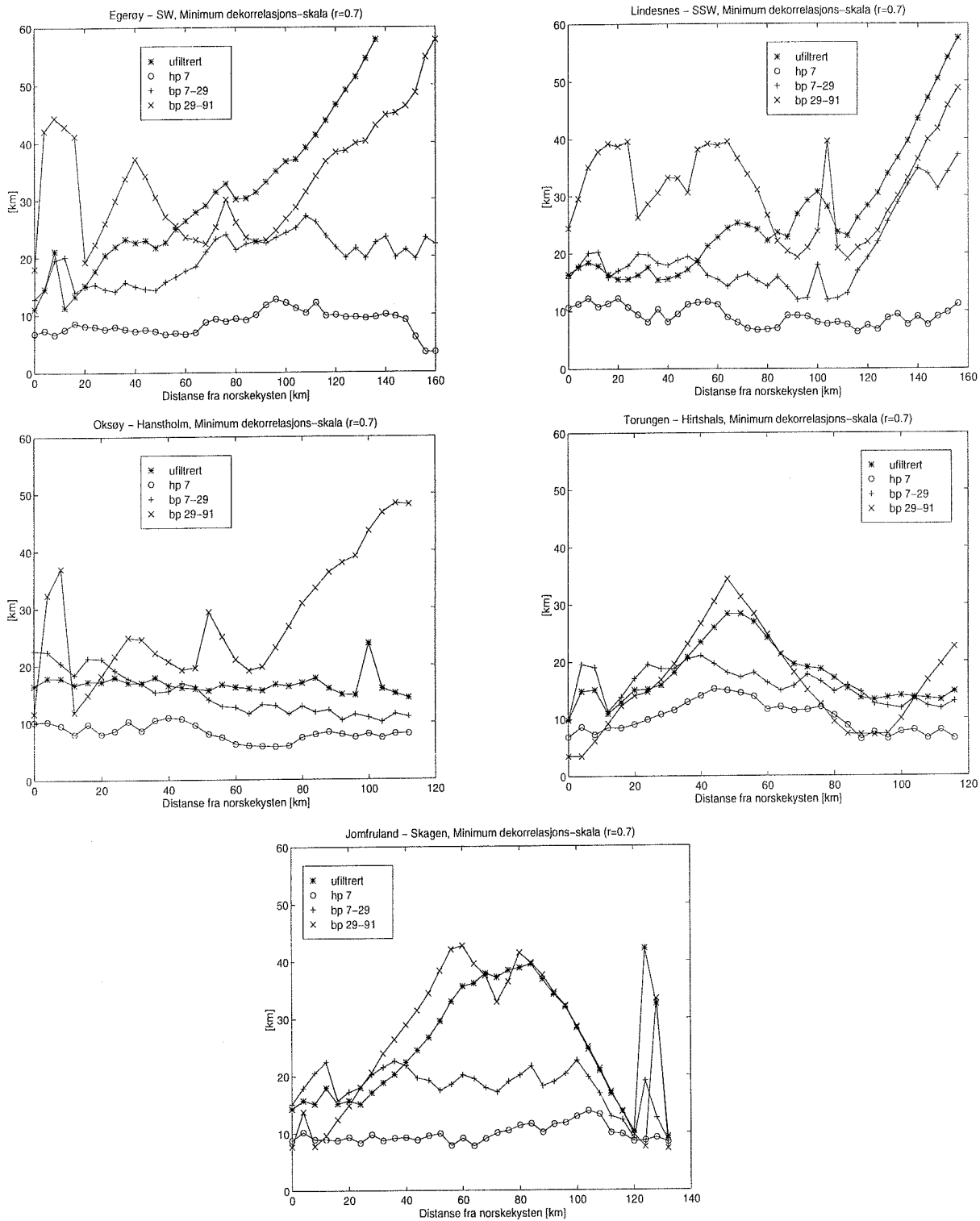
Figur B.3.8. Korrelasjon for modellert saltholdighet i 5m som funksjon av distanse mellom stasjonene på de 5 snittene: Egerøy-SW, Lindesnes-SSW, Oksøy-Hanstholm, Torungen-Hirtshals og Jomfruland-Skagen. Korrelasjonen er vist for rådata og en filtrert tidsrekke, båndpass 7-29 dager.



Figur B.3.9. Korrelasjon for modellert saltholdighet i 5m som funksjon av distanse mellom stasjonene for rådata (ufiltrert) og for 3 filtrerte tidsrekker, høypass 7 dager (hp 7), båndpass 7-29 dager (bp 7-29) og båndpass 29-91 dager (bp 29-91). Korrelasjonene er vist for de 5 snittene: Egerøy-SW, Lindesnes-SSW, Oksøy-Hanstholm, Torungen-Hirtshals og Jomfruland-Skagen.



Figur B.3.10. Maksimum dekorrelasjons-skala ($r=0.7$) for modellert saltholdighet i 5m som funksjon av distanse fra norskekysten for rådata (ufiltrert) og for 3 filtrerte tidsrekker, høypass 7 dager (hp 7), båndpass 7-29 dager (bp 7-29) og båndpass 29-91 dager (bp 29-91). Dekorrelasjons-skalaen er vist for de 5 snittene: Egerøy-SW, Lindesnes-SSW, Oksøy-Hanstholm, Torungen-Hirtshals og Jomfruland-Skagen.



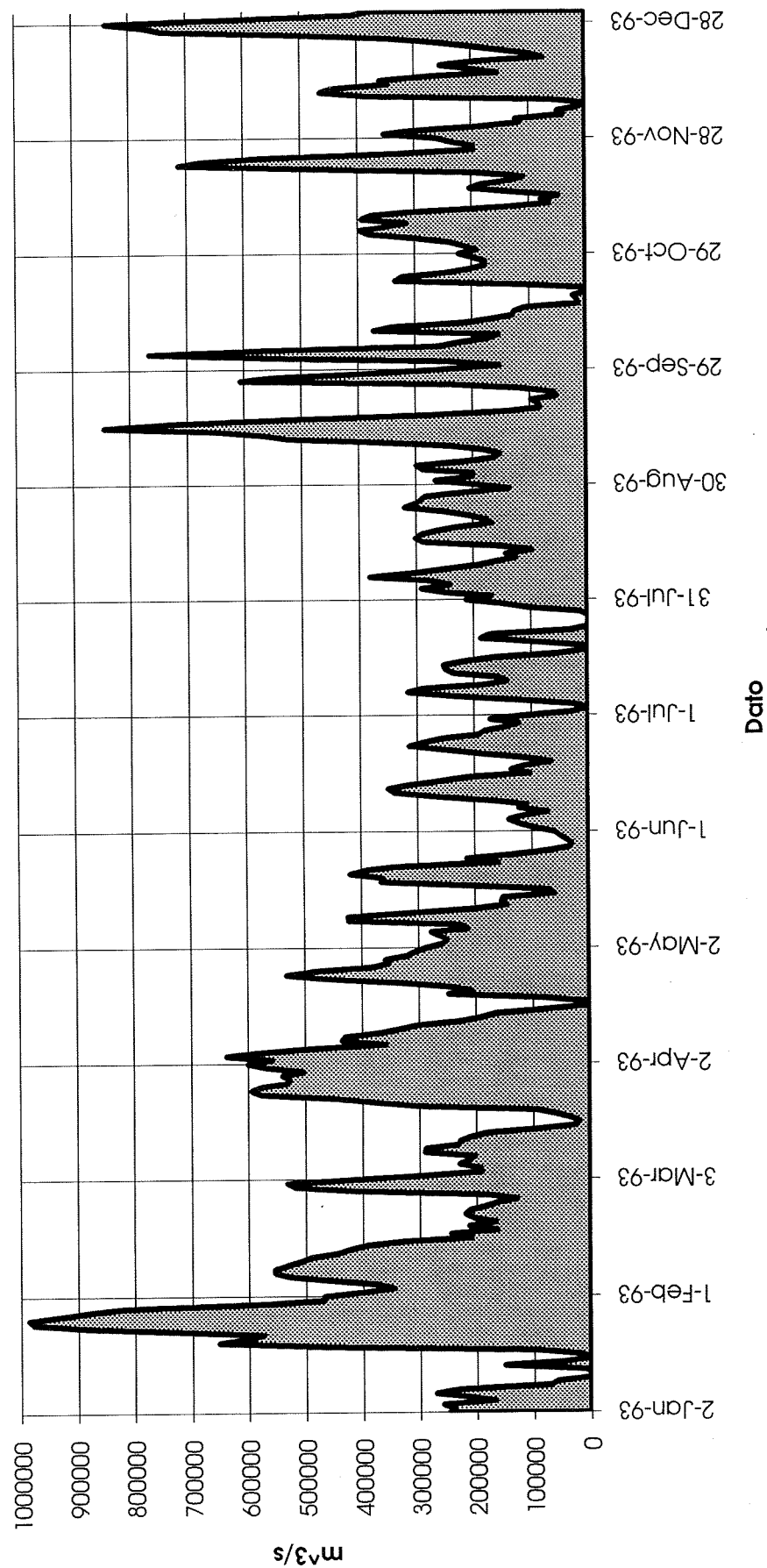
Figur B.3.11. Minimum dekorrelasjons-skala ($r=0.7$) for modellert saltholdighet i 5m som funksjon av distanse fra norskekysten for rådata (ufiltrert) og for 3 filtrerte tidsrekker, høy-pass 7 dager (hp 7), bånd pass 7-29 dager (bp 7-29) og bånd-pass 29-91 dager (bp 29-91). Dekorrelasjonsskalaen er vist for de 5 snittene: Egerøy-SW, Lindesnes-SSW, Oksøy-Hanstholm, Torungen-Hirtshals og Jomfruland-Skagen.

de andre kurvene også, og det ser dermed ut som om dette er distansen fra kysten der kyststrømmen har betydning for variabiliteten.

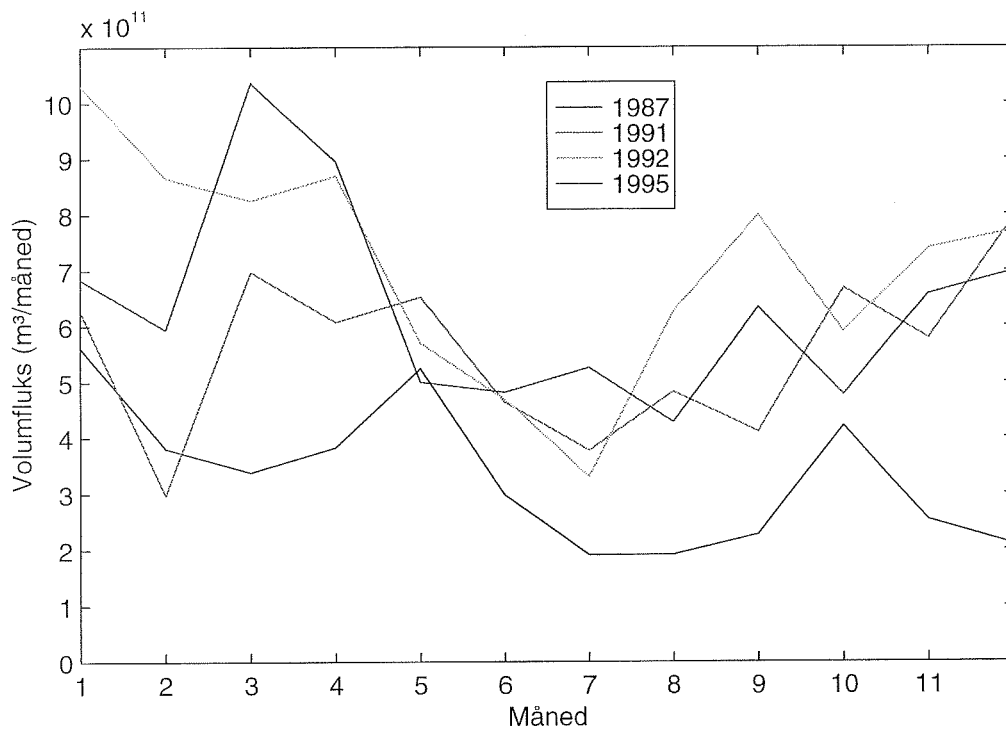
På Lindesnes snittet ser vi dette spranget er ca 100 km fra kysten, og for bp 7-29 dager endrer skalaen seg fra ca. 20 km til ca. 30 km. Ser en på kurven for de ufiltrerte dataene ser vi at det ved 100 km er et sprang etterfulgt av en V-form på kurven. Dette skyldes at vi har et område fra 100-160 km med høyt korrelerte data, men i senter av dette området er det kun ca. 30 km til randen av dette området og dette er således maksimum skala der. På OkHa snittet har dekorrelasjonsskalaen for de ufiltrerte og de båndpass filtrerte (7 - 29 dager) dataene en forholdsvis konstant dekorrelasjonsskala på ca 20 km. Det er bare for de lengste periodene det er en antydning av endring på skalaene. På ToHi snittet er det for de ufiltrerte dataene og for de lengste periodene en sone langs norskekysten på ca 15 km og en sone på 30-40 km langs danskekysten der dekorrelasjonsskalaene er betydelig mindre enn sentralt i Skagerrak. For de kortere periodene er der en gradvis økning mot midten av snittet, men dekorrelasjonsskalaen er ikke mer enn ca 20 km. Når en diskuterer dekorrelasjonsskalene for JoSk snittet må en huske på at dette snittet ligger tildels langs etter bunntopografien. Dette viser seg igjen i dekorrelasjonsskalaen for den langperiodiske variabiliteten som har et område på ca 80 km hvor det er innbyrdes høy korrelasjon. Det er interessant å se at for perioder mellom 7 og 29 dager er det et område på ca 40 km nær danskekysten som skiller seg ut. Dette siste området er sammenfallende med sonen med høyest standardavvik på JoSk snittet.

Resultater fra MAKRIL modellen gir en sterk indikasjon på betydelige mellomårlege variasjoner. Figur B.3.12 viser estimert daglig utstrømming fra Skagerrak gjennom 1993, Figur B.3.13 illustrerer den estimerte månedlige utstrømningen i enkelte utvalgte år (1987,1991, 1992,1995) og Figur B.3.14 viser den estimerte totale utstrømningen for hvert år i perioden 1980-1995.

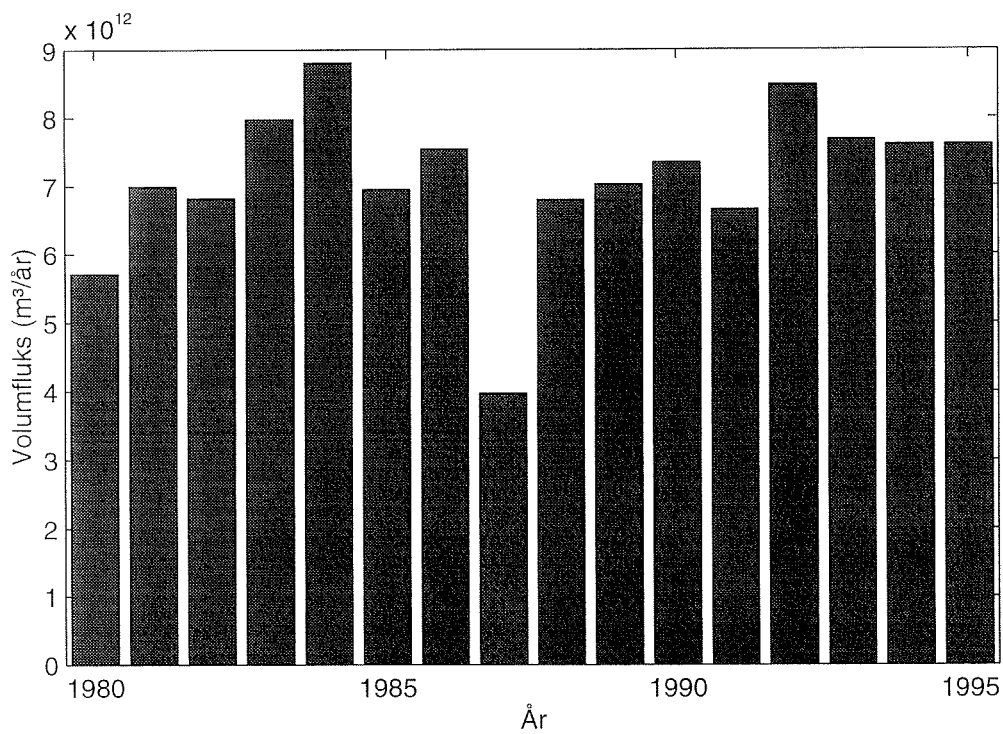
Beregnet utstrømning 1993



Figur B.3.12. Daglig utstrømning fra Skagerrak gjennom 1993 estimert ved MAKRIL modellen. Verdiene er kubikkmeter pr døgn.



Figur B.3.13. Estimert månedlig utstrømning fra Skagerak beregnet vha. Makrill modellen for årene 1987, 1991, 1992 og 1995.



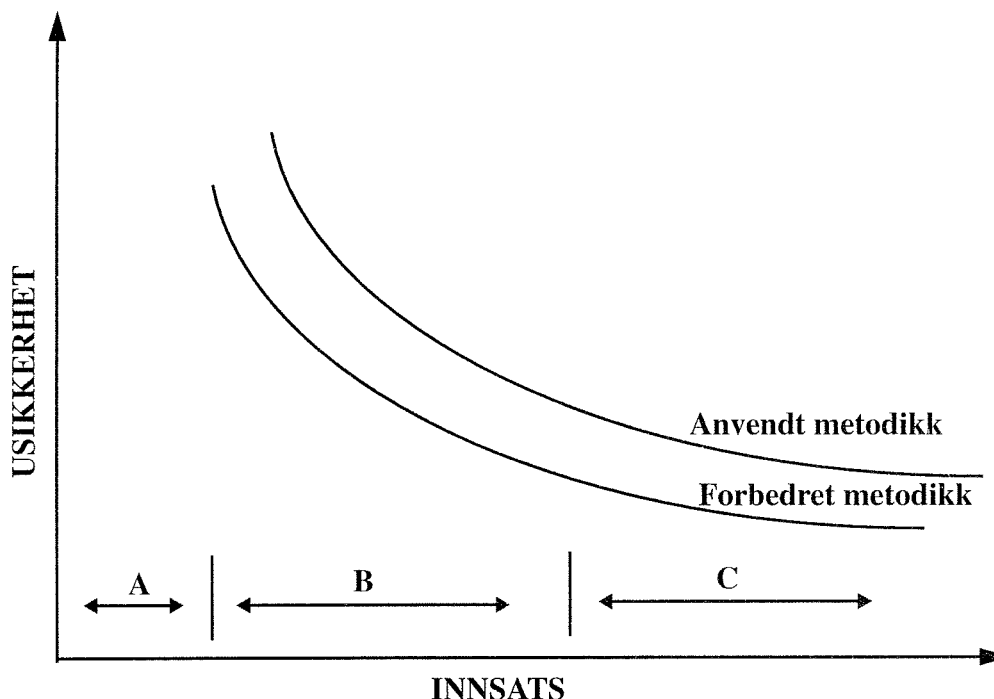
Figur B.3.14. Estimert årlig utstrømning fra Skagerak beregnet vha. Makrill modellen for årene 1980 tom. 1995.

