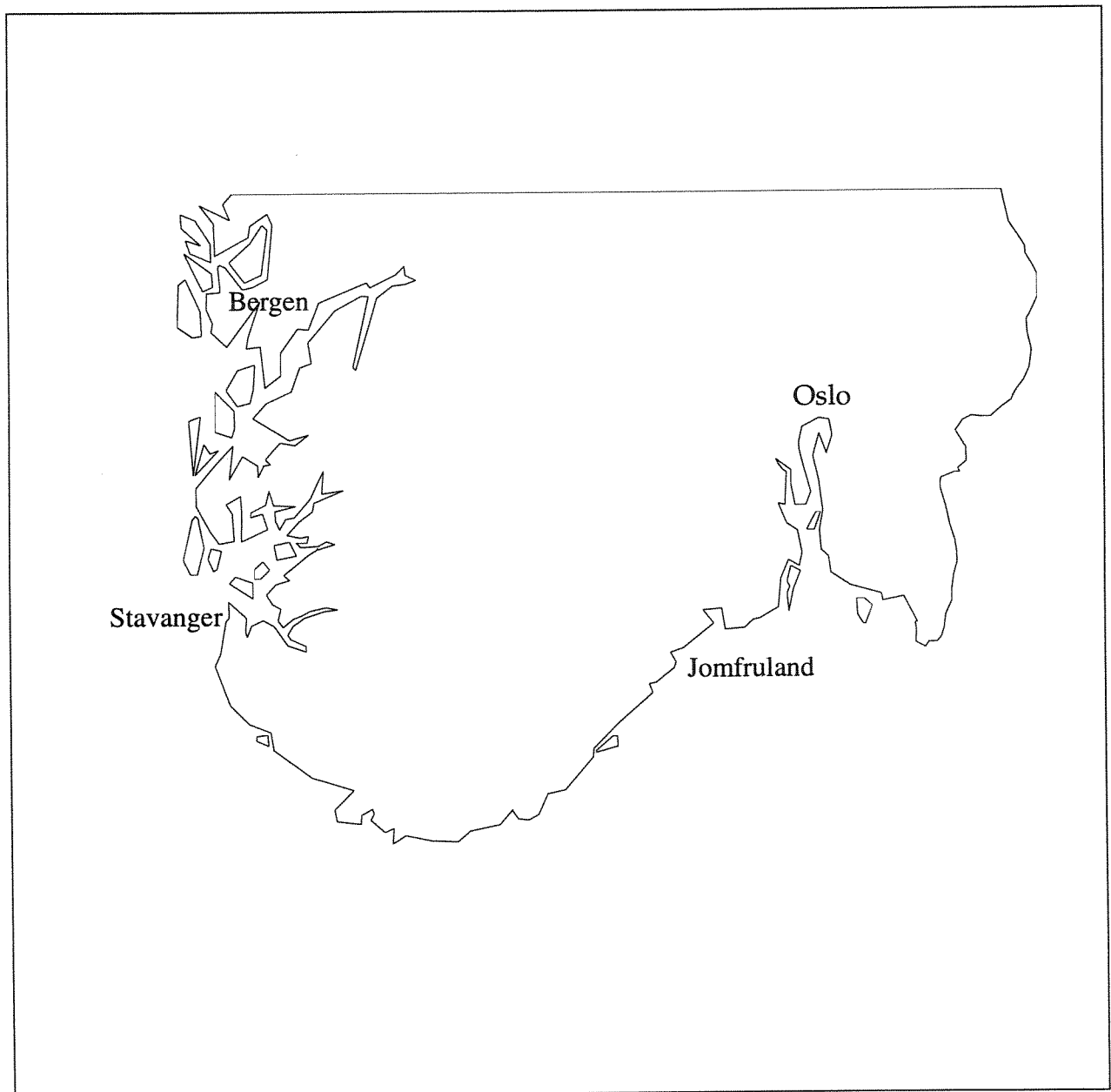


RAPPORT LNR 3555-96

**Vurdering av  
oksygenutvikling og  
organisk belastning på  
kyststrekningen  
Jomfruland - Stavanger**



# Norsk institutt for vannforskning

# RAPPORT

## Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

## Sørlandsavdelingen

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 04 30 33  
Telefax (47) 37 04 45 13

## Østlandsavdelingen

Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

## Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

## Akvaplan-NIVA A/S

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

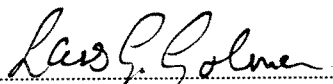
<b>Tittel</b> <b>Vurdering av oksygenutvikling og organisk belastning på kyststrekningen Jomfruland-Stavanger.</b>	<b>Løpenr. (for bestilling)</b> 3555-96	<b>Dato</b> Mars 1997
	<b>Prosjektnr. Undernr.</b> 96175	<b>Sider Pris</b> 36
<b>Forfatter(e)</b> Jan Aure                      Havforskningsinstituttet Finn Erik Dahl,            Det norske Veritas Lars G. Golmen            NIVA Tore Johannessen        Havforskningsinstituttet Jarle Molvær                NIVA	<b>Fagområde</b> Marin Eutrofi	<b>Distribusjon</b> Åpen
	<b>Geografisk område</b> Sør-Norge	<b>Trykket</b> NIVA 1997

<b>Oppdragsgiver:</b> Statens Forurensningstilsyn, Pb 8100 Dep, 0032 Oslo.	<b>Oppdragsg. ref.:</b> I. Thélin SFT Prosjnr. 96191
---	--

**Sammendrag**

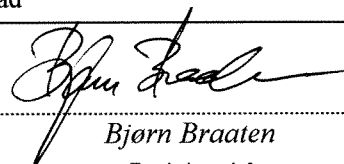
Oksygendata fra sør-norske kystfarvann og fjorder for tidsrommet 1925 til 1995 er vurdert med vekt på å påvise og kvantifisere tidstrender. For utvalgte fjordbassenger er det også gjort beregninger av organisk belastning via målt oksygenforbruk. Resultatene viser at det siden rundt 1970 har vært en signifikant nedgang i oksygeninnholdet i kystvannmassene i Skagerrak om høsten. Nedgangen har vært på ca. 0,4-0,8 ml O<sub>2</sub>/l i perioden 1970-95, mot en bakgrunn av stor variabilitet mellom årene. Det har også vært en økning i oksygenforbruket og en nedgang i oksygeninnhold i terskelbasseng langs Skagerrak-kysten. Dette tyder på rundt 50 % økning i organisk belastning for terskelbasseng øst for Arendal etter 1980, avtakende til 20-30 % økning i Vest-Agder. Hovedårsaken er økt regional belastning, og i mindre grad økt lokal belastning. Den samlede belastningsøkningen medfører at oksygeninnholdet i sårbare bassenger oftere, og over lengre perioder enn før må betegnes som Dårlig - Kritisk for bunndyr og fisk.

<b>Fire norske emneord</b> 1.    Norskekysten 2.    Fjorder 3.    Oksygen 4.    Organisk belastning	<b>Fire engelske emneord</b> 1.    Norwegian coast 2.    Fjords 3.    Oxygen 4.    Organic Load
---	---



Lars G. Golmen  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3105-6



Bjørn Braaten  
Forskningsjef

O-96175

Vurdering av oksygenutvikling  
og  
organisk belastning  
på kyststrekningen Jomfruland-Stavanger

Bergen/Oslo mars 1997

Jan Aure, HI  
Finn Erik Dahl, DnV  
Lars G. Golmen, NIVA  
Tore Johannessen, HI Arendal  
Jarle Molvær, NIVA

## Forord

*Denne rapporten utgjør én av flere delutredninger i forbindelse med arbeidet til SFTs ekspertgruppe for å vurdere tidsutvikling i eutrofitilstand i fjorder og kystfarvann. Ekspertgruppearbeidet kan ansees som en fortsettelse eller videreføring av utredningene i 1995 som omfattet Ytre Oslofjord.*

*Arbeidet med foreliggende delutredning begynte i juni 1996. Som følge av innspill undervegs, er rapporten noe omarbeidet i forhold til det foreløpige rapportutkastet som forelå i november 1996.*

*Arbeidet med delutredningen har vært fordelt på tre institusjoner. NIVA har hatt prosjektlederansvaret og hovedansvar for rapportering. Det norske Veritas A.S v/Finn Erik Dahl har gitt bidrag til utredningen omkring utvikling i kystvannet, sammen med Tore Johannessen ved Havforskningsinstituttet Forskningsstasjon Flødevigen. Havforsknings-instituttet i Bergen v/Jan Aure har laget bidraget omkring langtidsutviklingen for oksygen i utvalgte fjordbasseng sammen med Jarle Molvær, NIVA, som har stått for teoretiske beregninger av organisk belastning for fjordbassengene.*

*Saksbehandler og kontaktperson hos SFT var Isabelle Thélin.*

*Takk til alle impliserte, nevnte og unevnte!*

*Lars G. Golmen*

---

# Innhold

<b>1. INNLEDNING</b>	<b>6</b>
1.1 Formål med utredningen	6
1.2 Organisering av prosjektet	6
1.3 Generelt om oksygen i fjorder og kystfarvann	6
1.3.1 Oksygen	6
1.3.2 Oksygen i fjorder	8
1.3.3 Oksygen i kystvannet	9
<b>2. Metodikk og data</b>	<b>11</b>
2.1 Beregning av endring i oksygenminimum	11
2.2 Data	11
2.2.1 Fjord-data til bruk i vurdering av langtidsutvikling	12
2.2.2 Kystvannet	12
<b>3. Oksygenutvikling og organisk belastning</b>	<b>16</b>
3.1 Kystvannet	16
3.1.1 Tidligere vurderinger	16
3.1.2 Tidspunkt for høst-minimumet i kystvannet	17
3.1.3 Oksygenutvikling siden 1955.	21
3.1.4 Relasjoner mellom dyp, saltholdighet og oksygen	21
3.1.5 Oppsummering	25
3.2 Fjordbassengene	25
3.2.1 Tidsutvikling for oksygen	25
3.2.2 Organisk belastning beregnet ut fra målt oksygenforbruk	28
<b>4. Oppsummering og diskusjon</b>	<b>32</b>
4.1 Kystvannet	32
4.2 Fjordbassengene	32
4.3 Sluttkommentarer	33
<b>5. Litteratur</b>	<b>35</b>

---

## Sammendrag

Foreliggende rapport utgjør en av flere delutredninger for SFTs ekspertgruppe som vurderer eutrofisituasjonen på kyststrekninga Jomfruland-Stad.

**Formålet** med delutredningen har vært å bedømme utstrekning og omfang av den regionale påvirkningen i oksygenforbruket i kystvann og fjorder i forhold til lokal påvirkning. I analysene har det vært lagt vekt på å bedømme tidsutvikling og geografiske forskjeller når det gjelder oksygen-forhold og organisk belastning.

**Hovedresultatene for tidsutvikling** viser at det både i kystvannet og i fjordbassengene har skjedd en moderat forverring av oksygenforholdene i løpet av de siste 25-30 årene. I intermediære vannmasser i kystvannet synes en negativ trend å starte rundt 1965-70. For fjordbassengene på Sørlandet startet forandringen et sted rundt år 1975.

For fjordbassengene dreier det seg om en utvikling mot lavere oksygenminimum om høsten og øket oksygenforbruk. Dette skyldes økning i organisk belastning, som nå er av størrelsesorden 50 % høyere enn før ca 1975 for fjorder øst for Arendal, og 25-30 % høyere for Kristiansand-Flekkefjordområdet.

I kystvannet på Skagerrakkysten opptrer de laveste konsentrasjonene i tidsrommet august-oktober, men der er ennå en margin på 1-1,5 mlO<sub>2</sub>/l ned til nivåer der tilstanden må karakteriseres som Mindre God (SFTs klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann). For fjordbassenger som får "påfyll" av kystvann om høsten, betyr denne utviklingen redusert oksygentilførsel gjennom vannutveksling med kystvannet og at de har blitt mer sårbare for tilførsler av organisk materiale.

**Hovedresultat for geografiske forskjeller** er påvisning av en øst-vest gradient, der fjordene øst for Arendal har en organisk belastning som er ca 50-100 % høyere enn fjorder på Vestlandet. Fjorder i Kristiansand-Flekkefjord området synes ha noe mindre belastning enn fjordene østfor, men høyere enn Møre, mens fjorder nord for Stavanger ligger omtrent på Møre-nivået.

Resultatene tyder på at det meste av den negative tidsutviklingen i kystvannet skyldes en økning i langtransporterte tilførsler av organisk stoff og næringssalter til utenforliggende havområder. På den annen side antar man at det i samme tidsrom har funnet sted en markert økning i norske tilførsler av næringssalter og organisk stoff til fjorder og kystfarvann, mest markert i Oslofjord-regionen og relativt mindre vestover langs kysten. Dette sammenfaller både med de målte gradientene i oksygenforbruk og med forventet gradient for en langtransportert regional belastning. For fjordbassengene har det innenfor dette prosjektet ikke vært mulig å gjøre noe klart skille mellom disse to bidragene. I tillegg til påvirkningen fra kystvannet kan de lokale utslippene i varierende grad utvilsomt bidra til forverring av oksygenforholdene i fjordbassengene på Skagerrakkysten.

# 1. INNLEDNING

## 1.1 Formål med utredningen

En marin Ekspertgruppe opprettet av Statens Forurensningstilsyn (SFT) utredet i 1995 eutrofitilstanden i ytre Oslofjord, og påviste der klare tegn på eutrofipåvirkning (Anon 1996). Som oppfølging fikk gruppen i 1996 i oppgave å vurdere eutrofitilstanden på kyststrekninga Jomfruland-Stad.

På bakgrunn av dette ble det organisert syv delutredninger utført som frittstående prosjekter for SFT:

1. Beregning av tilførsler av næringsstoffer til kysten mellom svenskegrensen og Stad.
2. Næringssalter og klorofyll-*a* fra Skagerrak til Vestlandet.
3. Numerisk modellering av primærproduksjon og transport av vannmasser og næringssalter langs norskekysten.
4. Vurdering av oksygenutvikling og organisk belastning på kyststrekningen Jomfruland - Stavanger.
5. Planteplankton og siktedyp.
6. Benthossamfunnene på kyststrekningen Fulehuk - Stad.
7. Fysiske forhold langs norskekysten.

Disse delutredningene utgjorde mye av grunnlaget for Ekspertgruppens vurdering (Anon 1997). Konkret har denne utredningen hatt som formål å bedømme betydningen av den regionale påvirkningen av oksygenforbruket i kystvann og fjorder i forhold til lokal påvirkning på kyststrekningen Jomfruland-Stavanger. Herunder hvor langt vestover en regional påvirkning har betydning. Hovedelementer i dette er påvisning av:

- eventuelle gradienter i oksygenforbruk og organisk belastning langs den aktuelle kyststrekninga.
- eventuell tidsutvikling i størrelsen av oksygenforbruk og oksygennivåer i utvalgte fjorder.

## 1.2 Organisering av prosjektet

Arbeidsoppgavene ble fordelt mellom tre institusjoner; Det norske Veritas og Havforskningsinstituttet har vurdert utviklingen i kystvannet. Havforskningsinstituttet har også vurdert utviklingen i oksygenforholdene i dypvannet i utvalgte fjordbassenger. Spesielt har data fra de såkalte "Høst-toktene" vært viktige til dette arbeidet.

NIVA har sett på tidsutviklingen i oksygenforholdene i en del fjorder og har utført beregninger av effekter av lokale tilførsler og endringer i disse på et utvalg av fjorder. NIVA har også stått for prosjektledelse og rapportering.

