Overvåking av Grenlandsfjordene 2000

Oksygenforhold og vannutskiftning

Statlig program for forurensningsovervåking

Rapport 823/01
TA-1803

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor
Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen
Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen
Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen
Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva
9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel	Løpenr. (for bestilling)	Dato
Overvåking av Grenlandsfjordene 2000 Oksygenforhold og vannutskiftning Overvåkingsrapport nr. 823/01. TA-nr. 1803/2001	4374-2001	21.5 2001
	Prosjektnr. Undernr. 803129	Sider Pris 23 + vedlegg
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Generelle marine undersøkelser	Distribusjon
	Geografisk område Telemark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e)	Oppdragsreferanse
Statens forurensningstilsyn, Oslo	

Sammendrag

Den foreliggende rapport presenterer resultater fra målinger av oksygen i Grenlandsfjordene i 2000. Ved slutten av 2000 hadde dypvannet i Frierfjorden vært stagnant i nær 5 år, som er den lengste perioden uten dypvannsfornyelse som hittil er registrert. Hydrogensulfid ble registrert under 70-75 m dyp, men forholdene var vesentlig bedre enn under stagnasjonsperioder på 70- og 80-tallet. Vannmassen der hydrogensulfid opptrådte var i 2000 mindre enn 30% av vannmassen på begynnelsen av 70-tallet. Årsaken er redusert oksygenforbruk pga. vesentlig mindre tilførsel av næringsalter og organisk stoff. Oksygenforholdene i Frierfjordens dypvann gir nå langt større rom for marine organismer enn tidligere. I Langesundsfjorden var det gode oksygenforhold. I Håøyfjorden er det ikke funnet dokumentasjon for bedre oksygenforhold, og eventuelle endringer er trolig relativt små mot en bakgrunn av store naturlige variasjoner.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Grenlandsfjordene	1. Grenland fjords
2. Overvåking	2. Monitoring
3. Oksygen	3. Oxygen
4. Utvikling	4. Trend

Prosjektleder Forskningsleder Forskningssjef

ISBN 82-577-4013-6

Forord

Rapporten presenterer resultater fra overvåkingen av oksygenforhold i enkelte fjordbassenger i Grenlandsfjordene i 2000. Overvåkingen inngår i Statlig program for forurensningsovervåking, som administreres av Statens forurensningstilsyn (SFT). Undersøkelsen er finansiert av SFT, den lokale industrien (Hydro Porsgrunn Industripark, Norsk Hydros petrokjemiske anlegg i Bamble, Elkem PEA A/S og A/S Union) samt kommunene Bamble, Porsgrunn og Skien.

Redegjørelsen er kortfattet og legger vekt på en vurdering av oksygenforholdene i forhold til gjeldende miljøkvalitetskriterier og sett i forhold til vannutskiftningen. Resultatene er blant annet av betydning for prosjektet "Dioksiner i Grenlandsfjordene (DIG) som gjennomføres i tidsrommet 2000-2002. Rapporten tar ikke sikte på noen inngående analyse av alle forhold som er med og påvirker oksygenforholdene i Grenlandsfjordene.

Rødmyr Miljøsenter har hatt ansvaret for prøveinnsamling og de aller fleste vannanalysene. Spesielt takkes Kjetil Barland for godt samarbeid.

Ved NIVA har fagassistent Unni Efraimsen hatt ansvar for den primære databehandlingen. Undertegnede har vært prosjektleder og har forfattet rapporten.

Oslo, 21.5 2001

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag **5**

Summary **6**

1. Innledning **7**

2. Beskrivelse av feltarbeid og metoder **7**

3. Vurderingsgrunnlag **10**
3.1 Meteorologiske forhold 10
3.2 Ferskvannstilførsel 11
3.3 Miljøkvalitetskriterier 11

4. Resultater **12**
4.1 Frierfjorden 12
4.2 Langesundsfjorden 15
4.3 Håøyfjorden 18

5. Sammenfattende vurdering **20**
5.1 Tilstand 20
5.2 Utvikling i fjordområdet 20
5.2.1 Tilførsel av næringsalter og organisk materiale 20
5.2.2 Frierfjorden 21
5.2.3 Langesundsfjorden og Håøyfjorden 23