C. KOSTNAD / NYTTE VURDERING OG OVERVÅKING AV NÆRINGSSALTER OG EUTROFI I FORHOLD TIL VARIABILITET I OSEANOGRAFISKE FORHOLD OG ULIKE BEHOV HOS OFFENTLIGE OG ANDRE BRUKERE

C.0 Innledning

Generelt vil kvaliteten av resultatene i et overvåkingsprogram i stor grad være avhengig av innsatsen. Gjennomsnittsverdier såvel som aggregater og avledete verdier av romlig fordelte størrelser (variable) som også varierer i tid, blir sikrere - dvs. feilen blir mindre - når antallet observasjoner øker og observasjonene er hensiktsmessig fordelte i rom og tid. Det er imidlertid også slik at en økning i antall observasjoner (dvs. innsatsen) ut over en viss grense kan gi liten eller ingen kvalitetsgevinst eller feilreduksjon (HI, 1996). Figur C.1 illustrerer skjematisk dette forholdet.

I områder med liten variabilitet på kortere tidskalaer, f. eks. i dypet av Norskehavet, er det behov for målinger med høy nøyaktighet, men hyppigheten kan være liten. I områder med stor variabilitet på korte tidskalaer og avstander, som dokumentert i del B er tilfellet i de øvre lag i Skagerrak, vil kravene til målenøyaktighet ofte være mindre. Det må til gjengjeld måles vesentlig oftere for å kunne fange opp variabiliteten i slike områder. I tillegg til forskjellen i behov mhp målehyppighet og kvalitet mellom ulike havområder er det ofte kravene forskjellige i ulike dyp. I Skagerrak er variabiliteten i både hydrografiske parametre og næringssalter vesentlig høyere i de øvre lag enn lengre nede. Kravene til målehyppighet varierer dessuten også gjennom året.



Figur C.1. Generell sammenheng mellom usikkerhet (feil) og innsats. I område A er innsatsen for liten til at en kan si noe om feil eller usikkerhet. I område B minker usikkerheten med økende innsats (feilen minker). I område C er gevinsten ved økt innsats med eksisterende metodikk så liten at det svarer seg å legge innsatsen i utvikling av bedre metodikk (fra HI, 1996).

Forskjellene mellom de ulike innsamlingsmetoder beskrevet nedenfor kan i stor grad sammenfattes i to ulike aspekter; avveiningen mellom romlig oppløsning og oppløsning i tid og kvaliteten / nøyaktigheten på målingene.

C.1. Områdedekkende tokt

Formålet med områdedekkende tokt er å karakterisere fordeling av bl. a. vannmasser, variasjon i rom for den aktuelle tid, variabilitet fra år til år og langtidsutvikling, trender. Kartlegging av næringssaltkonsentrasjoner og hydrografiske forhold ved tokt med romlig dekning gir informasjon om næringssaltenes fordelingsmønstre i relasjon til vannmassenes fordeling og biologisk produksjon. Næringssaltkonsentrasjonene kan integreres til estimater av totalt næringssaltmengde innenfor området dekket av toktet eller bestemte vannmasser definert utfra hydrografiske parametre, saltholdighets eller tetthetsflater. Næringssaltmengdene kan relateres til mengden av ferskvann i området. Slike analyser kan med fordel foretas vha geostatistiske metoder, eventuelt inkorporert i et geografisk informasjonssystem (GIS). En styrke ved tokt med romlig dekning er at usikkerheten i mengdeberegningene reduseres i forhold til den en har i enkeltmålinger pga lokal variabilitet. For å kunne detektere hvor vannmassene kommer fra kreves det også en viss romlig dekning.

Det er viktig å definere den optimale geografiske områdedekningen til toktet i forhold til den informasjon en ønsker å hente inn. Dette krever igjen at en har klart definert hva som skal overvåkes. Et for lite dekningsområde innebærer nødvendigvis mangelfull informasjon, et for stort område er sløsing med ressurser eller vil, med gitte ressurser, føre til større avstand mellom stasjonene innenfor det interessante området. Tettheten i stasjonsnett kan være avgjørende for forståelsen av det romlige variabilitetsmønsteret. Det er like viktig at overvåkingstoktet eller toktene gjennomføres til den eller de tidene på året som gir mest nytte i forhold til målsettingen. En strategi er å velge en tid på året da variasjonen er liten for å kunne sammenligne fra år til år.

Fordelingsmønstre endrer seg fra år til år og naturfenomenet som skal overvåkes vil ofte kunne sette inn når som helst innenfor en periode på uker eller til og med måneder. Dette er kompliserende faktorer siden tiden fartøyet /fartøyene er tilgjengelig typisk er bundet opp til bestemte datoer fra lang tid i forveien. Ved spesielle situasjoner (oppblomstring av giftige alger, oljeutslipp) er det viktig at det er mulig å omdisponere fartøy eller benytte leiefartøy.

Havforskningsinstituttet har et overvåkingstokt i Skagerrak i april hvert år. Den opprinnelige hovedmålsettingen for toktet var å gi grunnlag for å varsle fiskeoppdrettere og myndigheter om sannsynlighet for oppblomstring av skadelige alger i denne kritiske tidsperioden. Det er oppdrettsanlegg med en verdi på minst en milliard kroner på kyststrekningen fra Sørland til Bergensområdet. En like viktig målsetting er i dag å gi miljøvernmyndighetene et godt grunnlag for vurderinger og uttalelser angående miljøtilstanden i området og særlig vedrørende tilførsler av antropogene næringsalter til Skagerrak fra Nordsjøen, Østersjøen og Kattegat. For å kunne oppfylle disse hovedmålene tilfredstillende er det viktig å opparbeide en langtidsserie som grunnlag for studier av og uttalelser om variasjoner fra år til år.

Dette toktet er definert til å studere et fenomen som foregår i området fra vest av Jylland og hele Skagerrak, det er ikke inne i målsettingen å følge utviklingen oppover vestlandskysten. April måned er valgt fordi det da er stor sannsynlighet for at vinterinnstrømming til Skagerrak er over. Slutten av april er dessuten starttidspunkt for en eventuell oppblomstring av skadelige

flagellater. I tillegg til informasjon om Skagerrak får en samtidig også viten som er gyldig for store deler av Nordsjøen da nærmere 70% av vannet som sirkulerer inn i sørlige sentrale Nordsjøen strømmer ut gjennom Skagerrak (North Sea Task Force, 1993). Vannmassene fra den østlige Nordsjøen beholder sine egenskaper ved Hirtshals sl. a. målinger foretatt her er representative for et stort område. Mengden av atlantisk vann som strømmer inn i Nordsjøen og Skagerrak mer direkte er også av interesse. Parametre som måles på disse toktene omfatter hydrografi, uorganiske næringssalter, klorofyll og mengden av ulike algetyper. Det er viktig å kunne gi kvantitative estimat. Som vi viste i del B er år til år variabiliteten i området stor, det er f. eks. observert fra ca 20 000 til ca 140000 tonn nitrat.

Ut fra målinger på apriltoktet av mengder av de ulike næringssalter og forholdet mellom disse kan en gi en rimelig god prognose for risikoen for oppblomstring av skadelige alger. Likevel vil næringsaltforhold i hele perioden fra januar til mai kunne ha avgjørende betydning for en algeoppblomstring. En overvåking av silikatforholdene tidligere på året vil kunne gi nyttig informasjon i denne forbindelse ettersom mengden av silikater i området varierer mye fra år til år. Det er ikke nødvendig med en tilsvarende tett dekning av klorofyll og algeparametre som på apriltoktet. Ideelt sett bør en også ha en områdedekning i mai for å følge med på en eventuell utvikling av skadelige alger. Det bør likevel være tilstrekkelig å detektere en slik situasjon med andre metoder og kun sette i gang en områdedekning hvis noe skadelig er under utvikling.

Hvert år forventes en innstrømming til Skagerrak i løpet av vinteren/ tidlig vår. Innstrømming fra den sørlige Nordsjøen kommer i pulser avhengig av vindforhold, så får å få med når slike episoder inntreffer er det ønskelig å følge med i hele den potensielle periode. For å måle maksimale mengder av antropogene næringssalter vil det være ønskelig med et områdedekkende tokt i mars.

Tokt tidlig på året vil også gi nyttig informasjon om innstrømming til fjordene. Denne prosessen legger grunnlaget for forholdene i lang tid framover da mye av de vannmasser som strømmer innover terskelen blir værende i fjorden lenge i motsetning til kystvann som har en kort oppholdstid. Selv om oppholdstiden langs rendene i Skagerrak varierer med sesong, er den i kystvannet typisk kun en måned.

Verdier for mengden av organisk materiale mangler i resultatene fra dagens apriltokt. Det anbefales å måle den totale mengden av nitrogen og fosfor. Ved å trekke i fra de uorganiske verdier kan en få et estimat på mengden av organisk materiale som er mer stabilt (er i området over lengre tid). Også verdier for mengden av partikulært organisk karbon og partikulært organisk nitrogen (fra samme analyse) kan med fordel beregnes.

Det er ikke så viktig å gjennomføre en områdedekning i Skagerrak om høsten. Selv om det på denne årstiden er fare oppblomstring av *Gyrodinium aureolum* har en ikke samme kjennskap til klar sammenheng mellom næringsaltsituasjon og algeoppblomstring som en har om våren. Selv om oksygenminimum inntreffer om høsten, et fenomen en ikke kjenner tilstrekkelig, er ikke dette grunnlag for et omfattende tokt. De snitt og kyststasjoner som tas pr i dag (se punkt 2 og 3) bør være tilstrekkelige.

Havforskningsinstituttet har tokt, også i Skagerrak, der hovedformålet er å overvåke og kartlegge fiskeressursene. Selv om disse toktene ikke er rettet spesielt mot miljøovervåking samles det regelmessig inn CTD data som bør kunne gi en rimelig bra oversikt over tilstanden.

Områdedekkende tokt er den form for overvåking som gir mest informasjon om eutrofirelevante parametre for et gitt område og til en viss tid. Denne formen for datainnsamling er viktig for å karakterisere fordeling av vannmasser og variasjon i rom. Kartlegging av næringssaltkonsentrasjoner og hydrografiske forhold gir informasjon om næringssaltenes fordelingsmønstre i relasjon til vannmassenes fordeling og biologisk produksjon. Høye kostnader setter begrensninger for antall toktdøgn. Det er derfor viktig at datainnsamlingen foregår til den eller de tidene på året som gir mest nytte i forhold til målsettingen. Dersom det primære er å kunne sammenligne fra år til år vil det være mest hensiktsmessig å velge en tid på året da variasjon på kort tidsskala er liten. Det bør satses mer på å utnytte den romlige informasjon fra områdedekkende tokt i sammenheng med andre datakilder. Numeriske modeller kan initieres med interpolerte felt fra toktdata og styres under kjøringen av atmosfæriske data og data fra faste stasjoner.

C.2. Faste snitt og skip i faste ruter

Havforskningsinstituttets faste hydrografiske snitt ved norskekysten har i stor grad blitt opprettet for å overvåke storskala variasjon i havet og særlig variabiliteten i de atlantiske vannmasser. Observasjonsfrekvensen på HI sine 12 faste snitt varierer typisk fra 1-4 observasjoner i året (Gjertsen, 1996), men snittet Torungen-Hirtshals skiller seg ut med månedlige målinger.

De store forskjellene i korrelasjonsradius er observert langs de ulike snittene (del B), altså på tvers av den typiske innstrømningsretning, gir et klart inntrykk av nødvendigheten av denne form for overvåking. Avstanden mellom stasjonene på snittet bør være i henhold til dekorrelasjonsradiusen. I del B ble det vist, basert på modellerte saltholdighetsverdier, hvordan dekorrelasjonskalaen (med korrelasjon $r = 0.7$) på snittet Torungen-Hirtshals ligger på rundt 15 km inne ved norskekysten, øker til 30 km midt i Skagerrak, for igjen å avta til ca 15 km på danskekysten. Korrelasjonsberegningene og klyngeanalysen på stasjonsdata viste også at sammenhengen mellom variabiliteten på stasjoner i et område dominert av kystvann og stasjoner lengre ute er liten. Dette gir at avstanden mellom stasjonene bør være i størrelsesorden 10 km inne ved kysten og 20 i det sentrale området. De avstandene en har mellom stasjonene på snitt i dag er i overensstemmelse med dette. Hva angår antall snitt og plassering skulle det viktigste være dekket av et snitt ved svenskekysten, et som dekker utstrømming fra Kattegat, et sentralt i Skagerrak som beskriver situasjonen der og et i det vestlige Skagerrak for å dekke innstrømming og utstrømming fra Nordsjøen.

Data fra faste snitt kan brukes til å beskrive vannmassefordeling. Sammen med ADCP ombord på skipet vil en også ha grunnlag for geostrofiske transportberegninger. Kvantitative opplysninger om transporter og mengder blir nå sett på med større interesse enn konsentrasjoner. Det er for eksempel av stor interesse å kunne skille mellom norske utslipp (i kystvann) og fjerntransporterte. Selv om det er nyttig med transportmålinger samtidig med parametermålinger så er verdien begrenset av den oppløsning i tid en kan få på et fast snitt. Snitt er mer følsomme overfor variabilitet i tid i forhold til områdedekning. På den norske siden av Skagerrak, der barokline prosesser dominerer, vil oppløsningen lettere kunne være rimelig bra. På danskesiden er det vanskeligere siden de dominerende prosesser er av barotrop art, bestemt av vær og vind.

Et mål med de faste snittene må være å oppløse sesongvariasjon. En ønsker derfor å måle hvordan sesonglengden varierer fra år til år. Månedlige verdier får med hovedstrukturen, men bommer på toppen. Av denne grunn, kunne det være ønskelig med ukentlige snittmålinger i de øvre

50-100 m over et helt snittet (del B). For perioden januar-mai, med de hurtige forandringer som kan forekomme på denne årstiden, vil det være spesielt ønskelig med en bedre oppløsning i tid enn i dag på de deler av snittene som ligger nærmest kystene på begge sider.

Resultatene i del B viser videre at dypere nede, i hvert fall under 150 meter, er variabiliteten i hydrografien svært liten i forhold til nær overflaten. Det er likevel nødvendig å foreta regelmessige hydrografiske målinger, om enn med en lavere frekvens enn i overflatesjiktet, får å fange opp variabiliteten i de atlantiske vannmasser.

En stagnasjonsperiode er typisk på 12 mnd i Skagerrak. For å følge med på utviklingen av oksygenforholdene bør en ha minimum tre målinger innenfor en slik periode, 5-6 målinger anbefales. Det er av spesiell interesse å få registrert startverdien etter en innstrømming, dvs. måling i april. De andre målingene kan så fordeles jevnt utover mot slutten av året. Dersom minimumsverdien er av interesse må en likevel også måle om vinteren. For oksygen er det ønskelig med god oppløsning i den fotiske sone som grunnlag for produksjonsberegninger. Sjiktet videre ned til terskeldypet, som i Skagerrak ligger på 270m, er av mindre interesse. Det er stort sett tilstrekkelig med målinger på standarddyp slik en tar dem i dag. Nyttan av å måle på samme dyp fra år til år, slik at en har sammenlignbare verdier, er stor. En må likevel generelt passe på om måledypene er tilpasset volumfordelingen. I Skagerrak er mediandypet under terskelnivå, en bør ta 2-3 observasjoner både over og under. Algeparametre og klorofyll bør i tillegg til standarddyp tas ut fra fluoresensmaksimum.

Som komplement til faste snitt kan en også bruke fartøy i faste ruter. Havforskningen har målt temperatur og saltholdighet langs kysten fra Bergen og nordover vha. utstyr påmontert hurtigrutefartøyene fra så langt tilbake som 1935. I Østersjøen gjennomføres slike observasjoner på to strekninger: Helsinki-Travemünde og tvers over Finskebukta (Leppänen og Rantajarvi, 1996). Observerte variable her er temperatur, saltholdighet, totalnitrogen, nitrat, totalfosfor, fosfat, silikat, klorofyll-*a* og planteplanktonanalyser.

Metodene brukt til datainnsamling og behandling på slike "ships of opportunity" har forandret seg etter hvert som ny teknologi har blitt gjort tilgjengelig og flere tekniske framskritt har blitt gjort. Likevel har det inntil nylig vært et generelt problem at pålitelig metodikk for kontinuerlig logging av fartøyets posisjon har manglet. Dette har nødvendigvis medført at posisjonsangivelsen på målte data har vært heller grov. Det satelittbaserte GPS (Global Positioning Service) systemet åpnet for en helt annen nøyaktighet på posisjonsbestemmelsen for de fleste mobile observasjonsplattformer (Gytre, 1997). Det er i gang et EU finansiert prosjekt for å lage en såkalt "Ferry box", en modul for montering ombord i rutegående fartøyer. I prinsippet er dette det samme som HI har kjørt i mange år, men nå med flere måleparametre.

Da hydrografidataene normalt måles i maskinrommet dypt nede i skipet samtidig som GPS motakeren bør stå så høyt og fritt som mulig er det likevel store praktiske problemer med å få GPS loggeren og en sensor i maskinrommet til å kommunisere. Dette særlig fordi det dreier seg om skip som har helt andre hovedoppgaver enn havovervåking og der en ikke videre for trekke kabler hvor som helst. Gytre (1997) beskriver en elegant løsning der posisjon fra GPS og hydrografi logges helt separat, men med synkroniserte interne klokke i de to loggerne. Når måleperioden er ferdig (skipet er tilbake i Bergen) flettes de to separate dataseriene sammen ved et spesielt program. Dette nye systemet har vært uttestet på hurtigruten med en temperatursensor, men i prinsippet kan alle typer dataloggere som måler med et fast tidsintervall brukes.