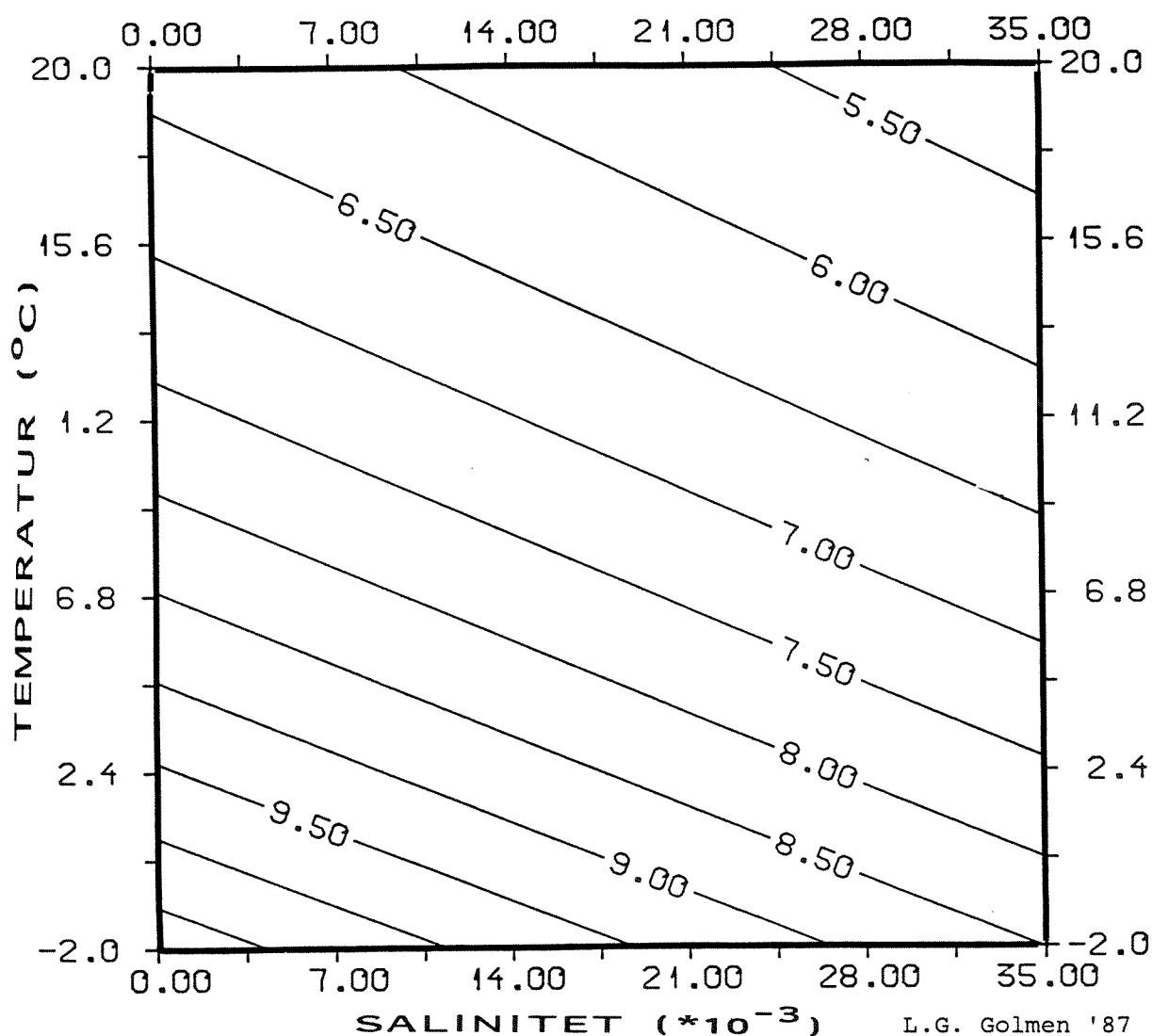
## 1.3 Generelt om oksygen i fjorder og kystfarvann

### 1.3.1 Oksygen

Eutrofiering innebærer "overgjødning" av vannmasser ved at det tilføres større mengder næringssalter enn det som systemet naturlig kan ta hånd om uten at det oppstår negative symptomer. Det mest kjente og synlige symptomet er økt algevekst. I fjorder og mer skjermede områder vil økt algevekst medføre

økt sedimentering av organisk stoff og gjerne økt oksygenforbruk og lavere oksygenkonsentrasjoner i dypvannet.

Oksyngengass tilføres sjøen mest via atmosfæren. Fotosyntesen (alger) produserer også oksygen når forholdene ligger til rette (lys, næringssalter etc.). Fotosyntesen kan midlertidig bringe oksygenverdiene langt over 100 % metning. Ellers forventer en å finne metningsverdier nær 100 % i upåvirket overflatevann. For norske fjorder og kystfarvann dreier dette seg om konsentrasjoner på fra ca 5 til 10 ml/l. Kaldt vann med lav saltholdighet løser mer oksygen enn vann med høyere temperatur og høyere saltholdighet (Figur 1). Det er en viss ikke-linearitet i avhengigheten av saltholdighet og temperatur, og ved blanding mellom mettede vannmasser med ulik T-S karakteristik kan det dermed oppstå overmetning i blandingsvannmassen.



**Figur 1.** Diagram som viser konsentrasjoner for 100 % oksygenmetning ( $\text{mlO}_2/\text{l}$ ) i sjøvann som funksjon av saltholdighet og temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ).



Eutrofieringsspørsmålet for Nordsjøen og Skagerrak/Kattegat ble for alvor brakt på banen i slutten av 1980-åra (Ministerkonferansen i London, 1987, og seinere oppfølging innenfor Oslo/Paris-kommisjonene og EU). Tilsvarende problemer var kjent fra andre steder, slik som utenfor større byer i USA (Welsh og Eller 1991). I sørlige del av Kattegat ble det hyppig registrert kritisk lave oksygenverdier fra 1981 og utover (Jørgensen 1992). Dette er blitt tilskrevet økt tilførsel av næringssalter og organisk materiale (Andersson 1996).

Seinere er det blitt påvist eutrofieringstendenser i ytre Oslofjord (Anon., 1996). Påvirkning fra kilder i sørlige Nordsjøen kan spores der i tillegg til sannsynlig lokal påvirkning (Magnusson og Nygaard 1996, Svendsen et al. 1995, Aure og Danielsen 1996, Anon 1996). Det har videre pågått en debatt om det er registrert en nedgang i oksygen langs Sørlandskysten (Gray og Abdullah 1996, Johannessen og Dahl, 1996a).

Oksygenkonsentrasjonen bestemmes oftest med Winklermetoden (Carpenter 1965). Metoden er relativt enkel og har få feilkilder ved vanlig aktsomhet. Den har vært benyttet av norske forskere i over hundre år. Med nye reviderte analysemetoder oppnås ved de større oseanografiske institusjonene en absolutt nøyaktighet på bedre enn 0,04 ml/l for oksygenverdier over 3 ml/l (Culberson et al. 1991).

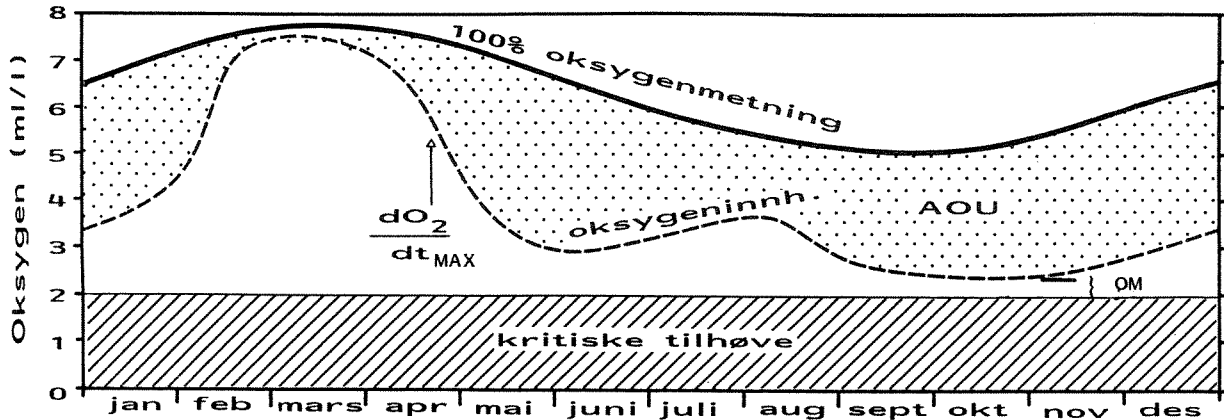
Prøver som er innsamlet i norske fjorder og kystfarvann kan en anta har en nøyaktighet av den antydete størrelsesordenen, men sannsynligvis noe dårligere for noen undersøkelsers vedkommende. Havforskningsinstituttet har foretatt en kvalitetskontroll av prøver innsamlet i instituttets regi. Konklusjonen er at målingene er av god kvalitet og godt egnet til å studere trender og variasjon (Johannessen et al. 1996).

Den samme konklusjon antas å gjelde for prøveinnsamling i regi av NIVA eller universitetenes institusjoner. Det ligger utenfor rammen for denne utredningen å foreta noen inngående kvalitetssikring eller vurdering og beregning av faktiske målefeil.

Moderne sondemålinger for oksygen har neppe den samme nøyaktighet eller repeterbarhet som den kjemiske Winklermetoden. Det datamaterialet som benyttes i denne utredningen har ikke med sondedata.

### **1.3.2 Oksygen i fjorder**

Figur 2 illustrerer en mulig årssyklus for oksygenet i dypvannet i en terskelfjord. Konsentrasjonen for 100 % metning (øverste kurve) vil variere noe over året, som følge av naturlige variasjoner i saltholdighet og temperatur. På ettervinteren strømmer det gjerne inn tyngre oksygenrikt vann. For sør-norske fjorder med grunn terskel skjer dette ofte tidlig på vinteren, mens fjorder med dypere terskel får utskiftingen noe seinere. En periode av året vil oksygenforbruket kunne være ekstra stort. I figuren er dette indikert like etter utskiftingen, men det kan også inntreffe på høstparten. Dette vil avhenge av mengden organisk materiale i vann og sedimenter, og i noen grad også av diffusiv oksygentilførsel ovenfra. Sistnevnte faktor kan utgjøre av størrelsesorden 10 % av oksygenforbruket i fjorder på Sørlandet (Aure et al. 1996).



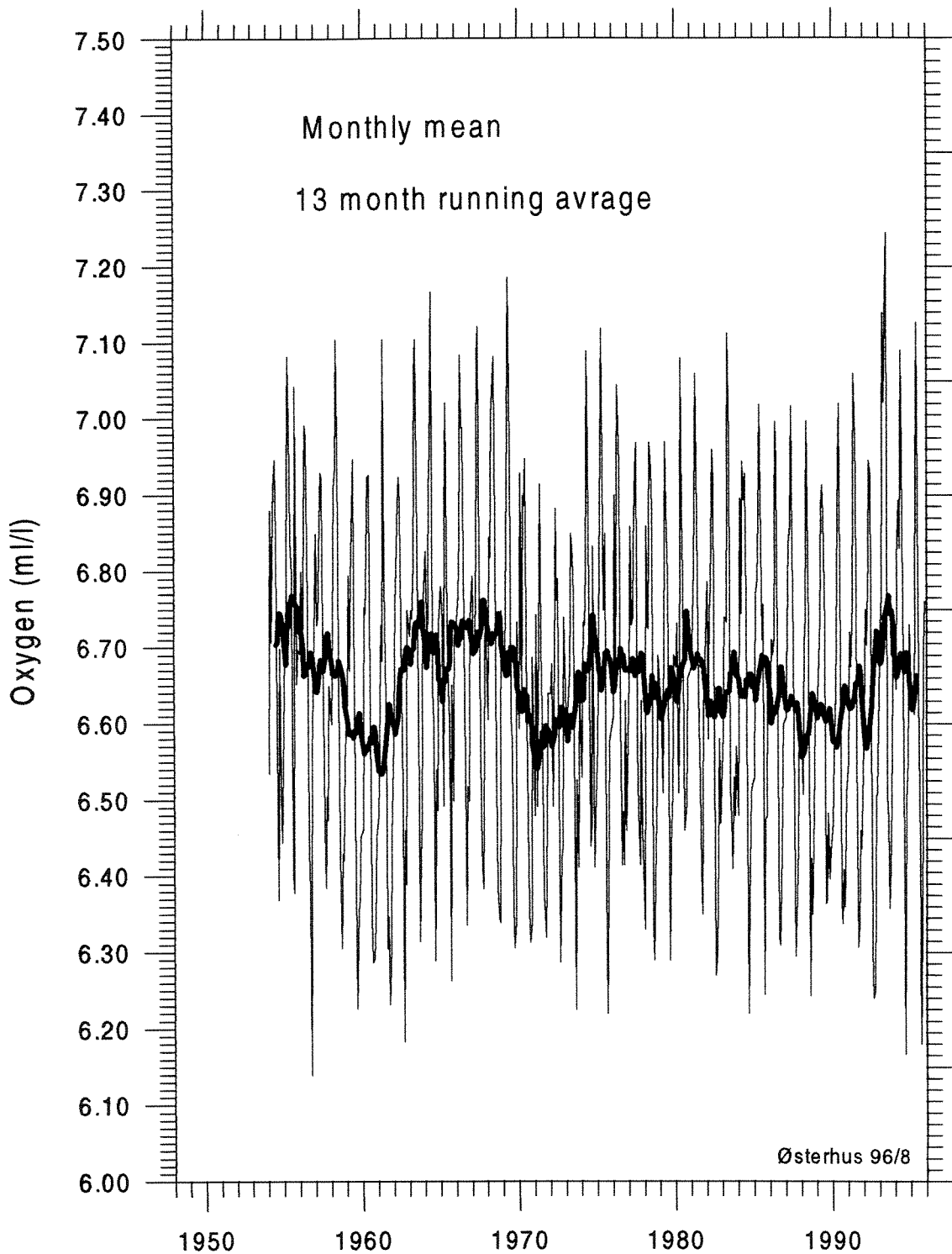
**Figur 2.** Skisse over mulig tidsforløp for oksygenutviklingen i dypvann i en terskelfjord. Størrelsen AOU (apparent oxygen utilisation) er et uttrykk for målt oksygenforbruk. Det faktiske forbruket vil være noe større enn det målte fordi noe oksygen også tilføres kontinuerlig ovenfra og dermed bidrar til å kompensere for noe av forbruket.

### 1.3.3 Oksygen i kystvannet

Utredningen tar for seg variasjon i oksygenkonsentrasjon i kystvannet på Skagerrak-kysten. Vannmassene i det øvre sjikt i Norskehavet har stort innslag av Atlanterhavsvann som kommer sørfra, og som også er kilde til vannfornyelsen i Nordsjøen. Variasjoner i dette vannets hydrografi og oksygeninnhold kan dermed også påvirke forholdene i Skagerrak. Det kan derfor være på sin plass å se på konsentrasjoner og variasjoner i dette vannet.

Figur 3 viser målt oksygenkonsentrasjon i 25 m dyp på værskipstasjon "M" i Norskehavet (posisjon 66°N, 2°E) i perioden 1955-1995. Både månedsmidler og glidende middelværdi (glattet årsmiddel) er tatt med. Den typiske års-syklusen viser et vår-maksimum og et høst-minimum i dette dypet. Det framgår at middelværdiene har lagt ganske konstant i måleperioden, mellom 6,53 og 6,76 ml/l oksygen. Det er heller ingen visuell langtidstrend å spore i dataene. Det er således ingen tegn til negativ utvikling for oksygen i vannmassene som tilføres Nordsjøen fra Norskehavet.