Hovedmålsetningen med faste snitt er å overvåke storskala variasjon i hydrografi og nærings-salter. Snittet Torungen-Hirtshals tas i dag med en hensiktsmessig hyppighet på ca 1 gang i måneden. Avstandene mellom stasjonene i størrelsesorden 10 km inne ved kysten og 20 i det sentrale området er i overensstemmelse med det som er funnet ønskelig ut i fra variabilitetsbe-regninger.

Rutegående fartøyer, "ships of opportunity," kan være svært kostnadseffektive redskaper for innsamling av mange typer data fra det marine miljø. Det satelittbaserte GPS (Global Positioning Service) systemet åpnet for en helt annen nøyaktigere på posisjonsbestemmelsen. Det arbeides nå på flere fronter for ytterligere å effektivisere denne formen for datainnsamling også for andre parametre enn hydrografi som har vært målt fra hurtigruteskip fra 1935. Potensialet til denne rimelige metoden blir ikke utnyttet i dagens overvåkingssystem og en økt satsing på måling fra rutegående fartøyer anbefales.

C.3. Faste stasjoner

Observasjoner fra faste stasjoner med relativ høy frekvens er en vanlig metode for miljøover-våking av kyst- og tildels mindre havområder. Slike stasjoner er opprettet i Østersjøen, Kattegat, Tyskebukta og i det norske kystovervåkingsprogrammet, samt for temperatur og saltholdighet på flere stasjoner langs norskekysten av Havforskningsinstituttet. Arbeidet med å etablere disse faste hydrografiske stasjonene, bemannet med lokale observatører, langs norskekysten fra Skagerrak til Barentshavet startet opp i 1930-årene. Tanken da, som nå, var å konti-nuerlig holde oppsyn med klimaforholdene. Den viktigste hensikten til å ha faste kyststasjoner er for å overvåke langtidstrender. Med en tilstrekkelig høy frekvens vil kyststasjoner også gi innsyn i hvilke vannmasser som dominerer for tiden, avsløre episoder og gi grunnlag for til-stands betraktninger. I ICES (1996) uttales det at slike stasjoner kan gi viktig informasjon om mønsteret i sesongmessige og år til år endringer i næringssaltkonsentrasjoner relatert til vann-masser.

Utviklingen etter høstete erfaringer går generelt mot observasjoner med høyere frekvens på sentrale stasjoner. I overvåkingen av Kattegat var tidligere en til to observasjon pr. måned regelen, men nå planlegges en frekvens på en gang pr. uke. Når observasjoner kan knyttes til feltstasjoner er daglige observasjoner av utvalgte variable mulige fra enkelte dyp (f.eks. pro-grammene ved Helgoland og Flødevigen), men ved automatisering kan observasjonene bli mer eller mindre kontinuerlige (Solbergstranda, Indre Oslofjord - Steilene) for de variabler som lar seg observere med sensorer.

De ulike metoder for datainnsamling vil nødvendigvis ha forskjellige formål. Observasjonsfre-kvens bør avgjøres av formålet samt ønsket utsagnskraft. Ettersom de fleste overvåkingspro-grammer opererer med faste stasjoner i basisprogrammene og det her også foreligger lange historiske serier, blir andre observasjonsmetodene (fra feltstasjoner og fartøy i faste ruter) komplementerende informasjon som kan bidra til analyse av tids- og rommelig variabilitet.

Formål

Formålet med faste stasjoner i kystvannet er å kunne overvåke eventuelle trender av ulike mil-jøspesifikke variabler med hensikt å se forskjell på naturlige variasjoner og en eller flere antro-pogene påvirkninger, samt kunne identifisere de ulike potensielle kilder.

Det generelt definerte formålet er bevisst ut fra at ulike miljøovervåkingsprogrammer også kan

ha ulike målsetninger m.h.t. valg av stasjoner og valg av variabler.

Metodikk

1. Valg av variable

For all overvåking er observasjoner av temperatur og saltholdighet nødvendige basisdata (havets klimadata). For overvåking av eutrofi og hypoxia er det nødvendig med observasjoner av næringssalter, oksygen, planteplanktonbiomasse (klorofyll-*a*), lysforhold (siktedyp), samt partikulært materiale (spesielt partikulært karbon). Aktuelle biologiske variabler er planteplankton og zooplankton.

Ambisjonsnivået (antall variabler) kan variere. Internasjonale programmer (JAMP) krever som minste program observasjoner av klorofyll-*a* og de løste næringssaltene fosfat, ammonium og nitrat, mens de nordiske overvåkingsprogrammene (se f.eks. Danmarks Miljøundersøkelser, 1996 og Länsstyrelsen i Göteborg, 1996) også inneholder totalnitrogen og totalfosfor, partikulært nitrogen og karbon og siktedyp. Det norske kystovervåkingsprogrammet inneholder også partikulært fosfor og totalt suspendert materiale. For å styrke kildeporingsanalysen er også gulstoff inkludert. Sett ut fra planteplanktondynamikk og næringssalter kunne med fordel også urea inkluderes.

Vanlige biologiske variabler er planteplanktonanalyser med ulik ambisjonsnivå på analysesiden. I det norske kystovervåkingsprogrammet er også rutinemessige zooplanktonobservasjoner oppstartet. Tabell C.5.1 viser en samlet oversikt av observasjoner som inngår i kystovervåkingsprogrammet. Eksemplet er hentet fra Arendal St. 2 (Stasjon 205 på snittet Torungen-Hirtshals) hvor det er fullt observasjonsprogram.

Tabell C.5.1. Observasjoner på en stasjon i kystovervåkingsprogrammet (1991).

Dyp/ Par	Tot-P	Tot-N	Si SiO ₃ - Si	N NO ₃ - N	N NH ₄ - N	P PO ₄ - P	Klorofyll- <i>a</i>	Part. C	Part. P	Tot. suspendert materiale	O ₂	Salt	Temp	Filtr. CN kla	Gulstoff	Planteplankton
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	3	1	X
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	3	1	X
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	3	1	X
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	3	1	X
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	3	1	X
50	1	1	1	1	1	1	1				1	X	X	1	1	
75	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	X	X	3	1	
N=	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	----	----	19	7	5

I tillegg gjøres observasjoner av siktedyp, vind og vær. Temperatur og saltholdighet registreres med STD-sonde og fluorescens med profilerende sonde. Samtlige vannprøver, unntatt oksygen, siles gjennom planktonduk (180µ). I tillegg innsamles vertikalintegreerte prøver (0-30 meters dyp) for planteplankton, klorofyll-*a* og partikulært C/N/P-analyser. Planteplanktonet bestemmes m.h.t. art, mengde, biomasse. Zooplanktonprøver, som innsamles med vertikalhåv med betegnelsen WP II med 180µ planktonduk, trekkes fra 75 m til overflaten. Prøven taes med til laboratoriet og opparbeides etter standardisert metode. Prøvetaking gjennomføres med standard

hydrografiske/hydrokjemiske metoder.

For en langtidsovervåking er kvalitetsikring av data viktig. Internasjonale retningslinjer bør følges når slike foreligger (f.eks. OSPAR, ICES etc.). Deltakende laboratorier bør være akkreditert på aktuelle metoder, og laboratoriet skal delta i internasjonale interkalibreringer (f.eks. QUASIMEME). Hvis flere laboratorier er involvert i samme program, bør det foretas årlige parallell-analyser mellom laboratoriene (se f. eks. Røgeberg *et al.*, 1996).

Ved bruk av sonder må det alltid foretas kontroller hver gang disse brukes på tokt, eller med jevne intervaller ved kontinuerlig bruk. Dette gjelder også ved bruk av CTD, hvor spesielt saltholdigheten må kontrolleres (UNESCO, 1988).

2. Valg av stasjoner

En fast stasjon skal ideelt sett representere en kyststrekning eller havområde, slik at observerte forandringer kan sies å representere et større område (region). Ofte må valget bygge på skjønn når det ikke foreligger observasjoner fra tidligere. Plasseringen har størst betydning i forhold til lokale tilførsler til overflatelaget. Uansett nødvendig bruk av skjønn bør kriterier for stasjonsvalg klargjøres. I kystovervåkingsprogrammet er det brukt følgende kriterier:

1. Stasjonene skal ligge i kystvannet og gi informasjon om regionale forhold.
2. Stasjonenes beliggenhet i relasjon til lokale og andre potensielle kilder (f.eks. langtransporterte forurensninger).
3. Forekomsten av eldre observasjoner.
4. Områdets betydning for rekreasjon, fiske etc.
5. Dypdeforhold.
6. Enkelt å operere stasjonen/nærhet til analyselaboratorium.

Det mangler i dag objektive kriterier for valg av stasjoner for langtidsovervåking. Imidlertid vil ofte forekomsten av eldre observasjoner være avgjørende. Plasseringen innenfor et område er av mindre betydning ettersom analysen av vannmasser ofte gjøres i relasjon til saltholdigheten. I åpne områder med store horisontale gradienter kan en hovedstasjon kompletteres med enklere overflatestasjoner hvor utvalgte variabler blir observert.

Stasjonstettheten i relativt åpent kystvann kan være liten, men i områder med uryddige strømforhold og topografi vil det kreves flere stasjoner. Der hvor et område har flere bassenger, vil dypvannet i hvert basseng være et viktig overvåkingsobjekt.

I områder hvor det ligger faste forskningstasjoner (f.eks. Flødevigen, Arendal og Solbergstranda, Drøbaksundet), finnes mulighet for daglige observasjoner. Disse er i allmennhet begrenset til overflatevann samt de dyp det foreligger dypvannsinntak. Observasjoner av temperatur og saltholdighet gjennomføres som regel, men også andre variabler som f.eks. klorofyll-*a* og siktedypet kan gi verdifulle opplysninger om langtidsutvikling og episoder avhengig av stasjonens beliggenhet. Ved stasjonen i Flødevigen måles f. eks. algeparametre og klorofyll integrert fra 0-30m til bruk i algeovervåkingen.

3. Valg av observasjonsdyp

I utgangspunktet er valg av observasjonsdyp en funksjon av den vertikale fordelingen av de ulike variable og forventet variasjon. Er ikke tidligere observasjoner fra området tilgjengelige bør ICES standarddyp følges. Et eksempel på observasjonsdyp og variabler fra det norske kystover-

våkingsprogrammet er vist i tabell C.5.1. For enkelte variable kan blandprøver taes og sammenlignes med enkeltdyp. Enkelte analyser kan begrenses til slike blandprøver. Når sonder kan brukes bør disse komplettere vannanalyser og kan også brukes til å variere prøvetakingsdypet. Imidlertid vil dette kunne komplisere bearbeidelsen av materialet i f.eks. trendanalyser. Generelt bør informasjon fra sonder brukes til å innsamle ekstra prøver når ikke standarddypene er dekkende.

4. Valg av observasjonsfrekvens

Valg av observasjonsfrekvens er avhengig av hvilken utsagnskraft en ønsker på de aktuelle variable for å konstatere en eventuell forandring. Det finnes i dag ikke noen enkel metode for å designe et program ettersom ulike variabler har ulik variasjon. En kritisk faktor kan være vannmassenes oppholdstid. Ettersom oppholdstiden varierer med lokalitet, vil det ikke kunne settes opp noen generelle regler, men det er generelt ønskelig å ha en observasjonsfrekvens som ligger på omtrent samme tidsskala som vannets oppholdstid. For overflatelag i kystområder er dette vanskelig å oppnå.

For å kunne se en utvikling i vannmassene kan det brukes forskjellige statistiske metoder avhengig av hva en vil studere. For rene trendanalyser finnes generelle anbefalinger (ICES, 1996), men hvordan disse anvendes er igjen avhengig av formålet med observasjonene. Analysemetodene utvikles også alt ettersom behovet foreligger slik at legge en metode til grunn for en langtidsovervåking ikke er å anbefale.

For å kunne konstatere en utvikling må observasjonsfrekvensen for den enkelte variabel være tilstrekkelig høy i relasjon til naturlige svingninger til at en antatt rimelig endring vil kunne observeres. Ideelt sett vil en trenge å vite den naturlige variasjonen observert ved kontinuerlige målinger. Ut fra dette datasett kan siden nødvendig observasjonsfrekvens bestemmes for en ønsket grad av endring og med bestemt sikkerhet.

Ettersom observasjoner av hydrografiske parametre er forholdsvis enkle og rimelige å foreta med høy frekvens på ulike dyp, er slike observasjoner et naturlig førstetrinn ved en design av et måleprogram hvor det ikke foreligger hyppige observasjoner. Imidlertid er det ikke sikkert at variasjonen i andre relevante variabler er de samme som for tettheten, da andre faktorer en vannbevegelsene også påvirker variabiliteten.

Daglige målinger har vi i dag på enkelte fyrstasjoner der det måles overflatetemperatur, men også på Havforskningsinstituttets stasjon i Flødevigen der temperatur og tetthet måles på 1, 19 og 75 meters dyp. Men selv med denne høye oppløsning i tid er det vanskelig å overvåke større havområder med kun slike stasjoner. I del B viste modellberegningene at i tillegg til at en stor komponent av variansen er høyfrekvent, er dekorrelasjonsradiusen (med $r=0.70$) på 5 meters dyp inne ved kysten kun 10 km, det vil si at målinger gjelder der det måles og ikke særlig langt unna. Forholdene et kort stykke ut fra kysten kan være ganske annerledes enn på kyststasjonen.

For de løste næringssaltene anbefaler ICES og JAMP en konsentrasjon av observasjoner til vinterperioden, dvs. før første våroppblomstring. Ut fra observasjoner fra kystovervåkingsprogrammet skulle perioden oktober til januar gi de beste resultater, men en slik strategi ville ikke få med seg de tilførsler som er årsvariable, som f.eks. avrenning fra landbruket via elvene. For den norske sørlandskysten har også observasjonene vist at langtransport av næringsrikt vann fra f.eks. Tyskebukta krever observasjoner i mars- april i tillegg til lokale episoder (Magnusson og Nygaard, 1996, Pedersen *et al.*, 1996). For å analysere på eventuelle utviklinger i overflatevann-

masser vil derfor en oppdeling av observasjoner i sesonger være gunstig, og tillike en høyere frekvens en nåværende vinterstid. Men dette avhenger igjen med hvilken utsagnskraft en ønsker å avsløre en eventuell forandring og hvor stor den skal være. Forslag til analyse av tidsserier ut fra dette aspekt er kommet fra ICES (1996). Imidlertid er ikke analyser av enkeltvariable nødvendigvis tilstrekkelig ettersom også relasjoner mellom de ulike næringssaltene har interesse (N/P-forhold etc.). Her er variasjonen mindre, enn forholdet mellom løste næringsalter i tider av året blir uinteressant som følge av at konsentrasjonen ligger på eller under deteksjonsgrensen. For tot-N og tot-P er variasjonen over året mindre og her er det mulig å sammenligne hele år. Dette gjelder også for partikulært materiale.

På tross av de ovenforstående betraktninger ser det ut til at målingene av næringsalter på Torungen med 14 dagers oppløsning så langt ser ut til å treffe brukbart (del B). På kort tidsskala, fra dag til dag, kan korrelasjon mellom saltholdighet og næringsalter benyttes til å interpolere næringssaltverdier og redusere antall næringssaltmålinger.

Da de fleste eksisterende overvåkingsprogrammer opererer med faste stasjoner i basisprogrammene og det her også foreligger lange historiske serier, er det naturlig å beholde slike stasjoner som ryggraden også i framtidige overvåkingsprogrammer. Valg av variable (ambisjonsnivå), plassering av og antall stasjoner, observasjonsdyp og observasjonsfrekvens er viktig. Observasjonsfrekvensen kan med fordel økes i de øvre vannmasser til ca. 1 gang pr. uke, mens nåværende observasjonsfrekvens i de dypere vannlag bør være tilstrekkelig. Det må vurderes å redusere antall stasjoner til fordel for høyere intensitet på noen av dem. Det finnes i dag ikke objektive kriterier for valg av stasjoner for langtidsovervåking. Forekomsten av eldre observasjoner bør derfor være avgjørende.

C.4. Kontinuerlige målinger fra bøyer

I de nylig gjennomførte evalueringene av eutrofitilstanden i Oslofjorden og kystvannmassene fra Oslofjorden til Stad (Anon., 1997) er det lagt avgjørende vekt på forholdene i de frie vannmassene. Et fremtredende trekk er beskrivelsen av den høye variabiliteten i tid og rom i disse vannmassene. Et øyeblikksbilde av strømforholdene vil for eksempel vise en tilnærmet kaotisk situasjon med virvler, fronter og områder med sterke strømmer. På et gitt sted vil derfor variasjonene i nærmest alle parametre som knyttes til eutrofiering være store på en kort tidsskala. I tillegg kommer at de kjemisk-biologiske prosessene, som primærproduksjon, artssammensetning av algesamfunnet, forbruk av næringsalter, oksygenkonsentrasjon og andre forhold er dynamiske, og viktige prosesser gjennomløper en syklus i løpet av korte tidsintervall. En klassisk våroppblomstring fra initialfasen til maksimum og videre til minimumsfasen kan for eksempel ha et forløp på mindre enn en måned, mens andre oppblomstringer kan ha en enda kortere varighet. Lavfrekvente målinger vil derfor i de aller fleste tilfeller ikke kunne gi en korrekt beskrivelse av varighet, tidspunkt og mengdeforhold gjennom en slik syklus.

Det foreligger høyfrekvente observasjoner fra ulike dyp av tettheten (temperatur og saltholdighet, 1 observasjon hver 10. minutt) foretatt med strømmåler utenfor Torungen og Jomfruland (Stigebrandt *et al.*, 1995). Disse seriene ble analysert for å kunne beskrive tetthetsfeltets variasjon ved sørlandskysten, spesielt fordelingen på ulike frekvenser. Formålet med analysen var å danne grunnlag for modellering av dypvannsfornyelse i terskelfjorder langs kyststrekningen. Måleserien var på ca. 1 år og dekket dypene 5 -100 meter. Den høyfrekvente tetthetsserien fra Torungen ble reanalysert i del B og variabiliteten sammenlignet med den i data fra de nærliggende stasjoner 201 (kystovervåkingsstasjon Arendal 2) og 205 (Arendal 3). Nær overflaten er

mye av variabiliteten på frekvenser som ikke løses opp av månedlige observasjoner, 70% av variasjonen ligger i 1-7 dagers området. Dette indikerer at dersom det er behov for realistiske ukkesmidler for de øverste 100 meter inne ved kysten bør en måle med 1-2 dagers mellomrom. Bidraget til variansen var liten og begrenset til de øverste 50 meterne på tidskalaer fra 1 time til 1 døgn. På tidsintervaller fra 1 døgn til 1 uke ble bidragene til variansen noe større og påvirket også et noe tykkere vannlag, men variansen på tidsskalaen 1- 4 uker hadde samme relative betydning i alle vannlag (0-100m). Variansen fra ca. 30 meters dyp og nedover skyldes således for en stor del svingninger med perioder lengre enn ca. 1 måned. En generell regel i denne sammenheng er at dersom variabelen en observerer har stor amplitude på korttidsvariasjonen så må det måles ofte.