**MIKE (66°N, 2°E)**  
**Oxygen at 25 m**



**Figur 3.** Tidsutvikling for oksygenkonsentrasjon (ml/l) i 25 m dyp på værskipsstasjon "M" i Norskehavet i perioden 1955-1995. Månedsmiddel og glattet årsmidler er framstilt. Dataene er stilt til rådighet av Svein Østerhus, Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.

## 2. Metodikk og data

### 2.1 Beregning av endring i oksygenminimum

I det følgende er det antatt at de laveste observerte oksygenkonsentrasjonene for Havforskningsinstituttets høsttokter langs Skagerrakkysten representerer et "høstminimum" for de enkelte fjordbasseng. For hvert fjordbasseng er "høstminimum" før og etter omlag 1975 beregnet som medianverdier av konsentrasjonene under nedre kvartil av verdiene, dvs. median for de laveste 25 % av oksygenkonsentrasjonene.

Den prosentvise økning i oksygenforbruk i fjordbassengene ( $dO_2/dt\%$ ) etter omlag 1975 kan beregnes når en kjenner nedgangen i oksygenminimum ( $\text{Diff } O_{2\min}$ ), oksygenkonsentrasjonen etter innstrømming av nytt vann ( $O_{2\text{init}}$ ) og oksygenkonsentrasjonen før 1975 ( $O_{2\min<75}$ ) (Aure et al. 1996, Stigebrandt et al. 1996):

$$dO_2/dt\% = \frac{-\text{Diff}O_{2\min}}{(O_{2\text{init}} - O_{2\min<75})} * 100\% \quad (1)$$

Ligning (1) kan også uttrykkes på følgende form:

$$\text{Diff}O_{2\min} = \frac{dO_2/dt\% * O_{2\min<75} - dO_2/dt\% * O_{2\text{init}}}{100\%} \quad (2)$$

Ligning (2) viser at med en gitt prosentvis økning i oksygenforbruk og konstant  $O_{2\text{init}}$  vil nedgangen i  $O_{2\min}$  være størst i fjordbasseng med naturlig lavt  $O_{2\min}$ . Ligningen viser dessuten at når fjordbassengene har samme prosentvise økning i oksygenforbruket, dvs  $dO_2/dt\% = \text{konst}$ , er det en lineær sammenheng mellom  $\text{Diff } O_{2\min}$  og  $O_{2\min<75}$ . En tilnærmet lik prosentvis økning i oksygenforbruket (organisk belastning) i fjordbassengene innenfor en region kan dermed tyde på at lokale tilførsler av varierende størrelse har hatt mindre betydning og at bassengene i hovedsak er påvirket av en regional økning i tilførsler av organisk materiale fra kystvannet.

En av målsettingene med utredningen var å relatere oksygenforbruket i terskelbasseng til faktiske endringer i lokale tilførsler av nitrogen og fosfor fra land, for å kunne skaffe sammenligningsgrunnlag i forhold til vurderingene av tidsutvikling. Det viste seg imidlertid å være vanskelig å finne gode korresponderende data for oksygenforbruk og næringssalttilførsler. Modellen "Fjordmiljø" (Stigebrandt 1992) var tenkt benyttet i disse vurderingene av effekter av lokale tilførsler, men denne skulle vise seg i sin nåværende form å være vanskelig å benytte til dette formålet.

### 2.2 Data

Målingene som Havforskningsinstituttet har utført på Skagerrakkysten fra Vest-Agder østover til Oslofjorden hver høst siden midten av 1920-tallet er hovedgrunnlaget for den foreliggende utredningen. I tillegg kommer data fra Det norske kystovervåkingsprogrammet (Pedersen et al. 1995) som startet i 1990, samt måleserier som i de siste 20-25 årene er innsamlet av forskjellige institusjoner. Det foreligger også mer sporadiske data fra rundt århundreskiftet og utover, innsamlet av Gaarder, Strøm og

Utenom Havforskningsinstituttets langtidsserier har vi konsentrert oss om tidsrommet 1975 - 1995.

Stasjoner fra Rogaland i vest til Ytre Oslofjord i øst gir grunnlag for å bedømme gradienter og utstrekning av en eventuell regional påvirkning. Dette forutsetter at stasjonsmaterialet er systematisk og av tilstrekkelig varighet i forhold til sammenliknbare stasjoner.

### 2.2.1 Fjord-data til bruk i vurdering av langtidsutvikling

I fjordbassengene som er angitt med stasjonsnr. i Figur 4, har Havforskningsinstituttet observert oksygenforholdene hver høst i månedsskiftet september/oktober tildels helt tilbake til 1927. Måleperioder, benyttet observasjonsdyp og terskeldyp for hvert fjordbasseng er angitt i Tabell 1.

**Tabell 1.** Terskeldyp (Ht), benyttet observasjonsdyp (Hobs) og måleperiode for de utvalgte fjordbassengene (se kart i Figur 4).

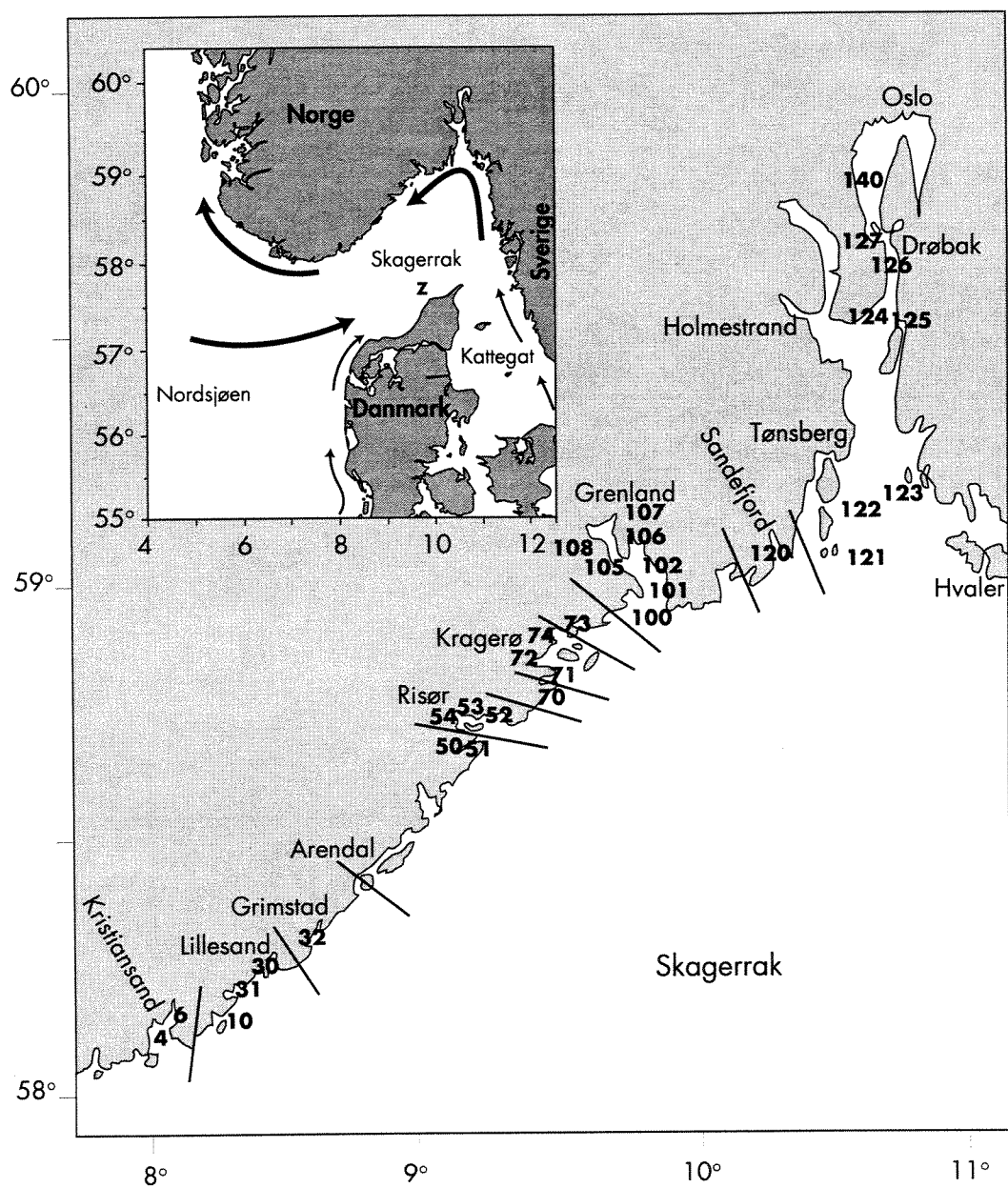
Navn	Fast st nr	Ht	Hobs	Måleperiode
Topdalsfjord	6	35	50	1927-95
Sandnesfjord	50	30	50	1927-95
Nordfj/Sønderledfj	52	30	75m	1945-95
Kragerøfjorden	71	26	75	1927-95
Kilsfjorden	72	25	30	1927-95
Dybingen	101	100	125	1955-95
Langangsfjorden	102	30	100	1955-95
Brevikfjorden	105	50	90-95	1955-95
Y.Eidangerfjord	106	50	90-95	1955-95
I. Eidangerfjord	107	50	65-70	1955-95

### 2.2.2 Kystvannet

Arbeidet er basert på hydrografiske data fra Skagerrak og Kattegatt ved Havforskningsinstituttets Forskningsstasjon i Flødevigen (HFF), samt data fra Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI). Gjennom søkingen av dataene viste følgende:

- Det finnes ikke lange tidsserier (mer enn 25 år) som har tettere oppløsning enn 1 måling pr. år.
- Lengste måleserie som inneholdt oksygendata (stasjon 121 ved Færder) har data stort sett på årlig basis i forbindelse med høsttoktet. Det videre datasøket ble dermed avgrenset til september - oktober. Hvor det fantes flere dataserier fra samme år, ble data som var innhentet nærmest 1. oktober foretrukket.
- For Torungen-Hirshals snittet er det ikke er samlet inn oksygen data fra overflatelaget regelmessig før etter 1990.

Datagrunnlaget funnet å være som vist i tabell 2.



**Figur 4.** Kartutsnitt som viser beliggenhet av faste hydrografiske stasjoner på strekningen Oslofjorden - Kristiansand. Tabell 1 viser hvilke stasjoner som er benyttet i beregningen av oksygenminimum. Fra Johannessen et al. (1996).

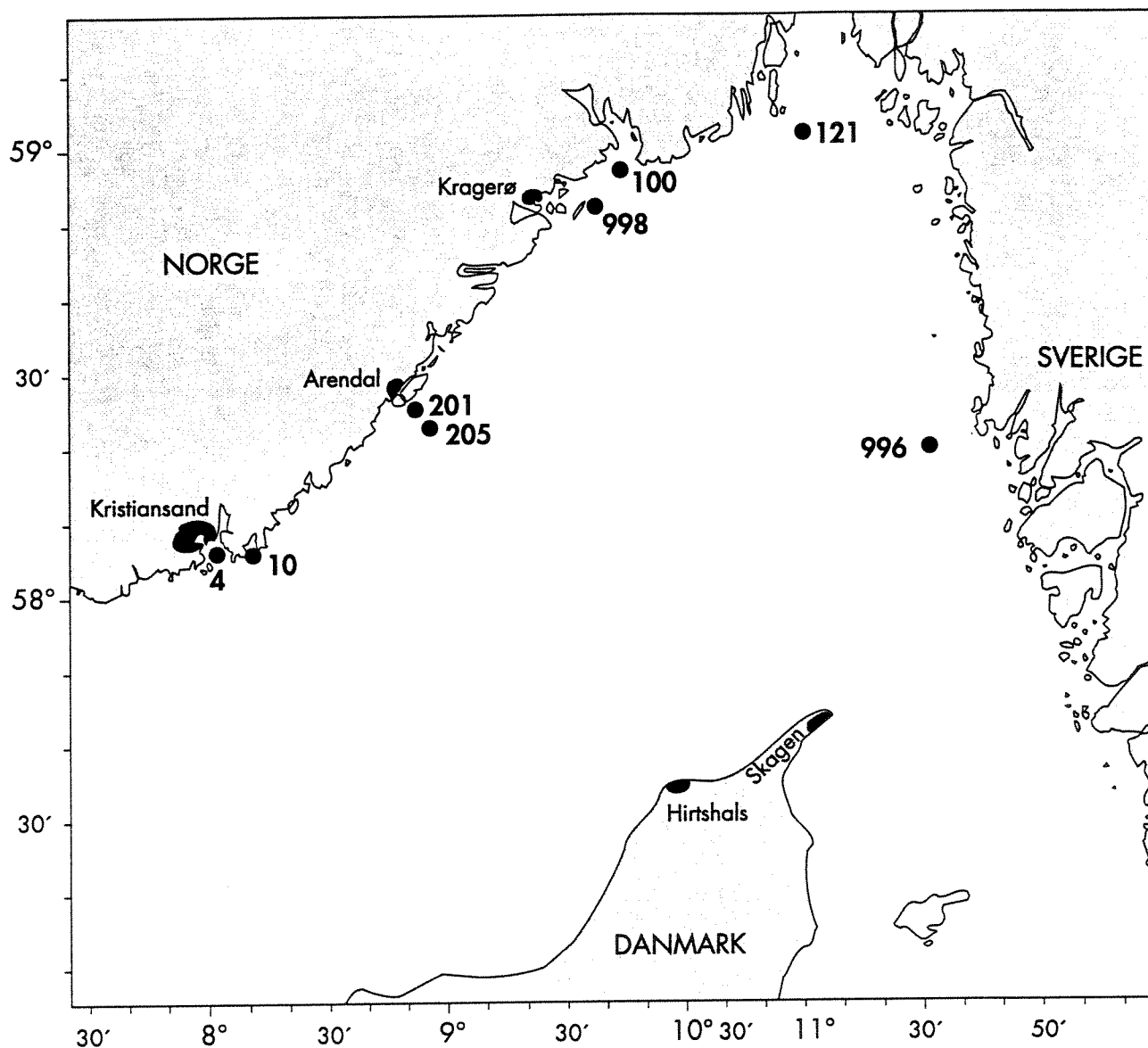
**Tabell 2.** Tilgjengelige oksygendata fra kystvannet. Se Figur 4 og 5 for stasjonsplassering.

Stasjon	Dyp	Tidsrom
Stasjon 996 - stasjon Å - ved det svenske Hållø-snittet (kilde SMHI)	10m, 50m, 75m	1989-1993/1994
Stasjon 998 ved Jomfruland	10m, 50m, 75m	1991-1995
Stasjon 100, Langesundsbukta		1955-1995
Stasjon 121 i Færder snittet	10m, 50m, 75m, 150m	1937-1995
Stasjon 201 i Torungen - Hirshals snittet	10m, 50m, 75m.	1990-1995
Stasjon 205 i Torungen - Hirshals snittet	10m, 50m, 225m	1990-1995
Stasjon 2802 i Oksey-Hanstholm snittet	Standarddyp	Ingen data
Stasjon 10, Kvåsefjorden/Lillesand	Standarddyp	1924-1995
Stasjon 4, ytre Kristiansandsfjord	Standarddyp	1924-1995

Data fra stasjon 121 ved Færder er blitt analysert tidligere (Anon 1996). For de øvrige stasjonene i området viste gjennomgangen at det ikke foreligger så mye data fra overflatelaget at man vil kunne forvente at en trendanalyse kan gi statistisk signifikant resultat ( $p < 0,05$ ).

Fra kystovervåkingsstasjonene foreligger bare data siden 1990, med tildels store variasjoner i oksygenkonsentrasjonene. Derfor bør evt. forskjeller i oksygen mellom stasjonene kun oppfattes som indikasjoner på gradienter eller trender.