For eutrofiovervåkings-formål vil kontinuerlige målinger ved hjelp av bøye være en godt egnet metode for å registrere variasjoner i vannmassene. I og med at effektene av stor næringstilførsel først merkes i de frie vannmassene, og først i overflatelaget, vil en multisensor-bøye være en god plattform å registrere variasjoner i vannmassene som skyldes eutrofiering.

SEAWATCH-bøya registrerer algemengde ved hjelp av OptiSense-instrumentet. Instrumentet utvikles nå for måling av *in vivo* fluorescens som er en internasjonal standardmetode for måling av algebiomasse, og en mer presis metode enn lyssvekning. OptiSense-instrumentet er i stand til å gi en god beskrivelse av forløpet av en oppblomstring, og det kan vise forskjeller mellom forskjellige bøyeposisjoner. Forsøk som er gjennomført på laboratorieskala, har vist at det vil være mulig å skille mellom hovedgruppene av planktonalger (Johnsen *et al.*, 1994). Videre utvikling for norske forhold av algoritmer for beregning av primærproduksjon basert på klorofyll-konsentrasjon, PAR og sprangsjiktdyp (o.a.) gir et potensiale for kontinuerlige data for primærproduksjon på bøyeposisjonene.

SEAWATCH-bøya registrerer oksygenmetningen i overflatelaget, som er en god indikator på fotosyntese aktiviteten. Siden oksygenproduksjonen varierer med lysforholdene, spesielt dag-natt-effekten, vil de kontinuerlige målingene gi grunnlag for å beregne størrelsen av oksygenproduksjonen i den lyse perioden av døgnet. Fra forskerhold er det vist interesse for å bruke dette som grunnlag for å beregne primærproduksjonen, som er en parameter som svært ofte trekkes inn i diskusjonen om eutrofigrad. Det er et potensiale i kontinuerlige målinger av oksygentilstanden i intermediære dyp. Bøya registrerer også strøm, saltholdighet og sjøtemperatur som sammen med parametrene ovenfor vil kunne gi en god dokumentasjon på hvilke vannmasser som eksponerer bøyeposisjonen.

De automatiske analysatorene for næringssalter (hhv. ortofosfat og nitrat+nitritt) på SEAWATCH-bøya kan gi næringssaltdata med god tidsoppløsning (f.eks. 4 ganger pr. døgn). Dette gir et potensiale for også å kunne beregne næringssalttilførselen til overflatelaget under oppvelings-situasjoner, en faktor som hittil har vært vanskelig å kvantifisere.

En bøyeposisjon representerer et fast målepunkt og viser en romlig fordeling i vertikalen i den grad sensorer er plassert fra overflaten og nedover i vannmassen. Standard sensorer som temperatur og konduktivitet vil gi vertikalfordelingen for disse variable og avledede parametre som saltholdighet og tetthet ($\sigma-t$). Høyfrekvente målinger gir likevel en indikasjon på horisontal variabilitet i åpne kystområder. For eksempel vil bøyeposisjonen utenfor Torungen, som er lokalisert i Kyststrømmen, eksponeres av vannmasser som passerer med en fart på gjennomsnittlig omtrent 25 km i døgnet, og med en målefrekvens på én måling pr. time vil det tilsvare ett målepunkt pr. kilometer i Kyststrømmen. Dette har gjort det mulig i noen tilfeller ved oppblomstringer av dinoflagellater, som oftest opptrer flakvis, å estimere størrelsen av fla-

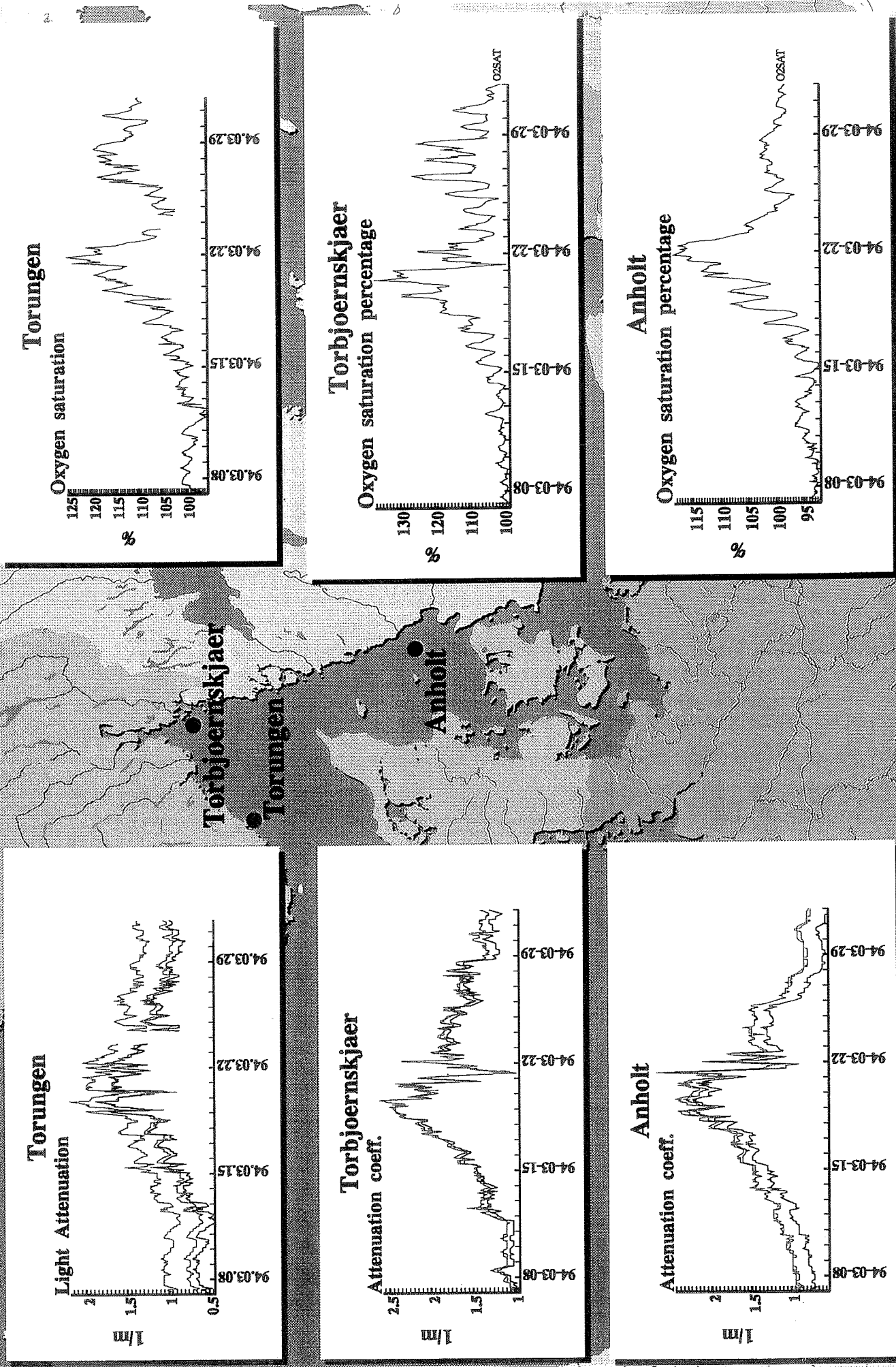
kene og beregne når fronter når fram til bestemte posisjoner nedstrøms. På andre posisjoner der strømforholdene er mer variable, vil målingene av strømretning og strømhastighet gi en god indikasjon på opprinnelsen til vannmassene i en horisontal fordeling, som vist i Figur B.2.24 fra Torbjørnshjær. Flere bøyer organisert i et nettverk kan brukes til å registrere regionale forskjeller og episoder. Figur C.4.1 viser forløpet av våroppblomstringen i 1994 henholdsvis oppstrøms (Anholt) og nedstrøms (Torungen) for ytre Oslofjord (Torbjørnshjær).

En ny type bøyebasert teknologi som er under utvikling (T. Gytte, Havforskningsinstituttet) kan ha et stort potensiale på sikt. Det dreier seg om et system for varsling, en alarm som utløses når spesielle miljøsituasjoner oppstår. Det er ikke snakk om kontinuerlige målinger (og hører derfor bare delvis hjemme i dette kapitlet, men mer som en røykvarsler: Alltid på vakt, men sender ikke data før det trengs. I Figur C.4.2 vises en prinsippskisse av systemet. Hovedkomponentene i denne undervannsbøyen er et kontrollerende måleinstrument (KM) og en eller flere "budbringerkuler" i glass med tilhørende utløsere. Så lenge alt er normalt er det kun KM som er aktivt (ingen dataoverføring). Når KM måler en overskredet grense skjer følgende:

1. KM laster kopi av måling inn i nærmeste budbringers minne via optisk sender / mottaker.
2. KM sender strøm til korrosjonssikring.
3. Sikring ryker og utløser åpnes.
4. Budbringer frigjøres og stiger opp til overflaten
5. Budbringer sender kopi av måling til ARGOS.
6. Systemer varsles om den oppståtte miljøsituasjon

I figuren er radioaktivitet brukt som eksempel, men systemet er ikke begrenset til en bestemt type sensor og vil kunne ha en rekke ulike anvendelsesområder også i eutrofisammenheng. Undervannsbøyen kan monteres på alle dyp slik at bølgesonen kan unngås og faren for møte med fartøy og fiskeredskaper reduseres. Det er ingen kabelforbindelser. En kan bygge ut til et målesystem for vanskelig tilgjengelige havområder. Slike systemer er billigere enn kontinuerlig overvåking. Dyre måleinstrumenter må ikke flyttes på og tas ut av drift for dataavlesning, kun de rimelige budbringerne.

Flere av de viktigste eutrofirelevante parametrene har en stor del av variabiliteten på så høye frekvenser at den ikke fanges opp av den observasjonsfrekvens som er praktisk mulig med tradisjonelle målemetoder. Med den frekvensen en automatiske bøye opererer på vil en derimot få med den vesentlige del av totalvariabiliteten. En multisensor-bøye, f. eks. SEAWATCH, vil være godt egnet for å registrere variasjoner i vannmassene nær bøyen som skyldes eutrofiering. Den store romlige variabiliteten på tvers av den dominerende strømretningen i Skagerrak, selv på forholdsvis korte avstander, gjør at måleverdiene fra en enkelt bøye kun er representative for et lite område. Det vil være nødvendig med mange bøyer for å få et bra bilde av variabiliteten over hele området. Med dagens kostnadsnivå kan bøyer anbefales til måling i streder, enkelte fjorder og ellers i situasjoner der enkeltbøyer er tilstrekkelig, mens det er vanskelig å tilrå overvåking av større, åpne områder med denne teknologien alene.



Figur C.4.1. Lyssvekning (til venstre) og oksygenmetning (til høyre) under våroppblomstringen i 1994 ved Anholt, Torungen og Torbjørnskjær.

C.5. Oksygenforhold i terskelbassenger

Terskelbassengene langs norskekysten fungerer som sedimentfeller for partikulært organisk stoff. Dette organiske stoffet kommer fra flere kilder, hvorav:

- direkte utslipp fra land
- marint plankton produsert på grunnlag av lokale næringssalttilførsler
- marint plankton produsert på grunnlag av regionale næringssalttilførsler, hvorav en del produseres i terskelbassenget og en del importeres gjennom utveksling med kystvannet

Tilstanden i bassengvannet i terskelbassengene kan dermed gi et integrert bilde av virkning og utvikling for bl.a. disse tre bidragene til organisk stoff - og dermed for eutrofitilstanden både lokalt og regionalt. Dette er vist for terskelbassengene på sørlandskysten, senest ved Anon. (1997).

Formål

Formålet med overvåkingen vil være å bruke utviklingen i organisk belastning på bassengvannet i terskelfjorder som metode i overvåking av eutrofitilstand på den aktuelle kyststrekningen.

En slik overvåking kan gjøres både med biologiske og vannkjemiske metoder. I lys av senere tids erfaring (Anon., 1997) ansees direkte overvåking av oksygenforholdene som mest interessant. De mest aktuelle parametrene vil da være:

- oksygenkonsentrasjon
- oksygenforbruk
- oksygenminimum

I tillegg kommer "støtteparametre" som temperatur, saltholdighet og eventuelt hydrogen sulfid. Parametrene omtales nærmere i etterfølgende kapittel.

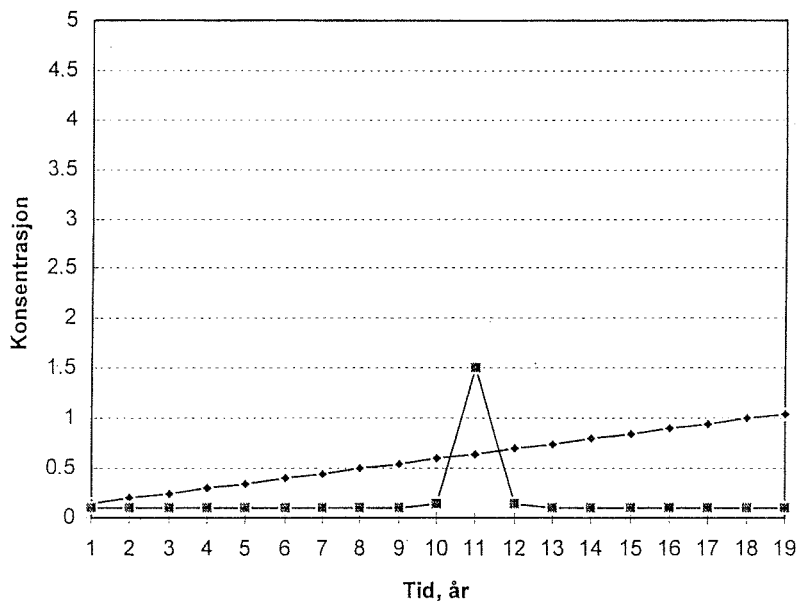
Metodikk

Alle de forannevnte parametrene vil variere over året, og ofte(st) fra år til år. Vår metodikkdiskusjon er rettet mot overvåking av en svak - moderat langsiktig utvikling, og ikke mot påvisning av en brå, stor og kanskje kortvarig episode (Figur C.5.1). Oppgaven blir dermed å planlegge et overvåkingsprogram hvor man vil kunne påvise en eventuell gradvis utvikling på en bakgrunn av store naturlige variasjoner. For å kunne gjøre dette på en rasjonell måte, og for å kunne ha rimelig klare forventninger til hvilke endringer man vil kunne påvise, må programmet bygges på et statistisk grunnlag.

De statistiske vurderingene må som minimum ta utgangspunkt i svarene på følgende to spørsmål:

1. Hvor store endringer i konsentrasjon/forbruk er det viktig å kunne påvise?

Svaret bør kunne gis på grunnlag av erfaring og forventninger, samt ut fra hvilke nivåer det vil være viktig å ha et "tidlig varsel" om (f.eks. på bakgrunn av mulige biologiske effekter). For prøvetakingsprogrammet (antall prøver pr. år, antall år) vil det være avgjørende om man sikter mot å påvise endringer av størrelsesorden 5% pr. år eller om man sier seg fornøyd med et program hvor målet er å kunne påvise en endring av 25% pr. år.



Figur C.5.1. To mønster for tidsutvikling (etter Fryer og Nicholson, 1993)

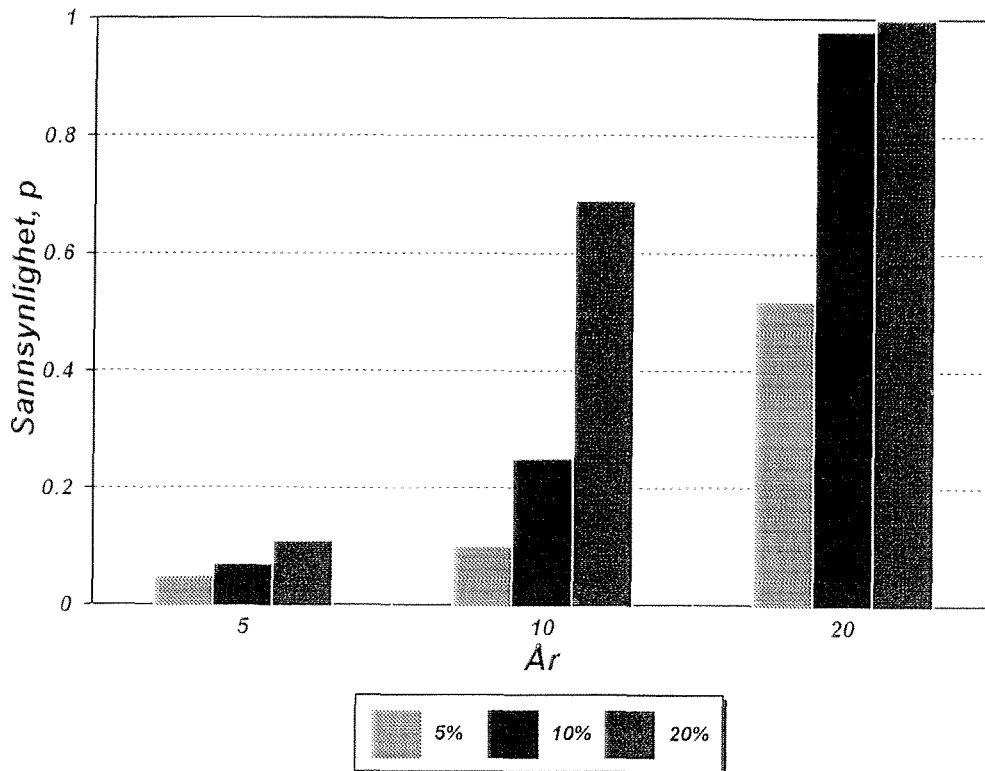
2. Hvilken statistisk sannsynlighet vil man ha for at konklusjonen er riktig?