Målingene på stasjon 998 utføres av NIVA, mens målingene på stasjon 201 og 205 utføres av HFF. Ved parallellanalyser av oksygen er det påvist en systematisk forskjell i målingene i det HFFs analyser gir konsentrasjoner ca. 0,3 ml/l høyere enn NIVA (Aure et al. 1994). Dette viser seg å tilsvare omtrent forskjellen mellom stasjonene 998 og 201. Siden målingene på stasjon 201 foretas av HFF og i tillegg ligger nærmest land, er stasjon 201 sannsynligvis den mest relevante for sammenligning med HFFs årlige oksygenmålinger i fjordene innafor.



**Figur 5.**

Kyststasjoner på Skagerrakkysten. Målingene på stasjon 4, 10, 100 og 121 er foretatt årlig i siste halvdel av september, bortsett fra under andre verdenskrig. Måleperioden er for stasjon 4: 1924-1995, stasjon 10: 1930-1995, stasjon 100: 1955-1995, stasjon 121: 1937-1995. Maksimalt måledyp på stasjon 10 og 121 (bunnvann) er henholdsvis 100 og 150 m. Stasjon 4 og 100 er dypere enn 150 m. Stasjon 998, 201 og 205 inngår i kystovervåkningen som ble satt i gang i 1990. På stasjon 998 og 201 foretas det målinger tilnærmet to ganger i måneden, og på stasjon 205 en gang i måneden.



### 3. Oksygenutvikling og organisk belastning

#### 3.1 Kystvannet

I de senere år har vært gjort flere vurderinger av oksygenforholdene på den norske Skagerrakkysten, og debatten om trend eller ikke trend i oksygen og eutrofiering har pågått inntil det siste (Gray og Abdullah 1996, Johannessen og Dahl, 1996b). Innledningsvis gis derfor en kort oppsummering fra tidligere vurderinger av utvikling i Ytre Oslofjord, i kystvannet og i Skagerrak/Kattegat.

##### 3.1.1 Tidligere vurderinger

###### Ytre Oslofjord

Anon. (1996) konkluderte at det i Ytre Oslofjord har vært en signifikant nedgang i oksygenkonsentrasjonen om høsten sett over tidsrommet 1970-95 (2-7 % nedgang i oksygenmetning, Tabell 3). Nedgangen er størst i øvre del av det intermediære vannlaget, men er også tydelig i dypere lag. For øvre og intermediære vannmasser var det en nord-sør gradient, med lavest oksygeninnhold innerst ved Drøbaksundet.

**Tabell 3.** Reduksjoner i oksygenmetning (%) for perioden 1970- 1995, basert på middel for stasjonene 121-124 i ytre Oslofjord (fra Anon 1996)

Dyp (m)	1970	1995	Reduksjon (%)
30	89,88	83,45	6,43
50	88,89	81,77	7,03
75	84,24	80,31	3,93
100	82,62	77,30	5,32
150	81,94	79,35	2,59
		Gjennomsnitt (%):	5,06

For **bassengvann** i ytre Oslofjord viser eldre data at reduksjonen i oksygenmetning om høsten er større i den ytre halvdel av fjorden (Fulehuk - Misingen) enn lenger inne, i Breidangen. Størst målt oksygenforbruk var i området utenfor terskelen ved Færder. I dypvann/bassengvann var det m.a.o. en motsatt rettet "gradient" i forhold til grunnere sjikt.

Nyere beregninger for bassengene basert på dataene fra 1995 (Aure og Danielssen 1996) ga en verdi for organisk fluks på 6,5 gC/m<sup>2</sup> mnd for Rauøy. Det var fortsatt en avtakende tendens innover fjorden når det gjaldt organisk belastning. Som tidligere ble dette hovedsaklig tilskrevet påvirkning fra kystvannet, men man kan heller ikke se bort fra en påvirkning fra Glomma.

Oksygenminimumet (høstminimum) i bassengene i ytre Oslofjord er redusert med omkring 0,5 ml/l etter 1980 som følge av en økning i organisk belastning i kystvannet langs Skagerrak-kysten.

### Skagerrak/Kattegat

Johannessen et al. (1996) og Johannessen og Dahl (1996a) har vurdert oksygendata fra 31 stasjoner langs Sørlandskysten fra 1927 og framover til 1993/94. Materialet er for en stor del behandlet samfengt, dvs. at både fjorder og kyststasjoner er med i samme statistikk. Derfor er det ikke enkelt å trekke slutninger om kyststasjoner og kystbassenger kontra fjordbassenger. Statistikken for nyere data viser imidlertid at det er en klar tendens til avtakende oksygenkonsentrasjon innover fra kysten. Dette skyldes trolig at målinger fra fjordbassengene trekker gjennomsnittskonsentrasjonene ned.

Figur 6 viser tidsutvikling i oksygen for 30 m dyp og "bunnvann" for perioden 1927-1993, både for terskelbasseng og for stasjoner utenfor tersklene ("open sta."). Alle fire tidsseriene viser en tydelig negativ tendens fra ca 1960. Tilsvarende framstilling for overflatevann viste ingen signifikant trend.

Anderson og Rydberg (1988) analyserte oksygendata fra Kattegat for perioden 1971-1982, og fant en klar nedgang i oksygenkonsentrasjon om høsten, og beregnet at dette tilsvarte omkring 50 % økning i oksygenforbruk.

Andersson (1996) analyserte oksygendata fra perioden 1971 fram til 1990 for Kattegat og Skagerrak. I dypvann og i bunnvann i Kattegat var det en tydelig nedgang. For konsentrasjonen i bunnvannet dreier det seg om en årlig gjennomsnittlig reduksjon på 0,02 til 0,04 ml/l. Tabell 3 sammenfatter analysen av oksygendata fra Skagerraks østlige og nordvestlige deler. Både i den østlige og i nordvestlige delen av Skagerrak var det i Skagerrak kystvann og i Skagerrakvann en negativ trend over hele tidsrommet 1971 - 90. For begge områder og begge vannmasser var den gjennomsnittlige oksygenkonsentrasjonen om høsten i tidsrommet 1981 - 90 signifikant lavere ( $p < 0.05$ ) enn i det foregående 10-år.

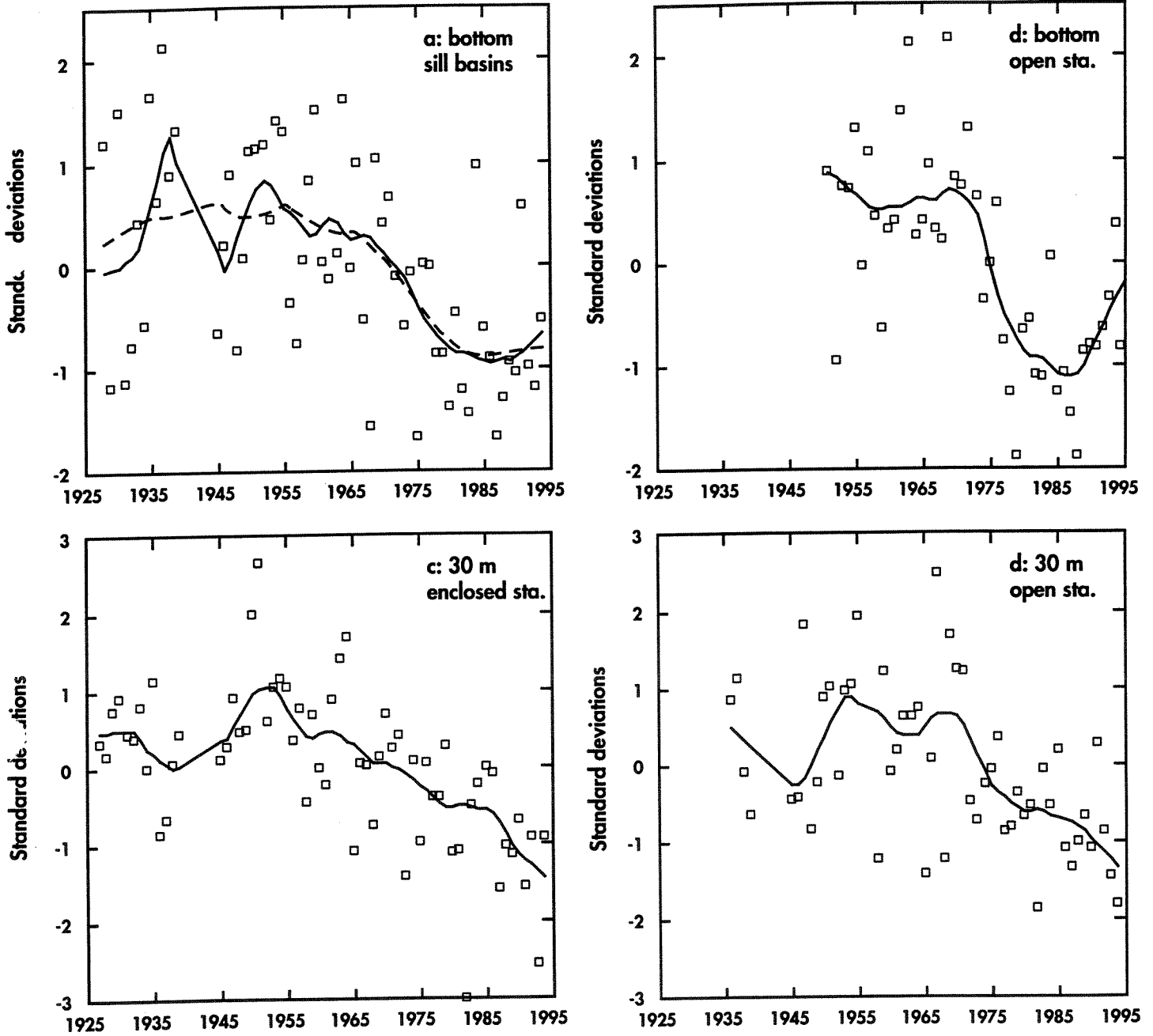
**Tabell 3.** Statistisk analyse av oksygenutviklingen om høsten i nordvestlige og østlige Skagerrak. Middelverdier for 20-års perioden 1971 - 90 ( $\text{mlO}_2/\text{l}$ ), helning av regresjonslinjen ( $dc/dt$ ,  $\text{ml/l}$  og år) og signifikansnivå ( $p$ -verdi) for en statistisk sammenligning av tidsrommene 1971 - 80 og 1981 - 90 (utdrag fra Andersson, 1996<sup>1</sup>).

Område	Parameter	Skagerrak vann	Skagerrak kystvann
Nordvest Skagerrak	$\text{O}_2$	5,97	6,11
	$dc/dt$	-0,05	-0,01
	$p$	<0,05	<0,05
Østlige Skagerrak	$\text{O}_2$	5,92	5,96
	$dc/dt$	-0,01	-0,03
	$p$	<0,05	<0,005

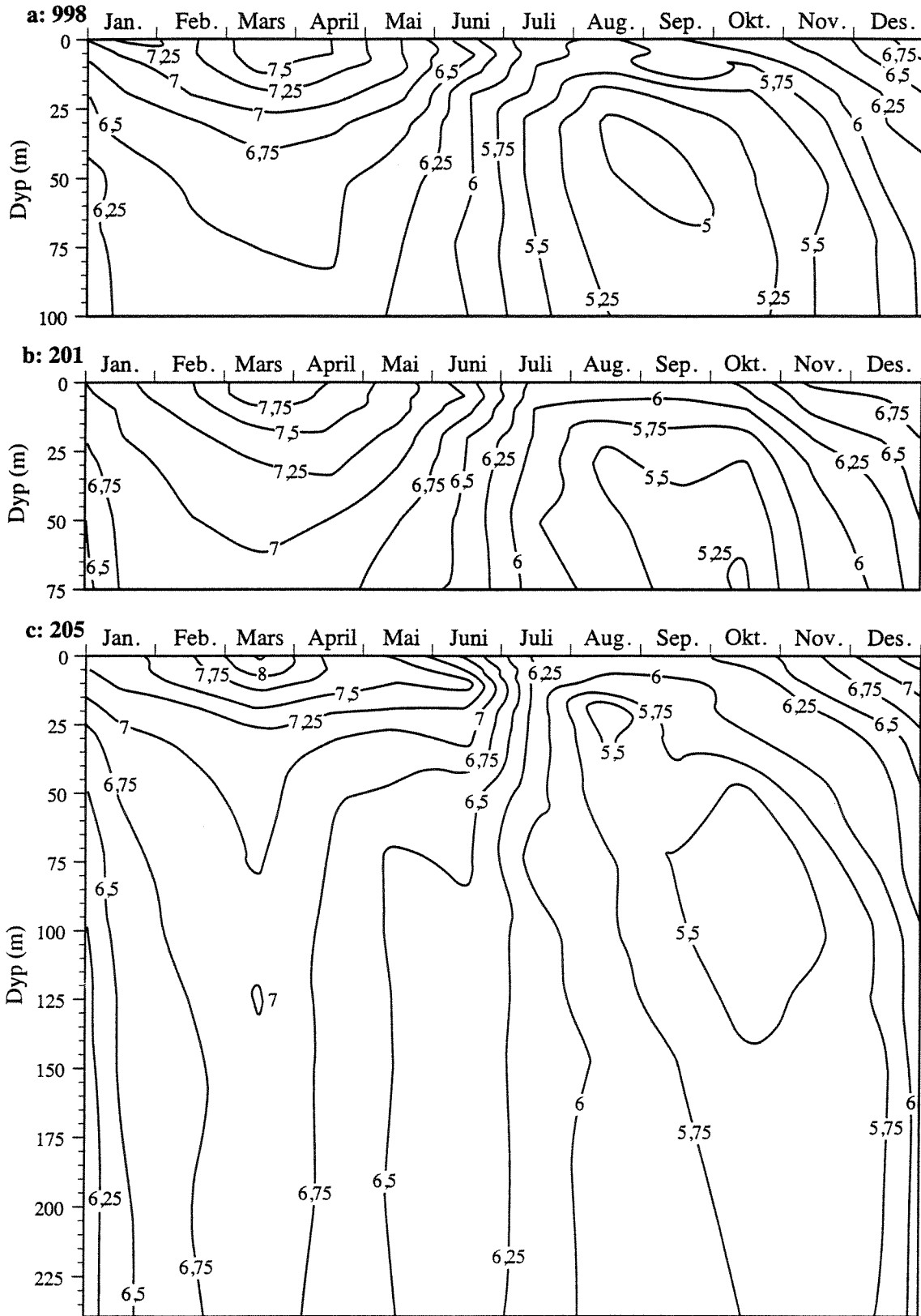
#### 3.1.2 Tidspunkt for høst-minimumet i kystvannet

I Figur 7 og Figur 8 er det gitt en oversikt over henholdsvis oksygenkonsentrasjoner ( $\text{ml/l}$ ) og oksygenmetning gjennom året som tidsmidler for hvert dyp for perioden 1990-1995 på kystovervåkningsstasjonene 998 - Jomfruland, 201 - 1 nautisk mil av Torungen og 205 - 5 nautiske mil av Torungen. I dette tidsrommet har både oksygenkonsentrasjonen og metningen vært nær sitt laveste nivå i siste halvdel av september, med de laveste verdiene i dybdeintervallet 50-150 m. For kyststasjonene har høstundersøkelsene derfor sannsynligvis registrert verdier nær års-minimum.