Det kreves en helt annen innsats mht. planlegging (forventet varians, antall prøver pr. år, tidspunkt for prøveinnsamling, antall år mm.) om man sikter mot 99% sannsynlighet enn om man sier seg tilfreds med 80% sannsynlighet. Figur C.5.2 illustrerer hvordan resultatene av en slik analyse kan framstilles, som støtte for planleggingen av programmet og for beregning av kostnader. Man bør merke seg at selv en endring av 5% pr. år er betydelig - dvs. en dobling av konsentrasjonen over 20 år. For mange aktuelle scenarier kan man forvente langt mindre endringer, kanskje 1-2% pr. år og risikoen for å iverksette et overvåkingsprogram uten utsagnskraft mht. langsiktig tidsutvikling er åpenbar.

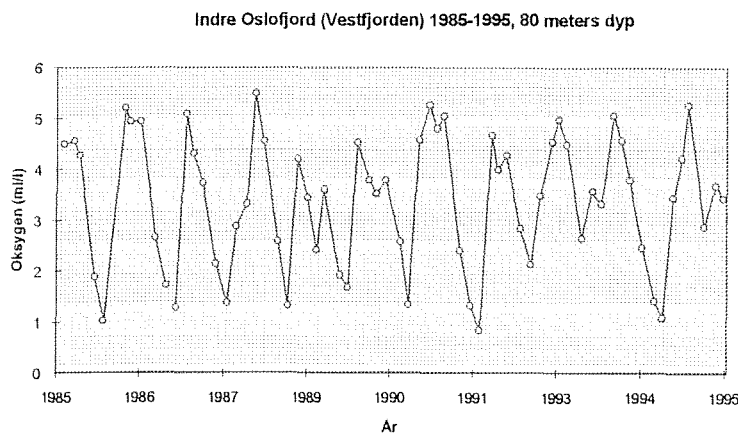
Hvis antall prøver pr. år økes, øker også utsagnskraften mht. påvisning av endringer. Hvis man kan gjennomføre en prøvetaking som gir liten varians, vil også det bidra til å forbedre utsagnskraften. Oksygenkonsentrasjonen i terskelbassenger vil i varierende grad gjennomgå sykluser: relativt høye konsentrasjoner like etter en utskiftning av bassengvannet, fallende mot lave konsentrasjoner mot slutten av stagnasjonsperioden, for så å øke igjen når utskiftning(e) av bassengvannet begynner. Dette er illustrert i Figur C.5.3, som også viser at variansen blir større om man betrakter en hel årssyklus enn om man betrakter en del av den.

Når de to foranstående spørsmålene er besvart, er grunnen lagt for å planlegge et program med rimelig klare forventninger til utsagnskraften:

- hvor mange år må undersøkelsene foregå
- antall prøver pr. år
- hvilke endringer man forventer å kunne påvise



Figur C.5.2. Sannsynligheten for å kunne påvise en lineær trend med henholdsvis 5%, 10% og 20% endring pr. år. 25 prøver pr. år. Eksemplet gjelder bly i organisk materiale (hentet fra Fryer og Nicholson, 1993).



Figur C.5.3. Oksygenkonsentrasjon i 80 m dyp i Vestfjorden utenfor Oslo i tidsrommet 1985-95. Fjorden har årlige dypvannsfornyelser i varierende omfang (J. Magnusson pers. medd.)

Parametre, prøvetaking og statistisk analyse

Hovedparameterne vil være de klassiske: oksygenkonsentrasjon, temperatur, saltholdighet og eventuelt hydrogensulfid. Disse parameterne bør måles både i terskelbassenget og i kystvannet.

Som støtte for en vurdering av tidsutviklingen bør man dertil ha opplysninger om størrelsen av tilførselene av næringssalter og organisk stoff til terskelbassenget, og utviklingen mht. disse.

Erfaringer fra terskelbassengene på sørlandskysten (Aure *et al.*, 1997; Anon., 1997) tilsier at prøvetakingen bør rettes inn mot å beskrive
 oksygenforbruk i stagnasjonsperioden
 oksygenminimum

Utviklingen vil oftest variere fra år til år, men i et langsiktig overvåkingsprogram vil månedlige prøver i det aktuelle tidsrommet være tilstrekkelig. Et slikt målrettet program forutsetter dermed en "innkjøringsperiode" før det optimaliseres, eller kunnskap om oksygenforholdene fra forutgående undersøkelser.

For beskrivelse av en (tilnærmet) lineær trend er regresjonsanalyser den vanlige metoden for statistisk analyse.

En hovedoppgave for overvåkingsprogrammet vil være å kunne påvise en eventuell gradvis utvikling på en bakgrunn av store naturlige variasjoner. For å kunne gjøre dette på en rasjonell måte, og for å kunne ha rimelig klare forventninger til hvilke endringer man vil kunne påvise, må programmet bygges på et statistisk grunnlag. De statistiske vurderingene må som minimum ta utgangspunkt i svarene på følgende to spørsmål: 1. Hvor store endringer i konsentrasjon/forbruk er det viktig å kunne påvise? 2. Hvilken statistisk sannsynlighet vil man ha for at konklusjonen er riktig?

C.6. Satellittfjernmåling

Bakgrunn

Satellittfjernmåling er en teknikk som kun i begrenset omfang er benyttet i rutinemessig overvåking av kyst- og fjordområder. I de prosjekter hvor metoden derimot er blitt anvendt har det fremkommet informasjon som sterkt har bidratt til en bedre forståelsen av den romlige og tidsmessige variabilitet i overflatevannmassene i enkelte kystnære områder.

Metoden har som alle andre sterke og svake sider, men når slik ny teknologi skal tas i bruk blir det lett en overfokusering på de negative med metoden og man har ikke alltid fått frem metodens fordeler. Man har i for stor grad tenkt for tradisjonelt når man skal bruke dataene og altfor ofte har man stoppet opp med ulike former for bildeinformasjon, og man har ikke fått omsatt informasjonsinnholdet i bildene til nyttig miljøinformasjon. Den store arealdekningen som satellittdata kan gi informasjon fra må benyttes slik at de kan bidra med ny informasjon og kunnskaper som kan inngå i overvåkingen. Dette betyr at man må komme et skritt videre fra rene bildeprodukter og få frem pålitelig statistisk tallmateriale.

NIVA har vurdert slike metoder gjennom flere år og benyttet satellittfjernmåling i overvåkingsprosjekter der dette har vært relevant som f.eks. ytre Oslofjordundersøkelsene i 1988-89 (Sørensen og Lindell, 1990) og i Hvaler/Singlefjordundersøkelsene (Magnusson og Sørensen, 1996). Her er satellittdata fra jordressurssatellitten Landsat og værsatellitten NOAA benyttet til kartlegging av partiklers konsentrasjoner og fordeling i overflatevannmasser, samt til verifikasjon av modeller. NIVA er også involvert i arbeidet med slike satellittsensorer gjennom arbeidet i ESA hvor de deltar i en gruppe for utvikling av den nye MERIS sensoren ombord i ENVISAT-1 satellitten. Gjennom dette arbeidet får de også førstehånds kunnskaper om "state of the art" på feltet, og som legges til grunn når anvendelsen innen bl.a. kystovervåkingen nå skal vurderes.

De parameterne som man kan måle med dagens satellittsensorer er begrenset til bestemmelser av partikkelinnhold og temperatur. Bortsett fra perioden 1978-1986 hvor sensoren Coastal Zone Colour Scanner (CZCS) ombord i Nimbus-7-satellitten var operativ har dagens satellitter ikke kanaler som er utviklet for måling av f.eks. planteplanktonets klorofyll-*a*. Denne sensoren egnet seg heller ikke for målinger av klorofyll-*a* i kystvann fordi plassering av de optiske kanalene og beregningsalgoritimene ikke tok hensyn til at andre optiske komponenter var tilstede i vannmassene, som er vanlig i kystvann.

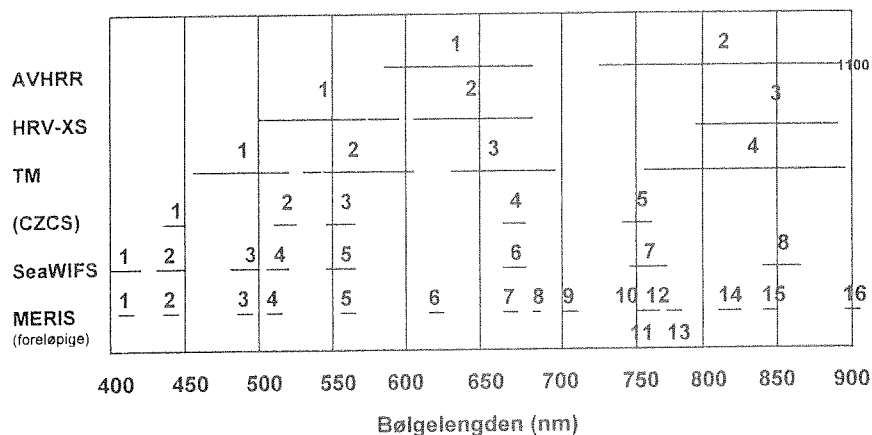
De neste generasjoners satellitter som f.eks. SeaWiFS som nå er klar for oppskyting eller kanskje i enda større grad MERIS er forbedret m.h.p. dette med mer egnede optiske kanaler for kystvann. Disse nye planlagte sensorene vil i de nærmeste ti-år gi oss unike "ocean color" data fra våre hav- og kyst-områder. Slike datasett vil bety mye for å forstå koblingen mellom fysiske og biologiske prosesser i verdenshavene. De primære anvendelsene for data fra slike satellittsensorer blir miljøovervåking (planteplankton, primærproduksjon, algeoppblomstringer, forurensning), ressurskartlegging m.h.p. fisk og biogeokjemisk forskning i havet. Man vil få muligheter til storskalakartlegging av klorofyll-*a* og primærproduksjonen i havet. Det knytter seg derfor stor interesse til den nye sensoren siden dagens sensorer ikke kan bestemme klorofyll-*a* med særlig stor presisjon, og de nye sensorene vil være bedre egnet for målinger av optiske variable også i kystvann. For kartlegging av andre vannkvalitetsvariable som suspendert materiale (turbiditet og siktedyp) har man frem til i dag benyttet jordressurssatellitter som Landsat og SPOT, og værsatellittene NOAA. Siden de nye sensorene er tilpasset signalet fra havet vil de også gi bedre bestemmelser av også andre vannkvalitetsvariable enn klorofyll-*a*. Doerffer *et al.* (1995) har omtalt MERIS sine potensialer for bruk i kystvann.

Optisk satellittfjernmåling

De nye satellittsensorene som vil komme den nærmeste tiden vil ha mange optiske kanaler i den synlige delen av spekteret som f.eks. SeaWiFS med 8 optiske kanaler hvorav 4 kanaler dekker de samme som CZCS-sensoren. MERIS-sensoren ombord i den planlagte ENVISAT-1 satellitten vil ha 15 kanaler og vil ha et enda større potensiale for målinger i kystvann. Dette er også den første satellitten som vil ha en kanal som skal måle klorofyllfluoresenssignalet fra planteplankton, og det knytter seg derfor stor interesse til hvilke muligheter dette signalet kan gi for klorofyll-*a* bestemmelser og i primærproduksjonsstudier både i havet og de nære kystvann.

I Figur C.6.1 er det laget en oversikt over plasseringen til de optiske kanalen i det synlige delen av det elektromagnetiske spektrum hos noe utvalgte satellittsensorer. De nye sensorene på

SeaSTAR-satellitten (SeaWIFS) og ENVISAT-1 (MERIS) vil derfor ha en betydelig bedring av spektral-informasjonen sammenlignet med sensorene på dagens jordressursatellitter som SPOT (HRV-XS) og Landsat (TM). Figuren viser for MERIS de 16 kanaler som for tiden er under vurdering, men bare 15 av disse vil bli valgt ut som de endelige kanalene. Bredden på kanalene varierer fra 5-10 nm for enkelte kanaler hos MERIS til 20-40 nm for kanaler hos SeaWIFS. De fleste av de nye sensorene har ikke termiske kanaler, men til det kan man fortsatt benytte data fra værstatellitten NOAA, ATSR-sensoren ombord i ERS-satellitten eller den neste generasjons AATSR ombord i ENVISAT-1.



Figur C.6.1. En oversikt over plasseringen til de optiske kanalene for noen av de sensorene som man benytter i dag (AVHRR, HRV-XS, TM), den eldre CZCS-sensorene og to av neste generasjon satellittsensorer (SeaWIFS, MERIS).

Data fra AVHRR-sensoren ombord i NOAA-satellittene som i dag er operative og som gir daglige observasjoner fra våre havområder bør også kunne bidra til en øket kunnskap om geofysiske variable og prosesser fra kyst- og nære havområder forutsatt at de blir omsatt til anvendelige sluttprodukter.

I første rekke er det de termiske kanalene (SST) fra AVHRR som gir den umiddelbare geofysiske informasjonen som man kan relatere til de mer storstilte prosesser og som bør være interessant å få benyttet innen overvåkingen. Men også i de optiske kanalene (VIS og NIR) ligger det et potensiale for miljøinformasjon. Sannsynligvis vil man ikke kunne kvantifisere noen variable (partikler) med særlig stor presisjon for de store havområdene, men vi har sett fra tid til annen at det kommer frem interessante optiske signaturer som sammen med den termiske signaturen kan gi nyttig informasjon. Siden dette er en operativ sensor bør man komme i gang med å få systematisk bearbeidet dataene slik at man kan få frem opplysninger om hyppigheten og arealdekningen til ulike vannmasser i ulike regioner og studere hvordan disse ligger geografisk i forhold til de overvåkingsstasjoner man benytter. AVHRR-sensoren har en romlig oppløslighet ned mot ca 1 km, men for de trange fjordene og estuarområdene vil de mer høyoppløselige jordressursatellittene med en romlig oppløslighet på 30-120 m være bedre egnet. Sørensen *et al.* (1989) har studert informasjoninnholdet fra ulike sensorer i kystvann.

Den satellittsensoren som snart skal skytes opp og settes i operativ drift er SeaWIFS-sensoren ombord i SeaSTAR-satellitten. Dennes muligheter for bruk i langsiktig overvåking av kystvann har vært gjenstand for en utredning som endel av det Norske SeaWIFS-brukerprogram. Disse utredninger har tatt for seg hvordan man bør benytte slike data innen norsk overvåking og det er pekt på de svakheter og styrker denne type data har. Man har også påpekt hvor viktig

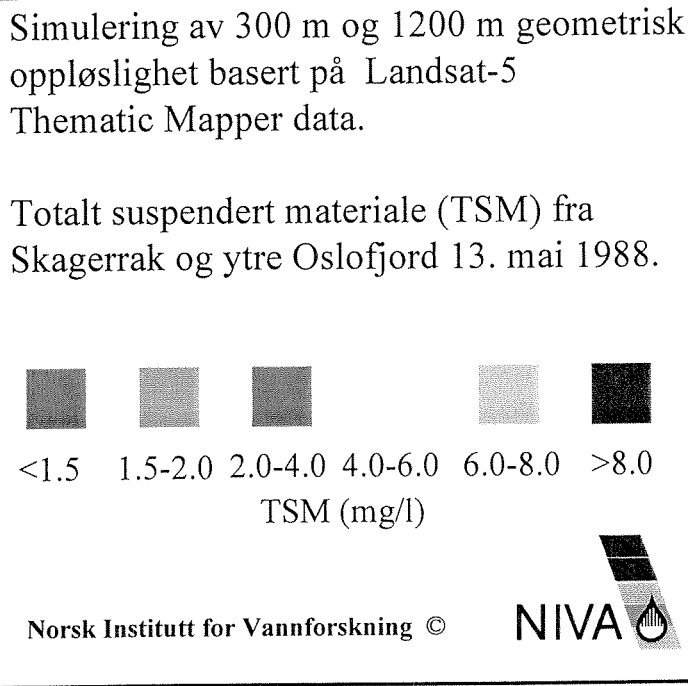
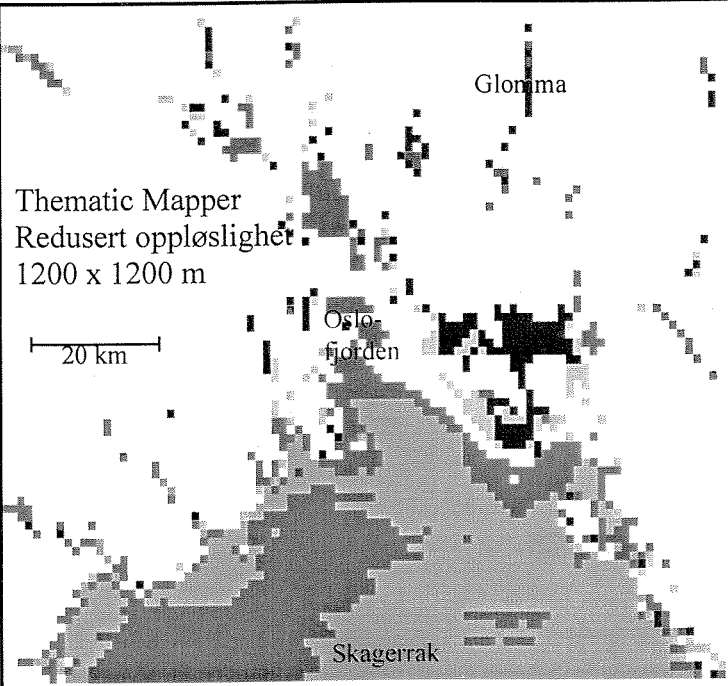
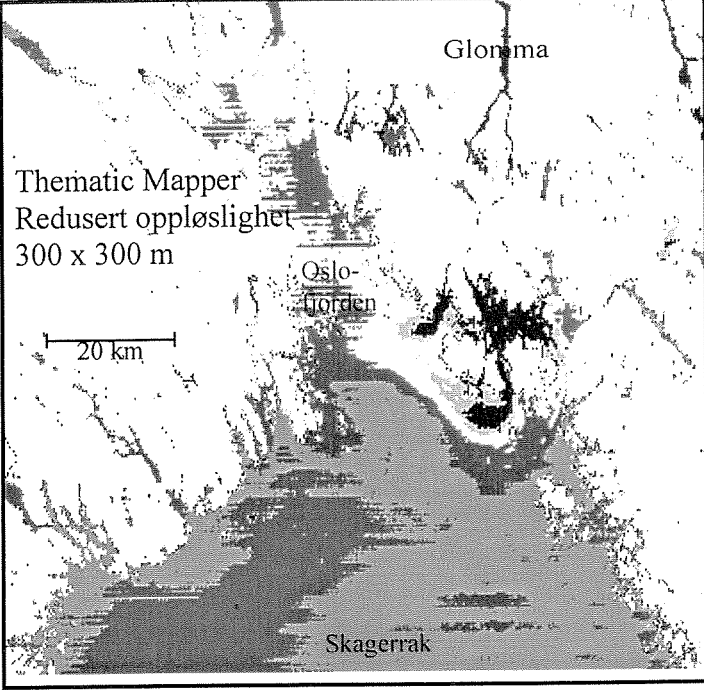
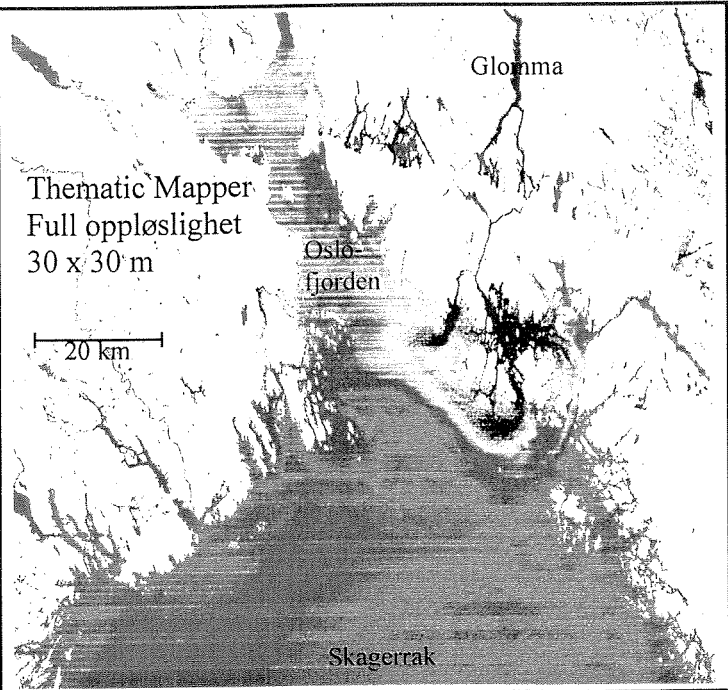
det er å kombinere data fra ulike kilder og arbeide for at overvåkingsmetoder blir tilpasset hverandre (Sørensen og Magnusson, 1995; Sørensen, 1997).