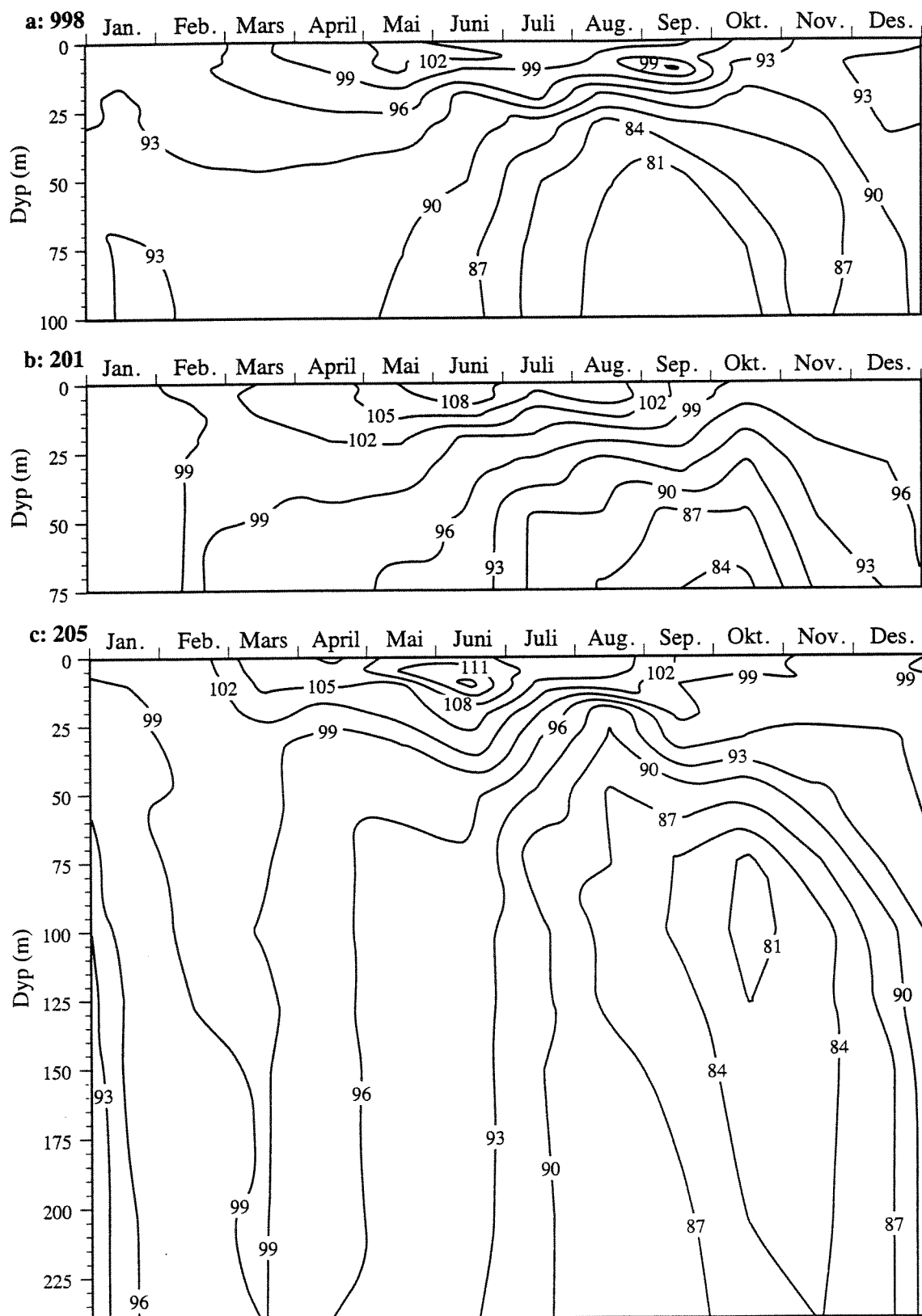
<sup>1</sup> Korreksjon av trykkfeil i originalen er gjort i samråd med forfatteren.



Figur 6. Tidsutvikling i oksygenivå (høst-data) for “frie vannmasser” langs sørlandskysten 1927-1993. Fra Johannessen og Dahl (1996b).



**Figur 7.** Gjennomsnittlige oksygenkonsentrasjoner (ml/l) gjennom året i perioden 1990-1995 på kystovervåkingsstasjonene 998, 201 og 205, basert på målinger i 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m, og 240 m. Maksimale måledyp på stasjonene framgår av dybdeaksene.



**Figur 8.** Gjennomsnittlig oksygenmetning (%) gjennom året i perioden 1990-1995 på kystovervåkningsstasjonene 998, 201 og 205, basert på målinger i 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m, og 240 m. Maksimalt måledyp på stasjonene framgår av dybdeaksene.

### 3.1.3 Oksygenutvikling siden 1955.

Oksygenutviklingen på de ytre kyststasjonene fra høsttoktene ble analysert vha. lineær regresjonsanalyse (Tabell 4). Det ble kun benyttet data etter 1955 for å sikre sammenlignbare regresjonsparametre mellom stasjonene (alle de 4 stasjonene har oksygenmålinger tilbake til 1955). Oksygenutvikling og oksygennivå er beskrevet ved henholdsvis regresjonskoeffisienten og estimert oksygenkonsentrasjon i 1995 (estimert på grunnlag av regresjonsmodellen).

**Tabell 4.** Statistisk analyse av tidsutviklingen i oksygenkonsentrasjon ( $\text{mlO}_2/\text{l}$ ) i ulike dyp på stasjon 4, 10, 100 og 121 for tidsrommet 1955 - 1995. Stigningskoeffisienten for regresjonslinjen (reg. k.), signifikans for hvorvidt stigningen er forskjellig fra 0 (p; tosidig t-test) og estimert oksygennivå i 1995.

Stasjon	20 m			30 m			50 m		
	Reg.k.	p	1995	Reg.k.	p	1995	Reg.k.	p	1995
4	-0,008	0,325	5,50	-0,006	0,299	5,35	-0,018	0,002	4,96
10	-0,019	0,008	5,38	-0,008	0,176	5,43	-0,016	0,006	5,12
100	-0,010	0,147	5,50	-0,008	0,208	5,37	-0,018	0,007	5,27
121	-0,029	<0,001	5,34	-0,026	<0,001	5,22	-0,014	0,041	5,15
Stasjon	75 m			100 m			150 m		
	Reg.k.	p	1995	Reg.k.	p	1995	Reg.k.	p	1995
4	-0,019	0,011	5,06	-0,016	0,003	5,13	-0,002	0,769	5,60
10	-0,016	0,008	5,16	0,024	0,001	5,06			
100	-0,011	0,053	5,22	-0,015	0,011	5,10	-0,015	0,001	5,35
121	-0,02	0,002	4,94	-0,02	0,005	5,04	-0,011	0,03	5,26

På alle stasjoner har det vært nedgang i oksygenkonsentrasjonen i de dyp som er inkludert i denne analysen (20-150 m). Det framkommer ikke noen klar øst-vest gradient, hverken når det gjelder oksygentrender eller oksygennivå i 1995. Johannessen og Dahl (1996a) har imidlertid påvist at det er oksygengradienter fra åpen kyst og innover i mer lukkede områder, i det både oksygennedgangen har vært raskere og oksygennivået generelt er lavere i de indre kystområder (dette gjelder også i vannmassene over terskelnivå). Siden stasjonene som inngår i denne analysen ikke ligger like langt fra kyststrømmen, kan det tenkes at en eventuell øst-vest gradient kan være overskygget av gradienten fra ytre til indre kyststrøk.

Siden nedgangen i oksygenkonsentrasjonen har vært forholdsvis liten, kan nivået i 1995 på høststasjonene sammenlignes med gjennomsnittet på kystovervåkningsstasjonene 201 og 205 (1990 - 1995). Resultatene indikerer at det er litt lavere oksygennivå på høststasjonene, som gjennomgående ligger nærmere land enn kystovervåkningsstasjonene.

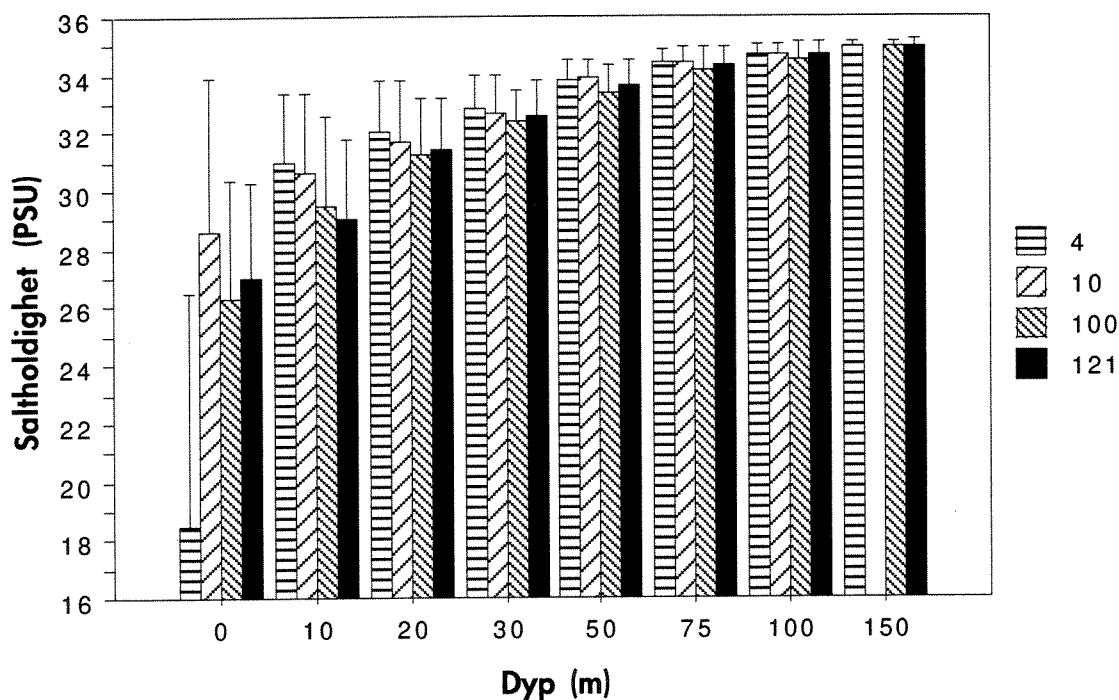
Måleseriene fra kystovervåkingen 1990 - 95 er for korte til at det kan trekkes definitive konklusjoner om trender. Men en gjennomgang av disse dataene tyder på at overflatelaget ikke har hatt reduksjoner i oksygeninnhold, og at det i dypere sjikt kan ha funnet sted en viss reduksjon på flere av stasjonene.

### 3.1.4 Relasjoner mellom dyp, saltholdighet og oksygen

Gjennomsnittlig saltholdighet i ulike dyp på stasjonene som inngår i høstundersøkelsene er gjengitt i Figur 9. I overflata er det en markert forskjell mellom stasjonene, med betydelig lavere saltholdighet på stasjon 4, noe som skyldes lokal påvirkning fra Otra og Topdalselva. Også i 10 m dyp er det

forholdsvis store forskjeller mellom stasjonene, med lavest saltholdighet på de østlige stasjonene. Fra 20 m og dypere er det kun mindre forskjeller i saltholdigheten mellom stasjonene. Dette er som forventet.

Siden det var relativt små forskjeller i saltholdigheten i dyp fra 20 til 150 m mellom høststasjonene (Figur 9), ble middelværdier for dette dybdeintervallet valgt til å beskrive den samlede oksygenutviklingen på høststasjonene, som vist i Figur 10. I alle dyp var det signifikant nedadgående trender i oksygenmetningen ( $p < 0,05$ , to-sidig t-test, ). Regresjonsanalysen indikerer at det har vært størst nedgang i 50 - 100 m dyp (noe som også framgår av Tabell 4).

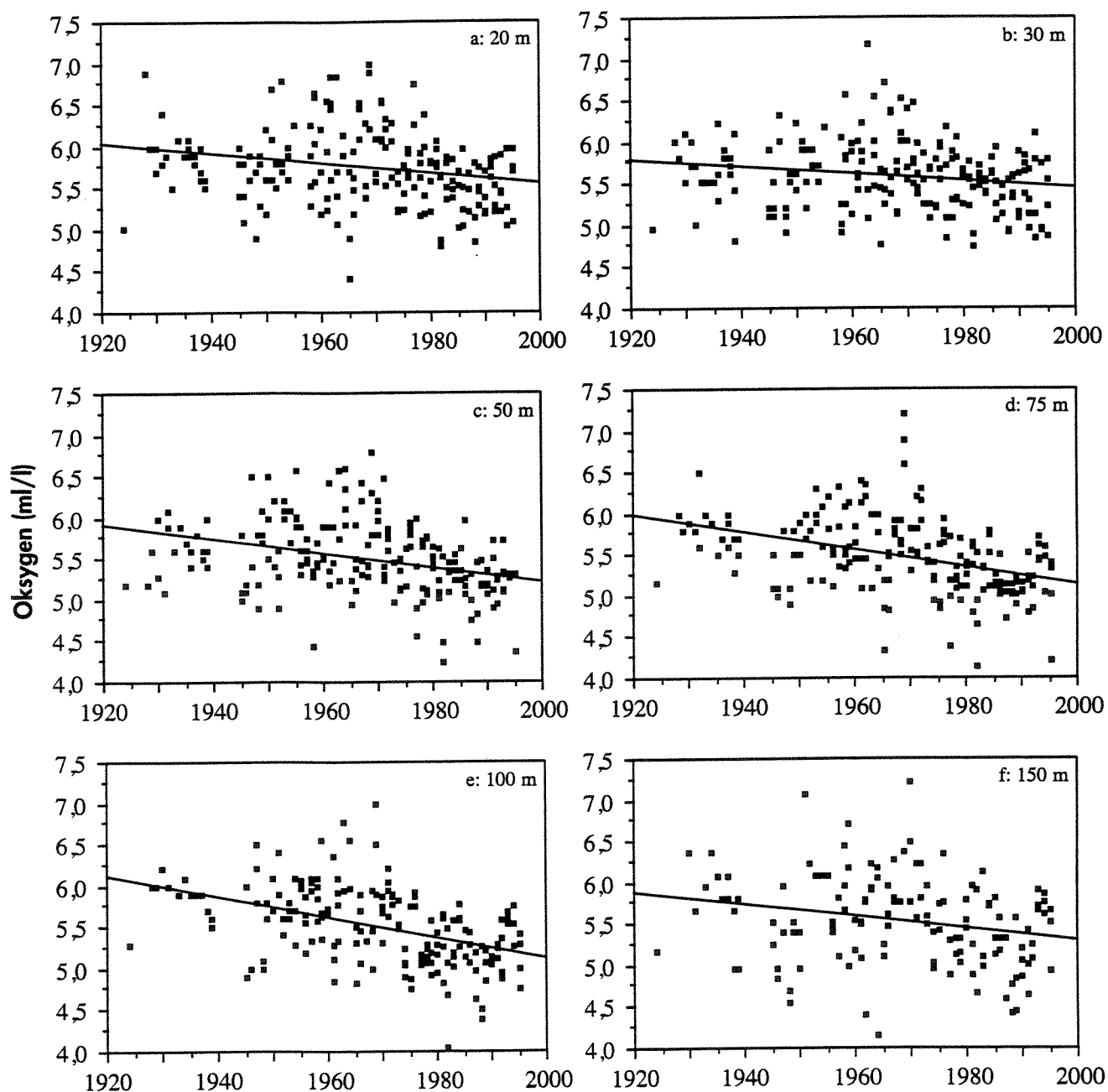


**Figur 9.** Gjennomsnitt og standardavvik av saltholdighet i ulike dyp på stasjonene 4, 10, 100 og 121 på Skagerrakkysten, Se Figur 4 for stasjonsplassering.

Siden det synes å ha vært mindre oksygennedgang i 150 m dyp enn høyere oppe i vannsøyla, ble oksygenmålingene i 150 m dyp fordelt mellom vann med saltholdighet  $>35$  (atlantisk vann) og vann med  $<35$  (Skagerrak kystvann og Skagerrak vann). I atlantisk vann har det ikke vært endring i oksygenkonsentrasjonen over tid. Endringen som ble påvist i oksygenkonsentrasjonen i 150 m dyp er derfor knyttet til vann med lavere saltholdighet enn  $<35$  (Figur 11a-b).

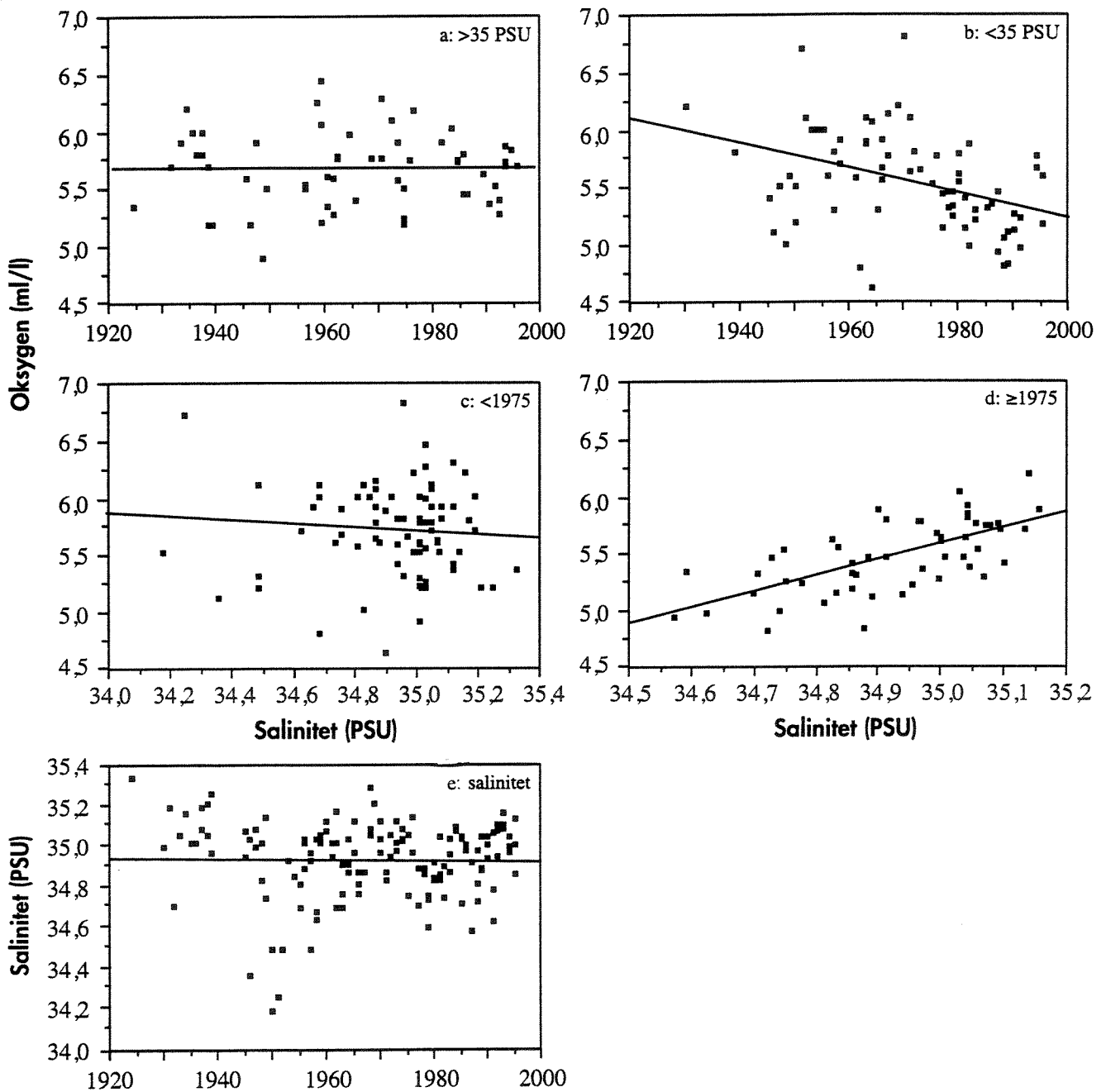
Johannessen og Dahl (1996a, 1996b) påviste at det var et markert fall i oksygenkonsentrasjonen i bunnvannet på Skagerrakkysten på midten av 1970-tallet. Måleserien for 150 m dyp ble derfor splittet opp i perioden før og etter 1975 og lineær regresjonsanalyse brukt for å klarlegge eventuelle sammenhenger mellom oksygenkonsentrasjon og saltholdighet i de to periodene (Figur 11c og d). Før 1975 var det ingen sammenheng mellom de aktuelle parametrene, mens det etter 1975 har vært en signifikant, positiv sammenheng mellom oksygen og saltholdighet ( $p < 0,0001$ ,  $r^2 = 0,44$ ).

Det har ikke vært noen endring i saltholdigheten i 150 m dyp i løpet av måleperioden (Fig. 11e). Johannessen og Dahl (1996a) fant heller ikke trender i saltholdighet i andre deler av vannsøyla. Nedgangen er altså knyttet til Skagerrak kystvann og Skagerrak vann (vannmasser med saltholdighet < 35), og tidsrommet etter ca. 1975.



**Figur 10.** Oksygenutvikling i perioden 1924-1995 i ulike dyp på stasjon 4, 10, 100 og 121 på Skagerrakkysten. Data fra de ulike stasjonene er slått sammen.





**Figur 11.** Oksygenrelasjoner i 150 m dyp på stasjon 4, 100 og 121 på Skagerrakkysten. Målingene på de ulike stasjonene er slått sammen. a) og b) oksygenutvikling i henholdsvis atlantisk vann (saltholdighet >35) og vann med saltholdighet < 35, c) og d) relasjonsplott mellom saltholdighet og oksygenkonsentrasjon henholdsvis for 1975 og i perioden 1975-1995, e) saltholdighetsutvikling i 150 m dyp.

### 3.1.5 Oppsummering

Resultatene av langtidsanalysen for kystdata fra høststasjonene viser at det har vært en signifikant nedgang i oksygenkonsentrasjonen på ytre kyststasjoner langs hele Skagerrakkysten, i hele det undersøkte dybdeintervallet, fra 10 - 150 m. Oksygen-nedgangen er knyttet til vannmasser med saltholdighet <35, mens det ikke har vært endring i oksygeninnholdet i atlantisk vann. Tidsrommet for analysen er omkring 40 år og gjennomsnittlig oksygennedgang er på 0,4 - 0,8 mlO<sub>2</sub>/l. Det er ennå god margin til de nivåer hvor oksygenforholdene om høsten må karakteriseres som mindre gode (2,5 - 3,5 mlO<sub>2</sub>/l, SFT 1997).

## 3.2 Fjordbassengene

### 3.2.1 Tidsutvikling for oksygen

Tidsutviklingen for høstminimumet i oksygen i bassengvann for endel fjorder på strekningen fra Grenland (Telemark) til Topdalsfjord (Vest Agder) er vist i Figur 12. For de fleste stasjoner sees en nedgang i oksygenkonsentrasjonene etter 1970 - 1975.

Observasjonene som er vist i Figur 12 er fra omlag samme tidspunkt hver høst (månedskiftet september/oktober) og vanligvis er det utover sensommeren og høsten stagnerende forhold og reduserte oksygenkonsentrasjoner i bassengene (Figur 2). I enkelte år vil det imidlertid inntreffe innstrømninger av oksygenrikt vann i denne perioden, noe som medfører relativt høye oksygenkonsentrasjoner i bassengvannet. Dette framstår som spredning i datamaterialet i figurene.

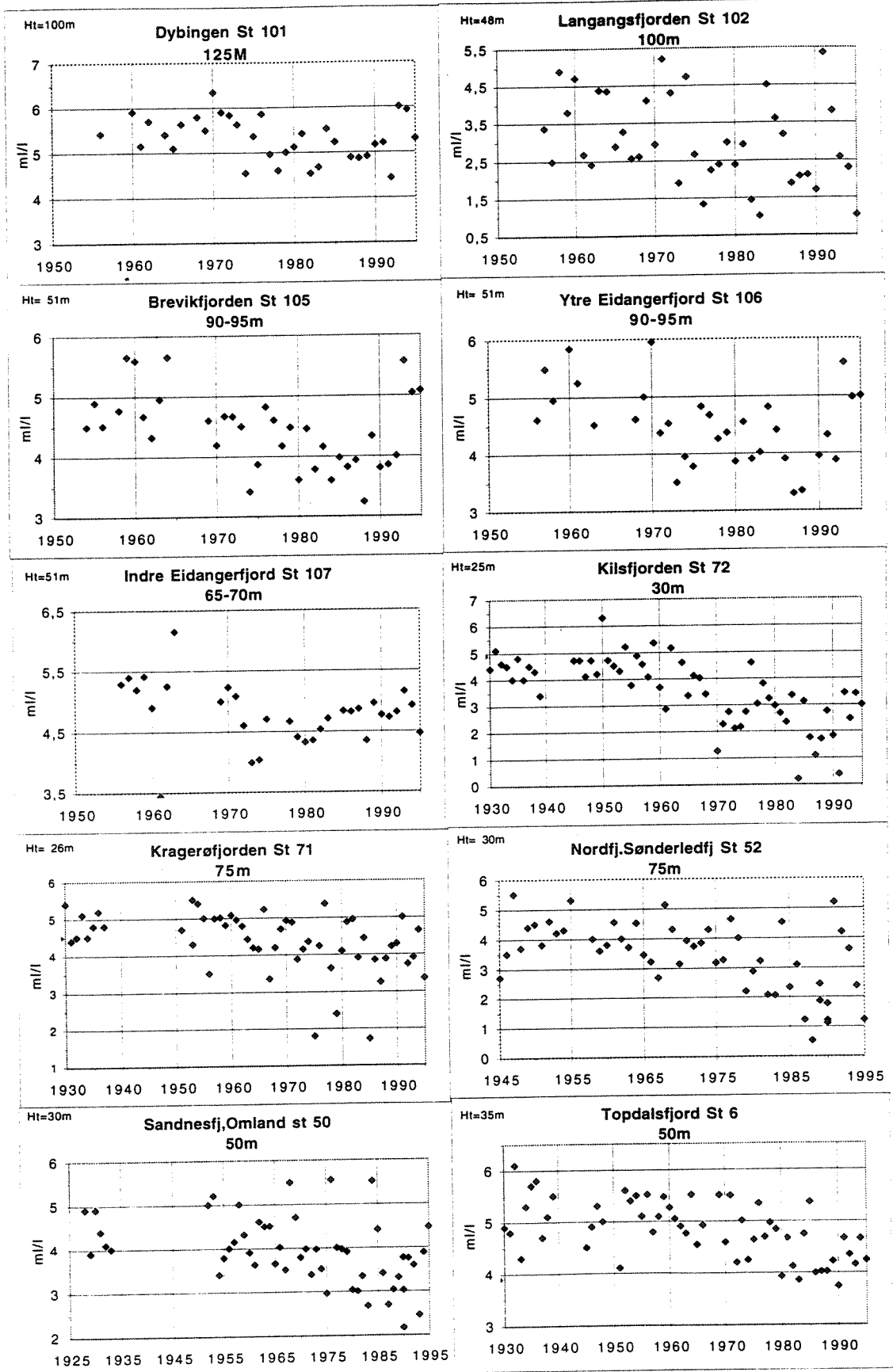
I det følgende er det antatt at de laveste observerte oksygenkonsentrasjonene representerer et "høstminimum" for de enkelte fjordbasseng. For hvert fjordbasseng er "høstminimum" før og etter omlag 1975 beregnet som median av konsentrasjonene under nedre kvartil av verdiene, dvs. de laveste 25 % av oksygenkonsentrasjonene. For de fleste fjordbassengene sees en tydelig nedgang i oksygenkonsentrasjonen etter omlag 1975 (Figur 13). Det framgår også at hyppighet av observasjoner med lave verdier har økt etter 1975.

Resultatet tyder på økt oksygenforbruk, og den prosentvise økning i oksygenforbruk i fjordbassengene (dO<sub>2</sub>/dt %) etter omlag 1975 er beregnet ved metoden som er beskrevet i kapittel 2.1. For alle fjordbassengene, unntatt Kilsfjorden og Topdalsfjorden, er DiffO<sub>2min</sub> plottet mot O<sub>2min<75</sub> (Figur 14). Kilsfjorden er utelatt fordi oksygenreduksjonen der var betydelig større enn for de andre fjordbassengene, sannsynligvis grunnet en markert lokal belastning. Topdalsfjorden ligger langt vest i forhold til de andre bassengene (se kart, Figur 4) og vil bli vurdert for seg.

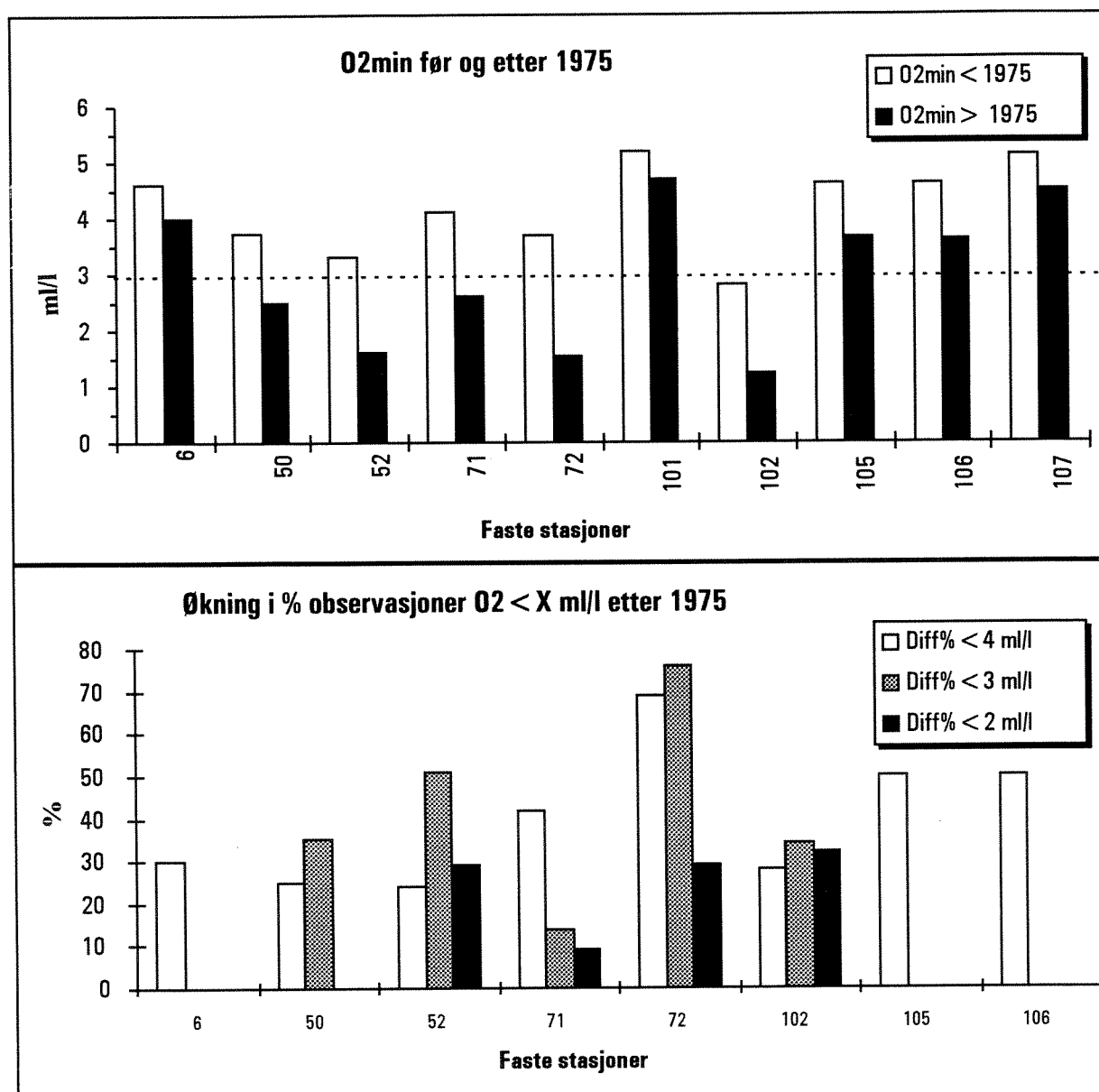
For de resterende 8 fjordbasseng fra Grenland til Risørområdet var det en god lineær korrelasjon ( $r^2=0,83$ ) mellom O<sub>2min<75</sub> og Diff O<sub>2min</sub>. Dette underbygger hypotesen om at fjordbassengene i hovedsak er regionalt påvirket og den midlere prosentvise økning av oksygenforbruket i fjordbassengene etter omlag 1975 var ca 50 % (dO<sub>2</sub>/dt % = 47,4). Dette stemmer godt overens med direkte målinger av oksygenforbruket i fjordbassenget ved Risør og Ærøybassenget utenfor Arendal (Aure et al., 1996).