Den romlige eller geometriske oppløsligheten er også viktig for anvendelsen i kystvannsammenheng i Norge p.g.a av våre lange og trange fjorder. SeaWIFS-sensoren vil f.eks. ha en geometrisk oppløsning i nadir (rett under satellitten) på ca. 1.1 x 1.1 km og vil dekke et 2800 km bredt spor på jordoverflaten. I tillegg vil det fra havområdene tas opp globale data med en geometrisk oppløslighet på ca 4 x 4 km. MERIS vil ha en bedre romlig oppløslighet på 0.3 x 0.3 km som gjør den betydelig mer anvendelig i fjorder og de nære kystområder. Denne vil ha en sporbredde på 1150 km og vil ha en global dekning i løpet av 3 dager, men på våre breddegrader og i norske farvann (> 56 ° N) blir dekningen daglig. Som for SeaWIFS vil også MERIS ha en redusert oppløslighet (1,2 x 1,2 km) som benyttes over havområder. I Figur C.6.2 er det vist en simulering av 1200 m og 300 m romlig oppløslighet for Skagerrak og ytre Oslofjord. Dataene er basert på TM-data fra jordressursatellitten Landsat-5 og viser fordelingen av suspendert materiale.

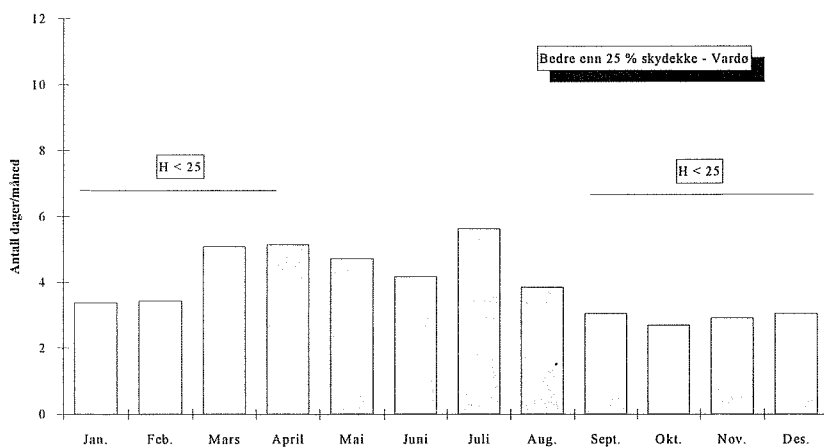
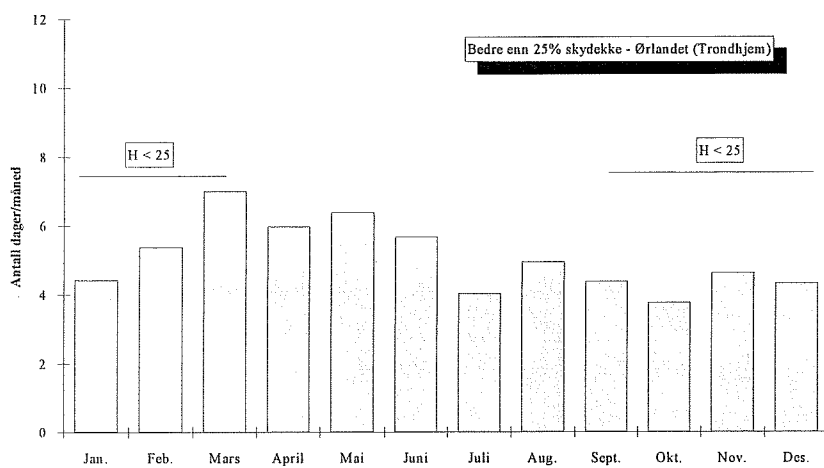
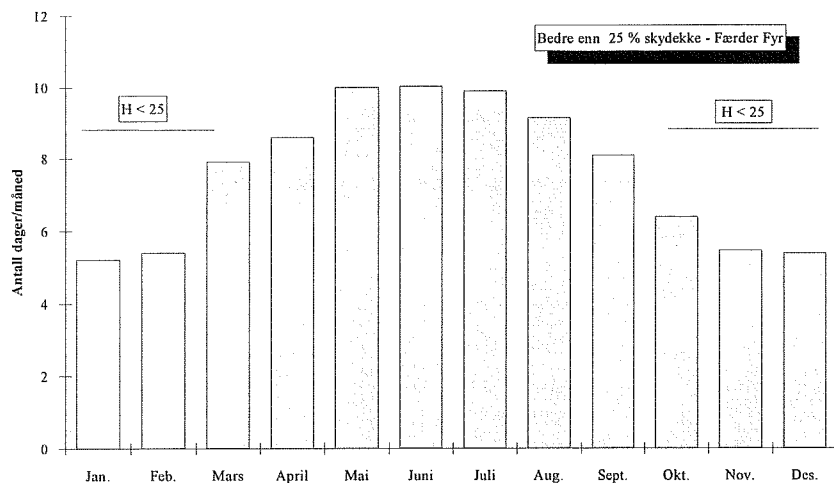
Optisk satellittfjernmåling kan bare benyttes i områder med klarvær og hvor solhøyden ikke er for lav. Dette har vært en av hovedankepunktene mot bruk av optiske data fra satellitt fordi man hevder at man får for dårlig målefrekvens. Denne påstanden må sees i lys av hva man skal benytte dataene til, med en lang tidshorison på målingene vil dette uansett være en betydelig datamengde. I en slik langsiktig overvåking må man statistisk kunne håndtere hull i dataserier. Andre tradisjonelle måleprogrammer har heller ikke kontinuerlige måleserier.

Solhøyden er en viktig faktor som påvirker sambandet mellom havets optiske egenskaper og tilbakestrålt radians til satellitten. Det er foreløpig noe usikkert hvor lav den kan være, men erfaring fra egne målinger på våre breddegrader kan tyde på at den ikke bør være vesentlig lavere enn ca. 25 grader. Hvordan dette slår ut i gode måleperioder på noen lokaliteter er vist sammen med skystatistikdata i Figur C.6.3. De nye generasjon satellitter vil foreta målinger flere ganger pr dag, men med optiske data vil frekvensen med tilnærmet skyfrie passeringer pr. måned være avgjørende for hvor ofte man vil få data, og om dette blir en tilfredstillende frekvens for bruk til overvåking. Skystatistikk fra Meteorologisk Institutt for perioden 1957-93 for noen utvalgte stasjoner er bearbeidet for vurdering av sansynlig målefrekvens. Hvis vi antar at ca. 25% skydekke eller bedre kan benyttes vil man f.eks. for nordlige delen av Skagerrak oppnå i perioden mai-juli ca. 10 målinger pr. måned og ca. 8 dager/mnd for mars, april og september. Figur C.6.3 viser hvordan dette statistisk er for Færder Fyr i Ytre Oslofjord, Ørlandet ved Trondheim og i Vardø. Periodene med solhøyder < 25° er også markert. Dette materialet er basert på et stort gjennomsnitt og man vil ha store variasjoner og for enkelte måneder vil man pga. av dårlig vær ikke få obserasjoner, men dette skjer også til tider med vanlig prøvetagning og f.eks. bølgeobservasjoner. Selv om man halverer den sansynlige målefrekvensen (pga. "sunglint" eller for høy radians rundt skyer) er den for Færder fortsatt høyere enn den frekvens man i dag benytter i f. eks. kystovervåkingsprosjektet i Skagerrak. Figur C.6.3 viser også at målefrekvensen avtar nordover i landet, dels pga skydekke, men også pga lavere solhøyder.

Et annet forhold som kan komplisere tolkningen av slike data er om spesielle klarvær- eller tilnærmet klarværsperioder gjenspeiler spesielle klimatiske forhold (høytrykk), slik at det materialet man bruker i videre analyser vil overrepresentere spesielle klimasituasjoner. Dette er forhold som må undersøkes og tas hensyn til i bearbeidingen og tolkningen av dataene.



Figur C.6.2. Satellittbildet viser en simulering av den romlige oppløsligheten man vil kunne oppnå for en 1200 og 300 m oppløslighet for satellittsensoren. Bildet er laget på basis av Landsat TM-data.



Figur C.6.3. Antall dager pr. måned med skydekke bedre enn 25% ved Færder Fyr i ytre Oslofjord (øverst), på Ørlandet ved Trondheim (i midten) og i Vardø (nederst). Basert på middel for perioden 1957-93 og observasjonstidpunkt kl 1300 normal tid. Måneder med solhøyde mindre enn 25° på samme tidspunkt er angitt.

Marin optiske forhold og vannkvalitetsvariable

Problemet med å bestemme optiske egenskaper i havets øvre vannmasser med passive fjernmålings-sensorer kan deles i en atmosfærisk og en marin del. Den atmosfæriske delen består i å finne sammenhengen mellom signalet (radiansen, L) målt ved satellitten og det signalet som forlater havoverflaten (L_{hav}). Den marine delen består i å finne sammenhengen mellom L_{hav} og en ønsket egenskap i vannet (f.eks. en vannkvalitetsvariabel). Alt dette er igjen avhengig av en rekke størrelser som bølgelengde, solhøyde, atmosfærens transmisjon, sjøtilstand og vind. (Se Sørensen *et al.*, 1993; Sørensen og Aas, 1994; Aas, 1994 og Aas og Sørensen, 1995 for en nærmere omtale).

I oseanisk vann er de optiske forholdene dominert av alger (levende og døde), mens det i kystvann finnes mer oppløst organisk materiale og andre partikler som ikke skyldes planktonalger. I våre områder som f.eks. Skagerrak, Kattegatt og den sydlige Nordsjøen har man slike vann typer, i fjernmålingssammenheng kalt type I og II (CASE I og CASE II). Det er glidende overganger mellom CASE I- og CASE II-vann, som setter store krav til beregningsalgoritmene for de variable man vil bestemme.

Det signalet som forlater havoverflaten er dybdeintegrrert (midlet) ned til ca. en attenuasjonslengde ($1/kd$) eller til det dypet hvor det er igjen ca. 10% av lyset ved overflaten. Signalet som satellitten observerer vil derfor representere ulike dyp avhengig av hvor mye uorganiske partikler, klorofyll eller oppløst materiale som er tilstede. Av den grunn kan den ikke uten videre sammenlignes med observerte data målt på standarddyp i vannmassene. Slike satellittutledede variable kan derfor ikke benyttes direkte i de samme dataserier som er bestemt gjennom tradisjonell prøvetagning, men må bearbeides og behandles for seg. Felldata må allikevel brukes for å korrigere og oppnå størst mulig presisjon på satellittdataene.

De algoritmer man så langt har utviklet for klorofyll- a er basert på forholdstall mellom ulike bølgelengder fra CZCS-sensoren. Det er to kanalkombinasjoner som blir brukt for klorofyll- a (443/550 og 520/550), mens for svekningskoeffisienten ved 490 nm, k_{490} benyttes f. eks. kanalforholdet 443/550. Se Holligan *et al.* (1989) for en nærmere gjennomgang. Disse algoritmer er utviklet for CASE I vann og nye algoritmer må utvikles for CASE II vann typer. I kystvann vil kanaler fra den grønne og røde delen av spekteret være viktigere idet signalet i blått ofte vil være svakt og sterkt preget av innholdet og variabiliteten til både oppløste stoffer og uorganiske partikler. De vannkvalitetsvariable som forventes å kunne observeres fra denne type sensorer må utgjøre en viktig faktor i vannets optiske signatur. De viktigste variablene er suspendert materiale, klorofyll- a , gulstoff (oppløst organisk materiale), siktedyp og svekningskoeffisient til nedoverrettet lys. En nærmere forklaring av sammenhengen mellom vannets optiske signatur, de ulike optiske komponenter og vannkvalitets-variable kan finnes i Sørensen *et al.* (1993) og Aas og Sørensen (1995). Mye av den utviklingen som er foretatt av algoritmer og atmosfærekorreksjoner så langt benytter endel forutsetninger som ikke gjelder for kystvann, slik at man fortsatt har noen problemer å løse. Tross dette er det mye informasjon i slike data og kombineres ulike datakilder kan man redusere problemene.

Følgende eksempel med standard dataprodukter (vannkvalitetsvariable) f.eks. for MERIS er

- Alge pigment indeks (CASE I)
- Alge pigment indeks (CASE II)
- Klorofyll fluoresens indeks
- Coccolith konsentrasjonen
- Gulstoff konsentrasjonen
- Totalt suspendert uorganisk materiale

I tillegg kommer også informasjon om nedoverrettet lys tilgjengelig for fotosyntesen (PAR), samt en rekke tilleggvariable som skal benyttes for kvalitetssikring av satellittdataene og for bruk i den videre bearbeiding av dataene frem til gode sluttprodukter. Dette blir spesielt viktig for kystvann fordi man her ofte må basere seg på lokaltilpassede algoritmer og ikke de standardproduktene som ESA vil produsere.

Anvendelsesområder for norske forhold og overvåking

Optiske satellittdata har en rekke anvendelsesområder og mange av disse er vist gjennom flere prosjekter i Norge (se tidligere referanser). Følgende områder er noen av de viktigste innen studier av de øvre vannmasser i kyst og havområder.

Planlegging

Valg av stasjonsnett
Forstudie av en region/ et område
Oppdage mistenkelige lokaliteter

Overvåking

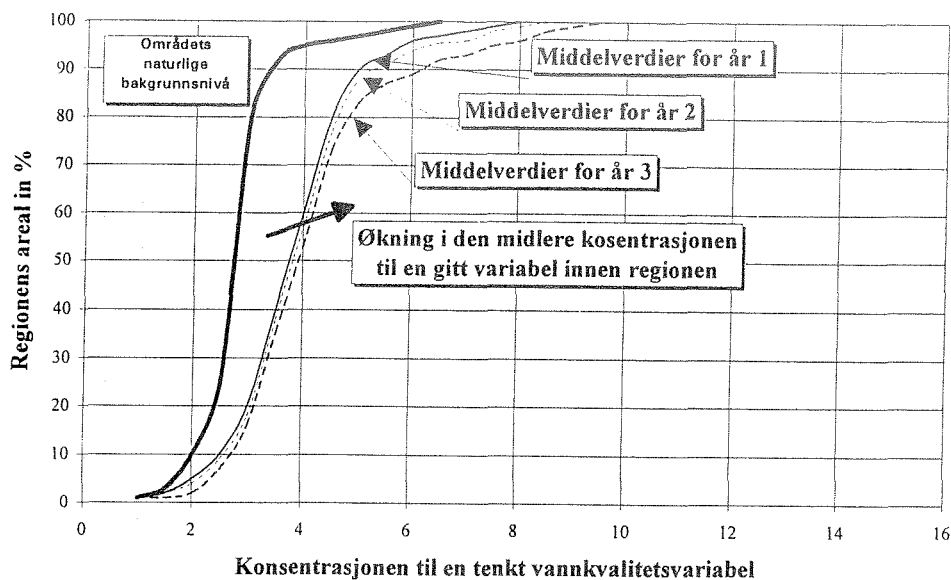
Stasjoners representativitet - hvilket areal er det som representeres
Reduksjon eller optimalisering av stasjonsnett - "er det stasjoner som er like mhp informasjon"
Erosjonstudier/partikkelbelastning til en resipient
Eutrofistudier/masseoppblomstring av alger
Bedømmelse av spredning og influensområder
Kartlegging av relativ vannkvalitet
Bedre horisontal kartlegging - flateintegret informasjon

Spesialundersøkelser

Verifisering/oppdatering av spredningsmodeller
Studier av storskalafenomener (oppvelling)
Studier av front- og blandingsområder (fremvekst av skadelige alger).

Den viktigste egenskapen som satellittdataene har og som det ikke er mulig å få frem med andre metoder er den store flateintegerte informasjonen. Det må derfor utvikles metoder for å nyttegjøre seg denne informasjonen og omsette det til tallmessig miljøinformasjon. En metode man kan benytte er å f.eks. dele opp kysten i regioner og ta ut statistisk tallinformasjon i form av arealintegerte verdier. Dette settes opp i kumulative plott for regioner og sesonger og man kan på en slik måte studere over tid hvordan et område utvikler seg. Dette er illustrert i Figur C.6.4. Man får mange målinger (datapunkter) innen en region og en slik teknikk for å fremstille data vil kunne benyttes i vurdering av et områdes utvikling over tid.