Den prosentvise økning av oksygenforbruket i bassengvannet i Topdalsfjorden (St. 6) for tidsrommet etter omlag 1975, er ved ligning (1) beregnet til 25-30 %.

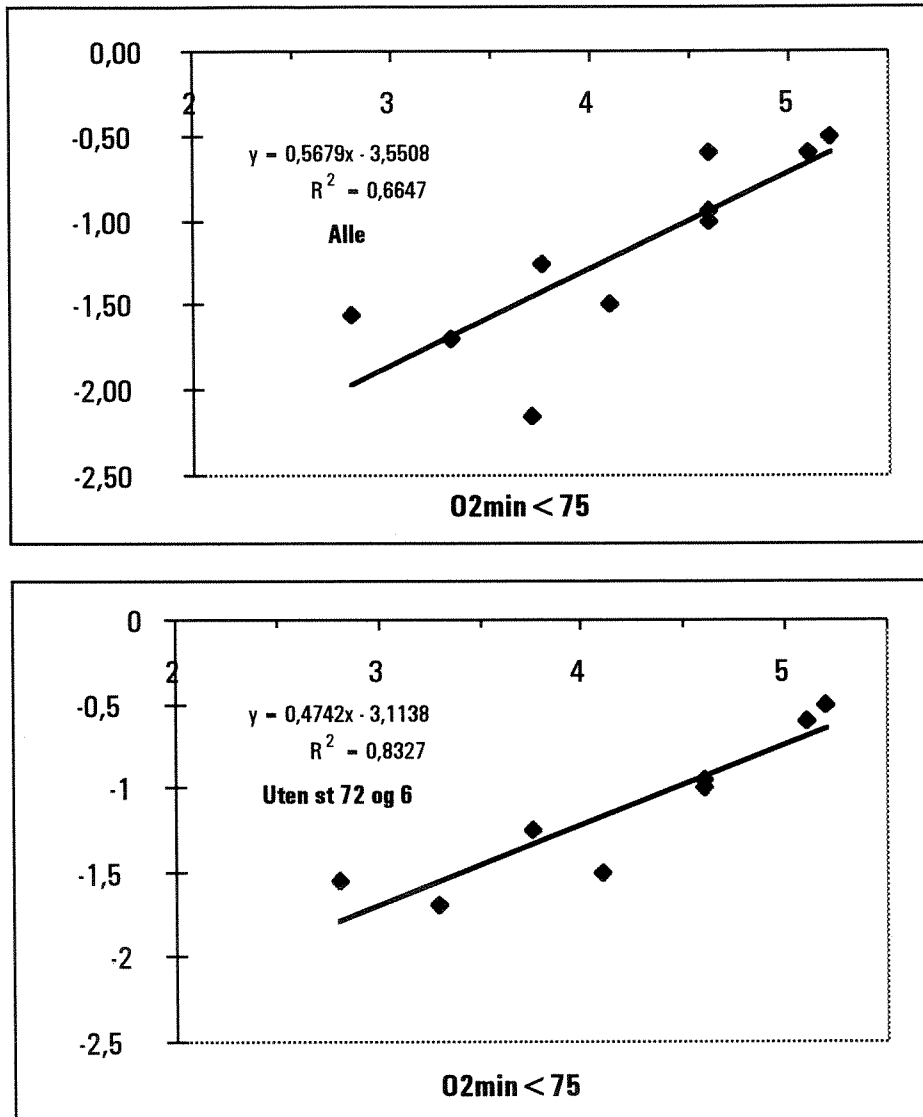
Det ser dermed ut til at den regionale økning i oksygenforbruket langs Skagerrakkysten etter 1970-årene har vært markert mindre ved Kristiansand (Topdalsfjord) enn øst for Arendal.



Figur 12. Årlige høstmålinger av oksygen på forskjellige stasjoner og dyp.



**Figur 13.** Øverst: Beregnet O<sub>2</sub>min (mlO<sub>2</sub>/l) før og etter 1975, basert på de 5-10 laveste O<sub>2</sub>-verdiene. Nederst: %-vis økning i målinger av O<sub>2</sub>min etter 1975 som ligger lavere enn h.h.v. 4, 3 og 2 ml/l.



**Figur 14.** Øverst: Relasjon mellom målte oksygenminima (ml/l) før 1975 (x-aksen) og reduksjon i oksygen minima (ml/l) etter 1975. Den største reduksjonen var i Kilsfjorden. Nederst: Samme relasjon som øverst, men med stasjon 6 (Toppdalsfjorden v/Kristiansand) og stasjon 72 (Kilsfjorden) utelatt.

### 3.2.2 Organisk belastning beregnet ut fra målt oksygenforbruk

For stagnasjonsperioder kan den vertikale fluksen av organisk materiale ( $F_c$ ) til bassengvannet ut fra støkiometriske betraktninger og ved gitte forutsetninger beregnes som funksjon av oksygenforbruket etter formelen

$$F_c = dO_2/dt * H_b / \mu \quad (3)$$

der  $H_b$  er terskelbassengets midlere dyp, og  $\mu = 2,43$  ml  $O_2/gC$ . Metoden forutsetter gode data for oksygenutviklingen i stagnasjonsperioder, samt gode topografiske data for å kunne beregne  $H_b$ .

For Rauøybassenget er resultatene hentet fra Aure og Danielssen (1996), der en tilsvarende metode ble benyttet; dvs. oksygenforbruket ble beregnet ut fra målinger av oksygen i dypvannet. For Langesundsfjorden og Gandsfjorden er også gjort beregninger basert på målinger av oksygenforbruk gjennom stagnasjonsperioder. For Langesundsfjorden ble valgt tidsrommet 13,6 - 23,8 1989, og beregningene ble utført for vannmassen i 50-105 m dyp (NIVA, unpubl. data).

For Gandsfjorden ble tilsvarende beregninger utført for tidsrommet 16.6 - 13.10 1986, og for dypintervallet 150 - 240 m (NIVA, unpubl. data). Vannmassen mellom terskeldyp (100 m) og 150 m dyp ble utelatt fra beregningene pga. tvil om stagnasjon i det aktuelle tidsrommet.

Resultatene av beregningene for  $F_c$  ved hjelp av ligning (3) ovenfor er framstilt i Tabell 5. Som grunnlag for å sammenligne de beregnede fluksene med et "bakgrunnsnivå", har vi også beregnet  $F_c$  ved hjelp av oksygenmålinger i 1986-87 i et trettitalls fjorder på Møre (Aure og Stigebrandt 1989). Der fant en følgende empiriske relasjon for fluksen  $F_c$  av organisk karbon ned i fjordbassenget som funksjon av terskeldyp  $H_t$ :

$$F_c = 5,38 - 0.07H_t \left( \text{gC/m}^2 \text{mnd} \right) \quad (4)$$

Formelen viser at fluksen avtar med økende terskeldyp, og at man derfor bør sammenligne fjorder med noenlunde like terskeldyp.

**Tabell 5.** Målt oksygenreduksjon (forbruk) i bassengvann, midlere bassengdyp ( $H_b$ ), terskeldyp  $H_t$ , beregnet org. fluks  $F_c$  ved ligning (3) og med "Møreformelen" (ligning 4), samt forholdstallet mellom de to fluksene.

Fjord	Målt $dO_2/dt$ (ml/l mnd)	$H_b$ (m)	Terskeldyp $H_t$ , (m)	$F_c$ - "målt" ( $\text{gC/m}^2$ mnd)	$F_{c \text{ MØRE}}$ ( $\text{gC/m}^2$ mnd)	$\frac{F_c}{F_{c \text{ MØRE}}}$
Langesundsfj	0,32	(50)	50	4,3	1,9	<b>2,3</b>
Topdalsfj., Kr.sand	0,4	21,5	35	3,5	2,9	<b>1,2</b>
Lafjord, Flekkefjord	0,22	53	23	4,7	3,8	<b>1,2</b>
Vestresund, Bømlo	0,6	20,8	16	5,1	4,3	<b>1,2</b>
Gjerdesvik, Tysnes	1,05	20,0	20	8,64	4,0	<b>2,2</b>
Humlevik, Tysnes	0,38	17,5	35	2,72	2,9	<b>0,9</b>
Viksefjord, Sveio	0,40	13,0	2	2,14	5,2	<b>0,4</b>

For de aktuelle sørlandsfjordene er dermed  $F_c$  også beregnet etter en formel tilpasset fjorder i Møre og Romsdal. Metoden representere en rimelig god tilnærming for å kunne relatere sørlandsfjordene til en standard referanse.

Langesundsfjorden har en betydelig større fluks av organisk materiale enn Topdalsfjorden og Lafjorden. Dette er som forventet, fordi fjorden må antas å få en stor tilførsel av organisk materiale og næringsalter fra industri og befolkning i Skien, Porsgrunn og Bamble lenger inne i fjordsystemet, samt Skienselva.

Aure et al. (1996) analyserte oksygenmålinger fra 1990 for et ti-talls fjorder på strekningen Tvedestrand-Risør, og beregnet  $F_c$  på basis av dette. Middelerdien for  $F_c/F_{c \text{ Møre}}$  var ca 1,5, og dermed litt høyere enn for Topdalsfjorden og Lafjorden lenger vest.

Rauerbassenget i Ytre Oslofjord og Gandsfjorden ved Stavanger har begge en terskel på ca. 100 m dyp. Beregning av fluksen av organisk materiale til Rauerbassenget gav  $6,6 \text{ gC/m}^2$  måned. Til sammenligning fant Aure og Danielsen (1996) ca.  $6 \text{ gC/m}^2$  måned i Ærøydypet og Gråholmdypet vest for Torungen ved Arendal. Terskeldypet for disse to bassengene er henholdsvis 62 m og 90 m. For Gandsfjorden ved Stavanger ble fluksen av organisk materiale beregnet til  $3,0 \text{ gC/m}^2$  måned. Disse resultatene for bassenger med dype terskler bør sees i sammenheng med oksygenforbruket i kystvannet (jfr. kapittel 3.1). Forklaringen på det høye oksygenforbruket i de dype kystbassengene på Skagerrakkysten kan være den nære koblingen med Skagerrakvannet og utviklingen der. Gandsfjorden ligger betydelig lenger vest, med forventet langt mindre påvirkning av Skagerrakvann enn tilfellet er for bassengene på Skagerrak-kysten.

### **Fjorder nord for Stavanger**

Selv om grensen for utredningen er satt til Stavanger, er det interessant å sammenlikne resultatene foran med tilsvarende beregninger for fjorder lenger nord på Vestlandet. Fra før har man resultater fra fjorder i Møre og Romsdal for perioden 1986-87 (Aure og Stigebrandt 1989). Spørsmålet er hvilken størrelsesorden fluksen i fjorder mellom Stavanger og Bergen har i forhold til Møre. For denne strekningen savner en kontinuerlige tidsserier og regelmessig overvåking for oksygen i typiske terskelbasseng.

Oksygenmålinger har som oftest inngått i målinger sammen med bunndyr og annet. Men en har i de aller fleste tilfellene ikke tilstrekkelig med data fra forskjellige tidspunkt innenfor en stagnasjonsperiode til å beregne oksygenforbruket, slik at nytteverdien for foreliggende problemstilling er liten. Mangelen på brukbare tidsserier for oksygen i fjorder, spesielt nord for Stavanger, er for øvrig påfallende. Det framstår et behov for etablering av en form for rutinemessig overvåking i noen utvalgte "kalibreringsfjorder" i dette området.

Fra en undersøkelse i Tysnes kommune utført av NIVA i 1992-1993 (Golmen 1994) finnes oksygendata fra to mindre små fjorder på nordsida av øya; Gjerdesvik og Humlevik. Videre har vi benyttet målinger fra en undersøkelse mellom Bømlo og Stord (Vestresundet), utført av UiB (Lie og Magnesen 1994). Også data fra en pågående undersøkelse i Sveio kommune (Viksefjord, NIVA, in prep.) er benyttet. Det dreier seg om små fjorder eller resipienter, med overflateareal mindre enn  $2 \text{ km}^2$ .

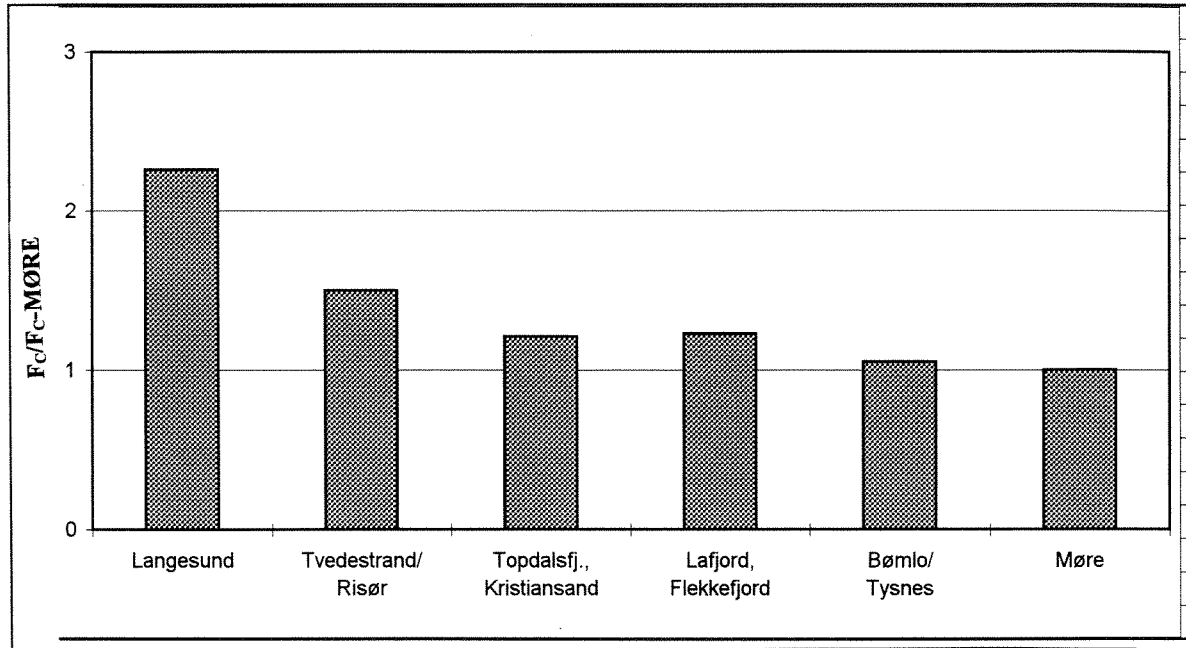
Resultatene av disse beregningene er også vist i Tabell 5.  $F_c$  er beregnet på grunnlag av målt oksygenforbruk i stagnasjonsperioder, på samme måte som for andre fjorder i Tabell 5. Midlere terskeldyp ( $H_t$ ) er også tatt med, for bruk i "Møre-formelen".

Resultatene viser sterkt varierende flukser og fluks-forhold. Den relativt høye verdien i Vestresundet (nesten på nivå med fjorder på Sørlandet) skyldes mest sannsynlig utslipp fra to store oppdrettsanlegg i resipienten. Dette er også kommentert av Lie og Magnesen (1994).

Gjerdesvik er en liten resipient (overflate  $< 0,5 \text{ km}^2$ ) med lokalt tilsig av urensset kloakk og tilsig fra dyrka mark (ikke kvantifisert). Den høye verdien må kunne sees i sammenheng med lite vannvolum under terskel i forhold til tilførselene og oppholdstiden. Viksefjorden som har den laveste verdien, ligger under alle sørlandsfjordene, noe som kan tilskrives ekstraordinær topografi med grunn terskel og lite bassengvolum (liten  $H_b$ ).

Middelverdien for  $F_c/F_{c-MØRE}$  (og tilsvarende for oksygenforbruk) er 1,15. Om vi ekskluderer høyeste og laveste verdi (Gjerdesvik og Viksefjord) får vi en middelverdi på 1,05, som vi har valgt å benytte til sammenlikning med andre områder i Figur 15. Denne verdien ligger på nivå med Møre-fjordene.

Figur 15 viser de beregnede forholdstallene i siste kolonne i tabell 5 samt de nevnte tallene for Tvedestrand-Risør området. Framstillingen er laget for å visualisere en sannsynlig gradient i organisk belastning fra Vestlandet og østover mot Ytre Oslofjord, med økende organisk belastning når en runder Lindesnes og vider østover. Den høye verdien for Langesundsforden bør som nevnt ikke tillegges vekt på grunn av stor lokal belastning.



Figur 15. Forholdstall mellom målt oksygenforbruk i bassengvannet, og teoretisk beregnet forbruk basert på "Møre-formelen".



## 4. Oppsummering og diskusjon

### 4.1 Kystvannet

Datagrunnlaget for vurderingene er en langtidsserie av oksygenmålinger (høst-toktene) fra Skagerrak og Kattegat som Havforskningsinstituttets Forskningsstasjon Flødevigen (HFF) har gjennomført siden midten av 1920-tallet, samt nyere data fra det statlige kystovervåkingsprogrammet. Sistnevnte innbefattet også svenske data fra to stasjoner ved nordlige Bohuslän, samt en stasjon fra ytre Oslofjord og to stasjoner fra Torungen-Hirtshals snittet. I tillegg ble nyere artikler som omhandler oksygen i Skagerrak/Kattegat gjennomgått og kommentert.

Pga. det begrensede datamaterialet for kystovervåkingen (kun data etter 1989/90) ble det ikke utført statistiske analyser på dette. Dog er dataene blitt vurdert og kommentert for å avdekke evt. trender. Ingen av stasjonene viser signifikante reduksjoner i overflatelaget, hvilket indikerer at mekaniske oksygenutvekslingsprosesser med atmosfæren, samt oksygenproduksjon gjennom organisk produksjon, er to så sterke prosesser at disse styrer forholdene i overflatelaget i de åpne vannmassene i Skagerrak. I de underliggende vannmassene finner en derimot signaler på oksygenreduksjon på flere stasjoner; særlig i 75m dyp.

Utredningen omkring Ytre Oslofjord som ble gjennomført i 1995/96, viste at vann i faste prøvetakingsdyp tilhørende mellomlaget hadde hatt en reduksjon i oksygenforholdene på fra 2,5 til 7 % i perioden 1970-1995. Bassengvannet hadde også hatt en signifikant nedgang i oksygenkonsentrasjoner. Dette ble i hovedsak tilskrevet økt organisk belastning i frie vannmasser utenfor Ytre Oslofjord.

Analyser av høst-data fra fra stasjoner i kystvannet viser en tydelig nedgang i oksygenkonsentrasjon og metning i 30 m dyp og nedover etter ca 1970. Dette gjelder også for bassengvann i åpne kystområder fram til ca 1987.

Svenske forskere som har gjennomgått data fra perioden 1971 - 1990 har påvist en signifikant nedgang i høst-minimumet (både konsentrasjon og metning) i Kattegat og østlige Skagerrak, og en nedgang i vestlige Skagerrak når det gjelder oksygenkonsentrasjon.

I sum sees bildet av en moderat utvikling over de siste 30 år mot lavere oksygenkonsentrasjoner om høsten i vannmassene utenfor den norske Skagerrakkysten. Hovedårsaken synes å være en regional utvikling mot større organisk belastning og lavere oksygenkonsentrasjoner i Skagerrakvannet, som utgjør en vesentlig del av norsk kystvann i denne regionen. Selv om det i samme tidsrommet har vært en betydelig økning i tilførslene av næringssalter og organisk stoff fra norsk side til Skagerrak, er dette bidraget til oksygenforbruk sannsynligvis klart underordnet virkningen av den mer storstilte, regionale utviklingen i Skagerrakvannet.

### 4.2 Fjordbassengene

Fjordbassengene vil være påvirket av den negative utviklingen i kystvannet gjennom vannutvekslingen over tersklene og mer sporadiske fornyelser av bassengvannet, samtidig som man vil forvente en sterkere innvirkning fra lokale tilførsler av organisk stoff og næringssalter til fjorder og skjærgård.

Det er gjort beregning av midlere verdi for høstminimum for periodene før og etter 1975, siden midten av 1970-tallet synes å representere et regimeskifte når det gjelder oksygenforholdene. Verdiene for de to periodene er basert på de 5 - 10 laveste målingene i hver periode. Videre er

gjort beregninger av middelvei for endring i oksygenforbruk, basert på forskjell mellom tidsmiddel og enkeltverdier for oksygenminimum innenfor hver periode.

Resultatene viser at:

- Alle de 10 undersøkte fjordene hadde en klar nedgang i middelvei for høst-minimumet.
- For fire av de utvalgte fjordene har midlere oksygenminimum falt til under ca. 3 mlO<sub>2</sub>/l, dvs. til "Mindre Godt" eller "Dårlig" forhold etter SFTs klassifisering av miljøkvalitet for fjorder og kystvann.
- Den prosentvise reduksjonen i målt oksygenminimum er størst i bassenger med lave høst-verdier i utgangspunktet.
- Midlere økning i beregnet oksygenforbruk etter 1980 er ca 50 % for fjorder mellom Grenland og Arendal, og 20 - 30 % for Kristiansandsområdet.
- Den beregnede økningen i oksygenforbruk harmonerer godt med nyere og tettere målinger av oksygenutviklingen i utvalgte fjorder, som viser verdier ca 50 % over tilsvarende verdier fra 1970-årene.
- Oksygenforbruket i fjorder øst for Arendal er i størrelsesorden 50 % over verdier som tidligere er målt i fjorder i Møre og Romsdal.

Det er funnet en regional gradient i organisk belastning fra Vestlandet og østover langs sørlandskysten. Vestlandsfjordene har verdier på rundt eller litt over forventet bakgrunnsnivå. Flekkefjord-Kristiansandsområdet ligger 20 - 30 % over, og øst for Arendal ca 50 % over bakgrunn.

Oksygenforbruket i Langesundsfjorden er ca. det dobbelte av bakgrunnsnivået, noe som trolig skyldes stor lokal belastning. Også Rauøy-bassenget i ytre Oslofjord har et oksygenforbruk som er av størrelsesorden det doble av det en forventer som bakgrunnsbelastning, trolig som følge av betydelig regional belastning kombinert med lokale tilførsler av organisk stoff og næringssalter fra Glommas utløpsområde og indre deler av Ytre Oslofjord.

### 4.3 Sluttkommentarer

På basis av resultatene fra utredningen kan det trekkes noen linjer framover både når det gjelder oppfølging, målinger og modellutvikling:

- Uten langtidsserier for oksygen som fra Havforskningsinstituttets høst-tokt ville det vært umulig å nærme seg målsettingen med rapporten, dvs. å påvise endringer i oksygenforbruk og dermed organisk belastning, og tilhørende øst-vest gradienter. Betydningen av både langtidsserier og av enkelt-serier med høy tidsoppløsning er dokumentert, og det bør være utenfor diskusjon at slike målinger må fortsette i regi av sentral miljøforvaltning.
- Lengden av tidsseriene må vurderes i forhold til naturlig variasjon i konsentrasjonene, og den nøyaktigheten man vil ha i de statistiske analysene og i øvrige beregninger. Men det er realistisk å regne med at seriene som minimum må omfatte minst 10 år.
- Mangelen av gode tidsserier for stagnasjonsperioder i terskelbasseng på sørlandskysten er påfallende. Utredningen avslører enda større mangler i data-dekning når en kommer vest for Lindesnes. Det kan argumenteres med at dette området sannsynligvis er mindre påvirket eller belastet enn områdene lenger øst. Men dersom dette er tilfelle (noe denne utredningen indikerer), så

er det av stor betydning å kunne følge utviklingen her videre dels siden dette området kanskje er det neste som står foran en regional påvirkning, og dels for å ha et godt sammenlikningsgrunnlag for fjorder lenger sør og øst. Det framstår et behov for etablering av en form for rutinemessig overvåking i noen utvalgte fjorder i dette området.

- Oksygenmålinger i fjordbasseng langs vestlandskysten har som oftest inngått i sporadiske målinger sammen med bunndyr og annet etter lokalt (kommunalt) initiativ uten langtidsperspektiv. En har i de aller fleste tilfellene ikke tilstrekkelig med data fra forskjellige tidspunkt innenfor stagnasjonsperioder til å kunne beregne oksygenforbruket, slik at nytteverdien for foreliggende problemstilling har vært liten.
- En av målsettingene med utredningen var å relatere endringer i oksygenforbruk til faktiske endringer i lokale tilførsler av nitrogen, fosfor og organisk stoff fra land, for å kunne skaffe sammenlikningsgrunnlag i forhold til vurderingene av tidsutvikling. Vi har gjort beregninger for en del fjorder, men det viste seg å være vanskelig å finne gode korresponderende data for oksygenforbruk.

## 5. Litteratur

- Andersson, L. 1996: Trends in nutrient and oxygen concentrations in the Skagerrak-Kattegat, *Journal of Sea Research* 35 (1-3): pp 63-71 (1996).
- Andersson, L. og Rydberg 1988: Trends in nutrients and oxygen conditions within the Kattegat: Effects of local nutrient supply. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1988) 26: 559-579.
- Anon, 1996: Ytre Oslofjord, Eutrofitilstand, utvikling og forventede effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av eutroforhold i fjorder og kystfarvann, SFT.
- Anon 1997: Kyststrekningen Jomfruland - Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapport 2 fra ekspertgruppe for vurdering av eutroforhold i fjorder og kystfarvann, NIVA, Oslo, 129 s.
- Aure, J., E. Dahl, H. Hovind, J. Magnusson og K. Sørensen 1994: Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Hydrografi/hydrokjemi. Datarapport 1993. Rapp. SFT 556/93, pp 1-23 + vedl.
- Aure, J. og Danielssen, D. 1996: Fjordbassengene i Ytre Oslofjord. Oksygenforbruk, organisk belastning og vannutskifting. *Fisken og Havet*, nr. 17, 1996, Bergen.
- Aure, Jan, D. Danielssen & R. Sætre 1996: Assessment of eutrophication in Skagerrak coastal waters using oxygen consumption in fjordic basins. *ICES Journal of Marine Science*, 53, pp 589-595.
- Aure, J. og Stigebrandt, A. 1989: Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastningen for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havforskningsinstituttet i Bergen. Rapport nr. FO-8803.
- Carpenter, J. H. 1965: The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen titration. *Limnology and Oceanography* Vol. 10, pp 141-143.
- Culberson, C. H. et al. 1991: A Comparison of Methods for the Determination of Dissolved Oxygen in Seawater. WHP Office Report WHPO 91-2, WOCE Report 73/91.
- Golmen, L.G. 1994: Gransking av marine resipientar i Tysnes 1992 - 1993. Rapp. nr. 3036, NIVA-Oslo/Bergen.
- Gray, J. S. & M. I. Abdullah 1996: Are there negative trends in oxygen saturation along the Norwegian Skagerrak coast? *Limnol. Oceanogr.*, 41(4), pp 810-812.
- Johannessen, T., E. Dahl og A. Sollie 1996: Overvåking av gruntvannsfauna på Skagerrakkysten - fiskeforekomster i 1994 og historiske forandringer i oksygenkonsentrasjonene 1927 - 1994. *Fisken og Havet*, in prep.
- Johannessen, T. og E. Dahl 1996a: Declines in oxygen concentrations along the Norwegian Skagerrak coast, 1927-1993: A signal of ecosystem changes due to eutrophication? *Limnol. Oceanogr.* 41(4), pp 776-778.

Johannessen, T. og E. Dahl 1996b: Historical changes in oxygen concentrations along the Skagerrak coast. *Limnol. Oceanogr.* 41 (8), in press.

Jørgensen, L. A. 1992: Integrated modelling of oxygen deficits in the Danish marine area. *Continental Shelf Research*. Vol. 12, No. 1, pp 103-114.

Lie, U. & T. Magnesen (red.) 1994: Nytt riksvegsamband Sveio-Bømlo-Stord: Konsekvenser for marint miljø. SMR-rapport nr. 16/93. Senter for miljø- og ressursstudier, Univ. i Bergen.

Magnusson, J. & K. Nygaard 1996: On continental river water in the outer Oslofjord, April 1995. Rapp. nr. 3432-96, NIVA, Oslo.

Pedersen, A., J. Aure, E. Dahl, N. Green, T. M. Johnsen, J. Magnusson, F. Moy, B. Rygg og M. Walday 1995: Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Fem års undersøkelser: 1990-1994. Hovedrapport. Rapp. nr. 3332, NIVA, Oslo, 115s.

Stigebrandt, A., 1992: Beregning av miljøeffekter i fjorder fra menneskelige aktiviteter. Lærebok for brukere av vannkvalitetsmodellen Fjordmiljø. Statens forurensningstilsyn Oslo/Ancylus Göteborg. Ancylus rapport nr. 9201, 58 s.

Stigebrandt, A., Aure, J. og Molvær, J. 1996: Oxygen budget methods to determine the vertical flux of particulate organic matter with application to the coastal waters off western Scandinavia. *Deep Sea Res.*, Vol. 43, 7-21.

Svendsen, E., G. Eriksrød & M. Skogen 1995: Kvantifisering av langtransporterte vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til ytre Oslofjord. *Fisken og Havet* nr. 15.

Welsh, B. L. & F. C. Eller 1991: Mechanisms Controlling Summertime Oxygen Depletion in Western Long Island Sound. *Estuaries* Vol. 14. No. 3, pp 265-278.