Kostnadene for slike data er ikke endelig kjent for de nye sensorene, men f.eks. for AVHRR må man for et årsabonnement av Quick-look og inntil f.eks 50 datasett (satellittscener) betale ca 50.000,-. I tillegg kommer databearbeidingen. Omfanget av dette avhenger av i hvilken grad man vil bearbeide dataene frem til sluttprodukter. Dette er en lav kostnad sett i forhold til hvilket informasjonspotensiale som ligger i dette i fremtiden.



Figur C.6.4. Illustrasjon av hvordan arealintegreerte data kombineres for en region og innen en sesong for å studere langtidsforandringer i en variabel.

Satelittfjernmåling kan i utgangspunktet gi informasjon om havoverflaten med svært god oppløsning i både rom og tid. Selv med de begrensninger som følger av skydekke og lav solhøyde er dette metodikk som har et større potensiale enn det som i dag utnyttes i overvåkingssammenheng. Spesielt vil potensialet innen kystovervåking øke betraktelig i nær framtid da sensorene på satellittene som nå klargjøres for oppskytning er konstruert slik at de gir mer og bedre informasjon om kystvann. For å få mer ut av de store informasjonsmengdene som satellittene gir er det nødvendig å ikke være tilfreds med rene bildeprodukter, men få omsatt informasjoninnholdet til pålitelig statistisk tallmateriale.

C.7. Modeller

Det er flere typer modeller som brukes i studier av eutrofiering, men her skal vi ta for oss tredimensjonale sirkulasjonsmodeller med en kjemisk-biologisk komponent. Utvikling av fysiske sirkulasjonsmodeller er kommet lengre enn utviklingen av kjemisk-biologiske modeller. Dette skyldes at fysiske modeller er basert på numeriske løsninger av kjente hydrodynamiske likninger, mens kjemisk-biologiske derimot består av løsninger av transportlikningen, som er kjent, men i tillegg løses likninger for primærproduksjon, dødelighet og nedbrytning av biologisk materiale. Dette er komplekse systemer med stor variasjon, og i disse likningene er de derfor stor usikkerhet i parameterne. Ved å fokusere på de vesentlige prosessene og bruke parametre fra eksperimenter har imidlertid denne type modeller oppnådd betydelig suksess.

Modeller gjør det mulig å beregne transport av f.eks. næringssalter inn i et område over tid på en rimelig måte, og nøyaktigheten er tilfredsstillende. Med modeller kan dette gjøres for lange perioder, mens presise målinger er meget kostbare og i områder med stor fiskeriaktivitet kan det være vanskelig å gjennomføre selv for begrensede perioder. Beregninger av volumtransport foretatt med modell kan enten kombineres med modellberegnete konsentrasjoner eller, hvis modellen ikke er i stand til å gi pålitelige konsentrasjoner, kan modelltransporter kombineres med målinger av konsentrasjoner. Modellen kan også benyttes til å spore kilder til observert forurensning, og for et par dager fram i tid (avhengig av tidshorisont på vindvarsel) kan modellen gi prognoser for hvor det vil befinne seg. Den kjemisk-biologiske delen av modellen kan over samme tidshorisont gi informasjon om hvor stor del av f.eks. næringssalter som når fram i denne form og hvor mye som er brukt opp av primærproduksjonen på veien. I eutrofierings-

sammenheng er det viktig å huske på at en stor del av næringssalttilførselen er naturlig og følger innstrømningen av Atlantisk vann til Nordsjøen og videre til Skagerrak. Denne innstrømningen er inkludert i modellen. Modellen er også et velegnet verktøy til å studere effekten av reduksjoner i antropogene næringssalttilførsler både lokalt og regionalt til den sørlige Nordsjøen.

Tredimensjonale sirkulasjonsmodeller med en kjemisk-biologisk komponent er utviklet slik at de med stor nytte kan benyttes i et overvåkingsprogram for Skagerrak. Men videre utvikling er nødvendig og vil gi forbedrete resultater i fremtiden. Kjemisk-biologiske modeller er i liten grad benyttet i operasjonelle overvåkingsprogram i dag, men både for å opparbeide erfaring og for at utviklingen skal tilpasses denne type anvendelse, er det viktig at modellene blir aktivt brukt.

C.8. Kombinasjon

I de foregående kapitler har vi sett på en rekke metoder som brukes eller kan brukes til overvåking av eutrofirelevante parametre. Det har kommet klart fram at disse metodene spenner vidt mhp. avgjørende egenskaper som hvilke parametre som måles, målehyppighet, romlig dekning og datakvalitet. De store forskjeller på sterke og svake sider ved de ulike metoder tilsier at det er mye å hente på å utnytte det beste ved flere av dem ved en tett koordinering. Hvor viktig det er å kombinere data fra forskjellige kilder og arbeide for at overvåkingsmetoder blir tilpasset hverandre blir påpekt bl. a. av Sørensen og Magnusson (1995) og Sørensen (1997).

Faste stasjoner har en sentral posisjon i de fleste eksisterende overvåkingsprogrammer og det eksisterer allerede til dels lange tidsserier, i hvert fall på hydrografi. Kontinuiteten i slike lange tidsserier er et sentralt grunnlag for overvåking av langtidsutvikling. Oppløsningen i tid og rom setter likevel begrensninger for utbyttet av bruk av faste stasjoner isolert, i hvert fall ved overvåking av bestemte hendelser, episoder som utvikler seg hurtig. I denne rapporten har vi vist at det i de øvre lag typisk er stor variabilitet selv på relativt liten romlig skala. Sammenhengen mellom observasjoner av hydrografiske parametre og næringssalter på kystnære stasjoner og forholdene lenger ute er liten. For å kunne følge en hurtig utvikling med tradisjonelle metoder vil det beste være en hel områdedekning og benytte integrerte verdier. Resultatene fra kyststasjoner (hvis målingene tas med rimelig høy frekvens, en uke til noen få ukers mellomrom) supplerer områdedekkende tokt og faste snitt.

Moderne, høyteknologiske metoder åpner for nye muligheter. En operasjonell numerisk modell initiert med data fra et områdedekkende tokt og med kontinuerlig input av oppdaterte vinddata vil gi mulighet for å følge med på utviklingen i Skagerrak f. eks. om våren. Samtidige målinger langs kysten kan brukes til å styre modellen ved avanserte interpolasjonsmetoder, dataassimilering. Mens fysiske modeller tar utgangspunkt i et etablert sett av ligninger og har vært utprøvd og videreutviklet gjennom mange år er situasjonen annerledes når også biologiske prosesser skal håndteres. Modellverdier på næringssalter er derfor fortsatt beheftet med vesentlig større usikkerheter enn på hydrografiske variable. Kombinasjon av modellerte volumtransporter med målte næringssalter bringer oss nærmere sanne verdier. Sporadiske målinger kan også korrigeres ved modell.

Satellitdata har lavere presisjon sammenlignet med tradisjonelle målemetoder for vannkvalitetsvariable, men de har sin styrke i den store arealdekning som gjør at dataene gir verdifulle bidrag til bruk innen den langsiktige overvåking av vannkvalitet (Sørensen og Magnusson, 1995). Den store arealdekningen som satellittdata kan gi informasjon fra, må benyttes slik at de kan bidra med ny informasjon og kunnskaper som kan inngå i overvåkingen. For å benytte den flateintegrerte informasjonen må man komme et skritt videre fra rene bildeprodukter og få frem pålitelig statistisk tallmateriale.

Selv om den neste generasjon satellitter vil ha betydelige forbedringer på atmosfærekorreksjonsiden vil man sikre seg et bedre datagrunnlag ved å foreta betydelige samordning av data fra ulike tradisjonelle og andre høyteknologiske metoder. En metode som egner seg godt for kobling mot fjernmålingsdata er å plassere sensorer på ferger og fartøyer i faste ruter i våre nære havområder. Vanninntakene fra ferger ligger ofte i et gunstig område for den delen av vannsøylen som også satellitten måler. Fergene kommer til land daglig og kan ettersees og eventuelle prøver kan hentes inn hvis man også plasserer ombord automatiske prøvetakere i tillegg til måleutstyr for viktige variable. Denne sambruk av data vil sikre at data fra satellitten blir mer pålitelige og verdifulle, samtidig som at sensordataene i seg selv gi viktig bidrag til overvåkingen. Data fra faste eller frittflytende bøyer bør også benyttes i en slik sammenheng.

Automatiske bøyer har sin klare styrke i den svært høye tidsopløsningen de kan operere med, mens sensorene er vesentlig mindre nøyaktige enn ved tradisjonelle målinger. I kyststrømmen på Sørlandskysten er det en Rossbyradius ca 20 km. Usikkerheten ved å benytte enkeltstående strømmålere til å beregne transporter er stor pga kort dekkingsradius. Tilsvarende vil relevansen av målinger fra enkeltstående SEAWATCH bøyer avta raskt med avstanden fra bøyeposisjonen, særlig på tvers av dominerende strømrøtning. Flere bøyer organisert i et nettverk kan brukes til å registrere regionale forskjeller og episoder, men en god romlig dekning over et større område basert kun på bøyer vil bli kostbart. Bøyer alene kan være velegnet i enkelte kystnære områder, i streder og for å registrere inn- og utstrømming til enkelte smale fjorder.

I kombinasjon med andre metoder har bøyer et mye bredere anvendelsesspekter. Gjennom den operasjonelle driften av SEAWATCH har det vært lagt spesielt vekt på å supplere data fra et nettverk av lokale observatører langs kysten. Observatørens hovedfunksjon, som er knyttet til den operasjonelle varslingen for havbruksnæringen, er å gjøre enkle målinger, foreta prøvetaking og dessuten rapportere om spesielle hendelser (f. eks. forurensningsutslipp, forekomst av misfarget sjø i vannmassetyper som ikke dekkes godt av målinger i åpne farvann på bøyeposisjonene. Spesielt i kombinasjon med toktprogram kan bøyer som er plassert strategisk i et snitt, være godt egnet. Bøyenettverket gir også data som kan brukes til å forbedre numeriske modeller som nå anvendes i sammenheng med simuleringer av eutrofieffekter.

De ulike metoder som brukes innen eutrofiovervåkingen er svært forskjellige mhp. avgjørende egenskaper som hvilke parametre som måles, målehyppighet, romlig dekning og datakvalitet. De store forskjeller på sterke og svake sider tilsier at det er mye å hente på å utnytte det beste ved flere av dem ved en tett koordinering. En numerisk modell kan initieres ved data fra et områdedekkende tokt og oppdateres etter hvert ved å assimilere vinddata og verdier fra kyststasjoner. De store datamengdene fra satellitter kan gjøres mer pålitelige og verdifulle ved å koble mot data fra fartøyer i faste ruter og bøyer. Bøyer kan også benyttes i sammenheng med et toktprogram.

D. FORSLAG TIL PRINSIPPER FOR PROGRAM FOR OVERVÅKING AV EUTROFITILSTAND OG -UTVIKLING I VANNEFASEN I KYSTFARVANN.

D.1. Prinsipper

Langtidsovervåking har i regel to formål. Når klare grenseverdier kan etableres ut fra kvalitative mål kan utvikling og konsentrasjoner observeres relativt slike grenseverdier. I eutrofisammenheng finnes ikke noen klare og enkle grenseverdier. SFT har utarbeidet et klassifiseringssystem for miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (som nå er under revisjon). Imidlertid er dette systemet i første rekke en tilstandsklassifisering (Rygg og Thélin, 1993) og sier ikke noe om de naturlige forholdene eller hvor mye et område tåler av f.eks. økte konsentrasjoner av plankton eller næringssalter. For hypoxia finnes et bedre grunnlag (Kirkerud, in. prep.). ICES (1996) har vist statistiske metoder for analyser av konsentrasjoner i relasjon til grenseverdier.

For generell trendovervåking, dvs. for å se eventuelle forandringer stiller internasjonale programmer (JAMP) noen krav til utsagnskraft i overvåkingsprogrammer. Metoden er beskrevet av ICES (1996), hvor også effekter av forandringer i prøvetakingsstrategi vises (forandring av observasjonsfrekvens). Hovedkonklusjonen fra disse arbeidene er at en bør være forsiktig med å endre strategi når lange tidsserier eksisterer. JAMP anbefaler at overvåkingsprogrammer skal kunne avsløre en forandring i konsentrasjon (f.eks. 50%) over en spesifikk periode (f.eks. 10 år) med en bestemt styrke (power på f.eks. 90%). Slike analyser bør gjennomføres på eksisterende tidsserier. Det finnes imidlertid også andre statistiske metoder for å undersøke forandringer (se f.eks. Andersson, 1996; Johannessen og Dahl, 1996).

Overvåking kompliseres av at det er store forskjeller mellom ulike eutrofirelevante variabler både mhp størrelsen på variansen i løpet av et år og når på året maksimum og minimumsverdier inntreffer.

Ideelt sett bestemmes kravene til overvåkingshyppighet av den parameteren som må måles oftest. Det er da et vurderingsspørsmål om en skal måle andre parametre når en likevel er til stede. Med bakgrunn i at klorofyll helst burde måles hver dag er det dessverre innlysende at en romlig dekning basert på dette prinsippet ikke er gjennomførbart i overskuelig framtid.

For de fleste variabler vil det være vanskelig å estimere realistiske endringer i årsmidler ut fra tradisjonelle observasjoner, hvilket betyr at en sammenligning bør foretaes på årstidsbasis, f.eks. i de sesonger hvor variabiliteten er liten sammenlignet med middelveidien. Dette taler mot en jevn observasjonsfrekvens over året for alle variable.

Et overvåkingsprogram må ta hensyn til at konsentrasjon og fordeling av næringssalter i havet er sterkt påvirket av såvel fysiske som biologiske prosesser. En fokusering av overvåkingsinnsatsen til vintermånedene vil f. eks. begrense effekten av biologi sl. a. hydrografiske forandringer blir hovedkilden til variabilitet i tillegg til eventuelle variasjoner i antropogene effekter.

I ACME (1996) slås det fast at sammenhengen mellom tilførsel av substanser (næringssalter, spormetaller og organiske miljøgifter) til det marine miljøet og effekten av slike tilførsler må være en nøkkelfaktor i utviklingen av kostnadseffektive strategier for marint miljøvern. Det forutsettes ofte at sammenhengen kan fastslås ut fra resultatene fra overvåkingsprogrammer, men dette vil kun bli mulig når strategien til marine overvåkingsprogrammer blir etablert med dette som en målsetning.

D.2. Hvordan forbedre dagens system

I dette kapitlet pekes det på sider ved dagens overvåkingssystem som kan forbedres. Dette gjelder justeringer i de metoder som står sentralt i dag såvel som metoder som benyttes lite og som det bør satses mer på både hver for seg og i kombinasjon. Vi har i liten grad funnet områder der det er forsvarlig å foreslå nedtrapping.

Først gis de viktigste konklusjonene i ikkeprioritert rekkefølge i kortform, deretter en noe mer omfattende diskusjon.

- *Faste stasjoner bør fortsatt være ryggraden i overvåkingsprogrammet*
- *Områdedekkende tokt er fortsatt en viktig og nødvendig kilde til romlig informasjon*
- *Det bør satses mer på å utnytte den potensielt store romlige informasjonsmengden som ligger i fjernmålingsdata. Nye sensorer åpner for mer og bedre informasjon fra kystfarvann. En må få omsatt informasjoninnholdet fra bildeprodukter til pålitelig statistisk tallmateriale.*
- *GPS og annen nyere teknologi gjør at den gamle metoden med innsamling av data fra rutegående fartøyer, "ships of opportunity", er mer aktuell enn noensinne. Denne kostnadseffektive metoden for innsamling av data blir ikke tilstrekkelig utnyttet i dagens overvåkingssystem og en økt satsning på måling fra rutegående fartøyer anbefales.*
- *Numeriske modeller bør gradvis og med forsiktighet integreres i overvåkingsarbeid.*
- *Med dagens kostnadsnivå kan automatiske bøyer anbefales til måling i streder, enkelte fjorder og ellers i situasjoner der enkeltbøyer er tilstrekkelig. For større, åpne områder må denne teknologien kombineres med andre metoder.*
- *De ulike innsamlingsmetoder bør i større grad koordineres. Dette gjelder til dels selve datainnsamlingen, men i vel så stor grad etterlyses en koordinert analyse av de ulike datatyper. Naturlige kombinasjoner er satellittdata og data fra rutegående fartøyer, data fra toktprogram kombinert med målinger fra automatiske bøyer og data fra områdedekkende tokt brukt til å initiere numeriske modeller. Resultater fra modellkjøringene kan benyttes for å vurdere representabiliteten i målinger fra faste stasjoner.*

Da de fleste eksisterende overvåkingsprogrammer opererer med faste stasjoner i basisprogrammene og det her også foreligger lange historiske serier, er det naturlig å beholde slike stasjoner som ryggraden også i framtidige overvåkingsprogrammer. Den viktigste hensikten med å ha faste kyststasjoner er for å overvåke langtidstrener av ulike miljøvariable. Med en tilstrekkelig høy frekvens vil kyststasjoner også gi innsyn i hvilke vannmasser som dominerer for tiden, avsløre episoder og gi grunnlag for tilstandsbetraktninger. Resultatene fra denne rapporten gir klare indikasjoner på at observasjonfrekvensen med fordel kan økes i de øvre vannmasser til ca. 1 gang pr. uke, mens nåværende observasjonfrekvens i de dypere vannlag (1-2 ganger pr. mnd.) bør være tilstrekkelig. Dette er i overensstemmelse med konklusjonen fra kystovervåkingsprogrammet. Hva angår Skagerrak taler den store romlige variabilitet som eksisterer selv på forholdsvis liten romlig skala, mot å skjære ned på antall stasjoner i dette området.

I tillegg til en relativt høy samplingsfrekvens i de øvre lag på sentrale stasjoner er det et behov for komplementerende informasjon fra andre observasjonsmetoder. Selv om enkle målestas-

joner kan ha relativt god oppløsning i tid, er den romlige oppløsning grov, noe som medfører en stor usikkerhet som er utilfredstillende for mange formål. Karakteristikk av fordeling av vannmasser, kjennskap til variasjon i rom for den aktuelle tid og kartlegging av næringssaltenes fordelingsmønstre forutsetter romlige data. Det vil derfor fortsatt være et klart behov for at en på strategiske tider på året foretar områdedekkende datainnsamlinger. Det finnes i dag ikke alternative målemetoder som erstatter tokt til slike undersøkelser.

Satelittfjernmåling har sin styrke først og fremst i den store flatedekningen som åpner for arealintegreerte vedier som unngår en del av variabiliteten i punktmålinger. Det foregår en kontinuerlig utvikling mot stadig bedre teknologi på dette området og potensialet er stort selv om skydekke og lav solhøyde setter naturlige begrensninger. Sensorene SeaWiFS som nå er tatt i bruk på en av ESA satelittene og den nye MERIS sensoren som NIVA er med og utvikler er bedre egnet for kystvann enn de tidligere satelittsensorene som bl. a. ikke er velegnet for målinger av klorofyll-*a* i slike områder.

I dag er som oftest bilder de endelige resultater fra satelittfjernmåling. Det må satses mer på utvikling av metoder for å trekke informasjonen ut av satelittbilder og omsette den til tallmessig miljøinformasjon.

Mobile plattformer som rutegående fartøyer, "ships of opportunity", kan være svært kostnads-effektive redskaper for innsamling av mange typer data fra det marine miljø. Hovedelementene som må være på plass for at en slik innsamlingsmetode skal være en suksess er et funksjonelt system for simultan registrering av selve måleverdiene samt tid og posisjon med tilhørende effektive prosedyrer for dataprosessering og kvalitetskontroll. Da det satelittbaserte posisjoneringssystemet GPS kom fikk en tilgang til nøyaktig og kontinuerlig informasjon om posisjon. Systemer som det beskrevet i Gytre (1997) åpner nå for effektiv praktisk utnyttelse av denne teknologien i forbindelse med målinger fra rutegående fartøyer. Dette er en rimelig form for datainnsamling som kan anvendes på en rekke ulike parametre og gi data med god tidsoppløsning og romlig dekning. Som alle automatiske målemetoder er det fortsatt begrensninger i nøyaktigheten av målingene, men til mange formål er den god nok. Potensialet til denne rimelige metoden for innsamling av data blir ikke tilstrekkelig utnyttet i dagens overvåkingssystem og en økt satsning på måling fra rutegående fartøyer anbefales.

Varslingssystemet basert på budbringere (Gytre, pers. com.) er fleksibelt og relativt rimelig i bruk. Det er fortsatt under utvikling og vil ikke kunne benyttes i operasjonell overvåking med det helt første, men utviklingen bør følges da systemet har et potensiale for overvåking av eutrofi-parametre såvel som radioaktivitet og giftstoffer.

Numeriske modeller bør etter hvert trekkes mer inn overvåkingsarbeid, i første omgang som supplement til målte verdier. Modeller kan brukes til å interpolere til tider og romlige posisjoner der man ikke har måleverdier. Modeller er spesielt godt egnet til studier av ulike scenarier. En kan gjøre eksperimenter som ikke lar seg gjennomføre i naturen. Tredimensjonale sirkulasjonsmodeller med en kjemisk-biologisk komponent er utviklet slik at de med stor nytte kan benyttes i et overvåkingsprogram. Kjemisk-biologiske modeller er i liten grad benyttet i operasjonelle overvåkingsprogram i dag og videre utvikling er nødvendig og vil gi forbedrede resultater i fremtiden. Både for å opparbeide erfaring og for at utviklingen skal tilpasses denne type anvendelse, er det viktig at modellene blir aktivt tatt i bruk selv om de enda ikke gir perfekte resultater.

Teknologisk sett er et nettverk av bøyer i dag et alternativ til områdedekkende tokt. Bøyene vil

i tillegg til den romlige dekningen også gi svært god oppløsning i tid. Dessverre må det i et område som Skagerrak til i størrelsesorden 40 bøyer for å få en tilfredstillende romlig dekning. Med dagens priser vil kostnadene ved dette bli betydelige. Styrken til automatiske bøyer, den høye målefrekvensen, gjør at en med denne målemetoden for mange parametre kan løse opp en vesentlige større del av totalvariabiliteten enn det som i praksis er mulig med tradisjonelle metoder. En multisensor-bøye, f. eks. SEAWATCH, vil være godt egnet for å registrere variasjoner i vannmassene nær bøyen som skyldes eutrofiering. Automatiske bøyer anbefales derfor til måling i streder, enkelte fjorder og ellers i situasjoner der enkeltbøyer er tilstrekkelig.

Det kanskje minst kostnadskrevende område for forbedringer er metodene som benyttes for analyse av de innsamlede data. Mange av dataseriene er undersamplede i forhold til det som må til for å få med seg det meste av variabiliteten. I dag benyttes det i liten grad metoder som tar hensyn til dette ved analyse / tolkning. Geostatistikk er en gruppe metoder som er velegnet til analyse av romlig fordelte data.

De ulike metoder som brukes innen eutrofiobservasjonen er svært forskjellige mhp. avgjørende egenskaper som hvilke parametre som måles, målehyppighet, romlig dekning og datakvalitet. De store forskjeller på sterke og svake sider tilsier at det er mye å hente på å utnytte det beste ved flere av metodene ved en tett koordinering. Numeriske modeller bør i større grad benyttes for å sette spredte data inn i en romlig og tidsmessig kontinuerlig sammenheng. De store datamengdene fra satellitter kan gjøres mer pålitelige og verdifulle ved å koble mot data fra fartøyer i faste ruter og bøyer. Bøyer bør også benyttes i sammenheng med toktprogram.

REFERANSER

- Aas, E. and Sørensen, K. 1995. Field observations of the relation between satellite and sea radiance in coastal waters. *Applied Optics*. Vol 34 No 24.
- Aas, E. 1994. Estimates of contribution to the satellite radiance above the Oslofjord. Report 91. Institute report series. University of Oslo.
- Andersson, L. 1996. Trends in nutrient and oxygen concentrations in the Skagerrak-Kattegat. *Journal of Sea Research*, Vol. 35 (1-3).
- Anon. 1993. North Sea Quality Status Report. North Sea Task Force.
- Anon. 1996. Ytre Oslofjord, Eutrofitilstand, utvikling og forventede effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra ekspertgruppe. NIVA. ISBN 82-577-2945-0.
- Anon. 1997. Kyststrekningen Jomfruland - Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapport 2 fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofi forhold i fjorder og kystfarvann. SFT, Oslo. 129 pp.
- Aure, J., and Dahl, E. 1994. Oxygen, nutrients, carbon and water exchange in the Skagerrak Basin. *Continental Shelf Research*, Vol. 14, No. 9, pp. 965-977.
- Aure, J., og Johannessen, T. 1997. Næringssalter og klorofyll-*a* fra Skagerrak til vestlandet. *Fisken og Havet* Nr. 2. 1997.
- Aure, J., Danielssen, D., and Sætre, R. 1996. Assessment of eutrophication in Skagerrak coastal waters using oxygen consumption in fjordic basins. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 589-595.
- Aure, J., Dahl, F.E., Golmen, L., Johannessen, T. og Molvær, J., 1997. Vurdering av oksygenutvikling og organisk belastning på kyststrekningen Jomfruland - Stad. *In press*.
- Aure, J., Danielssen, D., and Svendsen, E. Variability and changes of inorganic nutrients in the Skagerrak due to southern North sea water. *ICES J. mar. sci.*, accepted.
- Bøhle, B. 1989. Ressurser av fisk, krepsdyr og sel i Skagerrak. *Flødevigen Meldinger*, 3: 1-115.
- Chatfield, C. 1989. *The analysis of time series*. 4th ed. Chapman and Hall. London. 241p.
- Danielssen, D.S., Davidsson, L., Edler, L., Fogelquist, E., Fonselius, S.H., Føyn, L., Hernroth, L., Håkansson, B., Olsson, I., and Svendsen, E. 1991. SKAGEX: Some Preliminary Results. *ICES CM 1991/C:2*, 14 pp.
- Danielssen, D. S., Svendsen, E., and Ostrowski, M. 1996. Long-term hydrographic variation in the Skagerrak based on the section Torungen-Hirtshals. *ICES J. mar. sci.*, 53: 917-925.
- Danielssen, D.S., Edler, L., Fonselius S, Hernroth, L., Ostrowski, M. and Svendsen, E. 1997. Oceanographic variability in Skagerrak/ northern Kattegat, May-June 1990. Accepted in *ICES J. mar. sci.*
- Danmarks Miljøundersøkelser, 1996. Havmiljøet under forandring? Konklusjoner og perspektiver fra Havforskningsprogram 90. Havforskning fra Miljøstyrelsen. Rapport nr. 61 1996.
- Deutsch, C.V., and Journel, A.G. 1992. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press, New York.
- Doerffer, R., Sørensen, K., and Aiken, J., 1995. MERIS: Potential for coastal zone application. *Proceedings of the 21st Annual Conference of the Remote Sensing Society - RSS95*
- Dybern, B.I., Danielssen, D.S., Hernroth, L. and Svendsen, E. 1994. The Skagerrak Experiment-Skagex Report 1988-1994. *Nordic Council of Ministers, Copenhagen*. ISBN 92-9120-565-6, ISSN 0908-6692.
- Eide, L.I., Reistad, M., and Guddal, J. 1985. Database av beregnede vind og bølgeparametre for Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet, hver 6. time for årene 1955-81. *Teknisk Rap. DNMI*.
- Fryer, R.J. and Nicholson, M.D., 1993. The power of a contaminant monitoring programme to detect linear trends and incidents. *ICES J. mar. Sci.*, 50:161-168. 1993.
- Gjertsen, K. 1996. Report on oceanographic cruises and data stations 1996. *Fisken og Havet* nr. 3 1997. 89 pp.
- Gytte, T. 1997. A simple system for recording time series of data from a mobile platform as a function of its position. *ICES CM 1997/EE:08*.
- ICES 1996. Report of the ICES advisory Committee on the Marine Environment, 1996. *ICES Coop. res. rep.* no. 217.
- Johannessen, T and Dahl, E. 1996. Declines in oxygen concentrations along the Norwegian Skagerrak coast, 1927-1993: A signal of ecosystem change due to eutrophication? *Limnol. Oceanogr.* 41, 1847-52.
- Johnsen, G., Samset, O., Granskog, L., Sakshaug, E., 1994: *In vivo* absorption characteristics in 10 classes of bloom forming phytoplankton: taxonomic characteristics and responses to photoadaptation by means of disci-

- minant and HPLC analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 105:149:157.
- Holligan, P.M., Aarup, T. and Groom, S.B., 1989. The North Sea satellite colour atlas. *Continental Shelf Research*, Vol 9.
- HI, 1996. Evaluering av Havforskningsinstituttets repeterende virksomhet. Rapport fra det interne utvalg. 12+28 sider.
- Kirkerud, L., in prep. A concept of calculating critical loads and levels on marine environments. Critical oxygen levels for demersal fish and invertebrates. Nordic Council of Ministers.
- Leppänen, J-M., and Rantajärvi, E., 1995. Unattended recording of phytoplankton and supplement parameters on board merchant ships- an alternative to conventional algal monitorings programmes in the Baltic Sea: In: Lassus, P., Arzul, G., Erard-Le Denn, E., Gentien, P. and Marcaillere-Le Baut, C. (eds.), *Harmful marine algal blooms*. Lavoisier. Paris: 719-724.
- Lindahl, O. 1995. Long-term studies of primary phytoplankton production in the Gullmar fjord, Sweden. In: Skjoldal H.R., Hopkins, C., Erikstad, K.E., and Leinaas, H.P. (eds.), *Proceedings from the MARE NOR symposium; Ecology of Fjords and Coastal Waters*. Tromsø, Norway, December 1994.
- Ljøen, R., and Svansson, A. 1972. Long-term variations of sub-surface temperatures in the Skagerrak. *Deep-Sea Research*, 19: 277-288.
- Länstyrelsen i Göteborgs och Bohuslän, 1996. Regional miljöövervakning i Göteborgs och Bohuslän 1995-1998. Rapport fra Länstyrelsen i Göteborgs och Bohuslän nr 1996:15.
- Magnusson, J., and Nygaard, K. 1996. On continental water in the outer Oslofjord, April 1995. Norwegian institute for water research. Report no. 3432-96.
- Magnusson, J. og Sørensen, K., 1996. overvåkingen av Hvaler-Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990-1994. Overflatevannets vannkvalitet og oksygenforhold i dypvannet. NIVA-rapport 3538-96, SFT rapport 653/96. TA-1328/96.
- North Sea Task Force. 1993. North Sea Subregion 8 Assessment Report. State Pollution Control Authority, Oslo, Norway. ISBN 82-7655-157-2.
- Ostrowski, M. 1997. Temporal variability in nutrient concentrations in the northern North Sea as characterized by experimental variogram. ICES International Symposium on the temporal variability of plankton and their physio-chemical environment, Kiel 19-21 mars 1997.
- Pedersen, A., Aure, J., Dahl, E., Green, N., Johnsen, T., Magnusson, J., Moy, F., Omli, L., Rygg, B., Walday, M. 1996. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Årsrapport 1995. Hovedrapport. Havforskningsinstituttet og Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport nr. 3583-96.
- Pingree, R., Holligan, P., Mardell, G., and Harris, R. 1982. Vertical distribution of plankton in the Skagerrak in relation to doming of the seasonal thermocline. *Continental Shelf Research*, 1: 209-219.
- Reistad, M., and Iden, K.A. 1995. Updating, correcting and evaluation of a hindcast data base of air pressure, winds and waves for the North Sea, Norwegian Sea and the Barents Sea. DNMI Research Report No. 9.
- Rodhe, J. 1992. Studies of currents and mixing in the Skagerrak. Dr. thesis Univ. of Gothenburg.
- Rygg, B. og Thelin, I. 1993. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkninger av næringssalter. SFT Veiledning. TA-924/1993. 15 s.
- Røgeberg, E., Sørensen, K., Jävold, T., Omli, L. 1996. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Hydrografi/hydrokjemi. Datarapport 1995. Havforskningsinstituttet og Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport nr. 3574-96.
- SAS Institute Inc. 1988. *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.03 Edition. Cary, NC. 1028 pp.
- Skogen M., Berntsen, J., Svendsen, E., Aksnes D., and Ulvestad, K. 1995. Modeling the primary production in the North Sea using a coupled 3-dimensional physical chemical biological ocean model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41, 545-565.
- Skogen, M., Svendsen, E., and Ostrowski, M. 1996a. Quantifying Volume and Nutrient transports and Primary Production with the Norwegian Ecological Model system (NORWECOM). Submitted to *Cont. Shelf Res.*
- Skogen, M.D., Eriksrød, G., and Svendsen, E. 1996b. Quantification of Transports to Skagerrak; a modelling approach. In press in *NATO ASI-series*.
- Stigebrandt, A. 1980. Barotropic and Baroclinic response of a semi-enclosed basin to barotropic forcing of the sea. In: Freeland, H.J., Farmer, D.M., Levings, C.D. (eds). *Proceedings of the NATO Conference on Fjord*

- Oceanography. Plenum Press, New York.
- Stigebrandt, A. 1983. A model for the exchange of water and salt between the Baltic and the Skagerrak. *J. Phys. Oceanogr.* 13: 411-427.
- Stigebrandt, A. 1984. Analysis of a 89-year-long sea level record from Kattegat with special reference to the barotropically driven water exchange between the Baltic and the North sea. *Tellus*, 36A, 401-408.
- Stigebrandt, A., Aure, J., og Molvær, J. 1995. *Variasjoner i kystvannets tetthetsfelt ved Torungen og Jomfruland*. NIVA-Rapport 3222.
- Svanesson, A. 1975. Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. I. Open sea conditions. Fisheries Board of Sweden, Institute of Marine Research, Report No. 1: 1-88.
- Svendsen, E. 1995. *Havstrømkart og Biologi i Skagerrak*. Rapport fra Havforskningsinstituttet.
- Svendsen, E., Eriksrød G. og Skogen M.D. 1995a. Kvantifisering av langtransporterte vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til Ytre Oslofjord. *Fisken og Havet*, nr. 15. Havforskningsinstituttet.
- Svendsen, E., Eriksrød, G. og Skogen M.D. 1995b. Numerisk Modellering av Transport av Næringssalter og Primærproduksjon i Skagerrak/ Kattegat og ytre Oslofjord. (Numerical modelling of nutrient transport and primary production in the Skagerrak/ Kattegat and outer Oslofjord.
- Svendsen, E., Berntsen, J., Skogen, M., Ådlandsvik, B. and Martinsen, E. 1996. Model Simulation of the Skagerrak Circulation and Hydrography during Skagex. *Journal of Marine Systems* 8 (1996) 219-236.
- Sætre, R., Aure, J., Ljøen, R. 1988. Wind effects on the lateral extension of the Norwegian Coastal Water. *Cont. Shelf Res.*, 8(3): 239-253.
- Søiland, H., Svendsen, E., Skogen, M. og Eriksrød, G. 1996. Numerisk modellering av primærproduksjon og transport av vannmasser og næringssalter langs norskekysten. *Fisken og Havet* nr. 25, 1996. 37 s.
- Sørensen, K., Lindell, T., and Nisell, J. 1989. The information content of AVHRR, MSS, TM and SPOT data in the Skagerrak Sea. *Proceedings of the IGARSS'89 - 12th Canadian Symposium on Remote Sensing*. Vancouver, Canada July 10-14 1989.
- Sørensen, K. og Lindell, T. 1990. Eutrofisituasjonen i ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.7 A. Optiske observasjoner - overflatevannets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget og fjernmåling.
- Sørensen, K., Aas, E., Faafeng, B. og Lindell T., 1993. Fjernmåling av vannkvalitet. Videre-utvikling av optisk satellittjernmåling som metode for overvåking av vannkvalitet. NIVA rapport nr 2860.
- Sørensen, K. og Aas E., 1994. Remote sensing of coastal water quality. *SPIEs International Conference on Ocean Optics XII*, Bergen 1994.
- Sørensen, K. og Magnusson, J. 1995. Evaluering av SeaWIFS dataprodukter for bruk til overvåking av vannkvalitet. NIVA-rapport 3136. Oslo, 18. september 1994.
- Sørensen, K., (1997 in press). Operativ bruk av SeaWIFS-data for langsiktig overvåking av vannkvalitet. NIVA-rapport.
- Tangen, K., Lønset, L., 1996: SEAWATCH - Utvikling av et operasjonelt kyst- og havovervåkingssystem. OCN R-96009.
- UNESCO, 1988. The acquisition, calibration, and analysis of CTD data. UNESCO technical papers in marine science no 54. A report of SCOR working group 51.