6. Litteratur **23**

Vedlegg A. Måle- og analysemetoder **24**

Vedlegg B. Data **25**

Sammendrag

Siden begynnelsen av 1970-tallet har man påvist negative virkninger fra store utslipp av næringssalter og organisk stoff til Grenlandsfjordene. Utslipp og virkninger har vært størst for Frierfjorden, men belastningen har også medført problemer i fjordområdet utenfor Brevik. Grenlandsfjordene har flere bassenger med liten vannfornyelse og oksygenproblemene her har vakt bekymring. Den siste større vannfornyelsen i Frierfjoren og Håøyfjorden foregikk våren 1996. Den foreliggende rapport presenterer resultater overvåking av oksygenforholdene i 2000. Målet har vært å gi en ajourført beskrivelse av tilstanden. I tillegg gjøres en vurdering av utviklingen i Frierfjorden de siste 20-25 år. Hovedkonklusjonene er:

Tilstanden:

Fra våren 1996 til januar 2001 har det ikke vært utskiftning av betydning av dypvannet i Frierfjorden eller i Håøyfjorden. For Frierfjorden er dette den lengste perioden uten noen større vannutskiftning som har vært registrert siden 1974. I denne stagnasjonperioden har oksygenforholdene gradvis forverret seg, og i Frierfjorden ble det etterhvert registrert meget dårlige forhold under ca. 60 m dyp og hydrogensulfid dypere enn 70-75 m dyp.

I Håøyfjorden ble det etterhvert meget dårlige forhold under ca. 100 m dyp, men hydrogensulfid har ikke vært registrert. Langesundsfjorden har hyppig påfyll av oksygenrikt vann fra Langesundsbukta og oksygenforholdene har jevnt over vært meget gode i alle vannlag.

Utviklingen:

Siden overvåkingsprogrammet begynte i 1974 har tilførslene av organisk stoff og næringssalter til Frierfjorden blitt vesentlig redusert og oksygenproblemene har avtatt. Mens det på 1970-tallet ble registrert hydrogensulfid under ca. 40 m, ligger nå øvre grense omkring 70 m og hydrogensulfid opptrer mye sjeldnere enn før. Vannvolumet hvor hydrogensulfid opptrer er tilsvarende redusert fra ca. 236 mill. m^3 til ca. 68 mill. m^3 (reduksjon med mer enn 70%).

Beregninger av oksygenforbruket i Frierfjordens dypvann samsvarer med dette bildet, og tyder på at forbruket er mer enn halvert siden begynnelsen på 1970-tallet. I 1996 og i de etterfølgende år var oksygenforbruket relativt lavt sammenlignet med det som er målt av forbruk i andre fjordbasseng på Skagerrakkysten under første halvdel av 1990-tallet.

I fjordområdene utenfor Brevik er det vanskeligere å bedømme utviklingen. I større grad enn Frierfjorden er disse områdene påvirket fra to sider:

- Redusert tilførsel av organisk materiale fra Frierfjorden og muligens noe mindre nedbrytning av biomasse som er produsert av næringssalter inne i fjordområdet. Det siste er imidlertid ikke bekreftet verken av klorofyll a eller av vurderinger om nitrogen eller fosfor opptrer som begrensende faktor for algeveksten.
- En økt tilførsel av organisk materiale fra kystvannet.

Sammenlignet med målingene fra 1974-77, fra 1988-89 og 1994-97 ser man ikke klare tendenser til forbedring. Til dels kan dette skyldes at eventuelle endringer har vært små på en bakgrunn av store variasjoner, og at det foreliggende datamaterialet ikke strekker til for å avgjøre om små endringer har funnet sted. Særlig gjelder dette for Håøyfjorden. På den annen side: det er ingen data som peker i retning av forverring av tilstanden.

Summary

Title: Monitoring of the Grenland fjords 2000. Oxygen conditions and water exchange.
Year: 2001
Author: Jarle Molvaer
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4013-6

The report presents results from monitoring of the oxygen conditions of the Grenland fjords in 2000. By the end of 2000 the deep water of the Frierfjord had been stagnant for nearly 5 years, the longest period without deep-water renewals since the monitoring started in 1974. Hydrogensulphide was detected below 70-75 m depth, but compared to the situation at the beginning of the 1970-ies the water mass affected by hydrogensulphide has been reduced by 70%. The deep areas of the Frierfjord now offer much more room for marine organisms than before. This improvement is caused by reduced discharges of nutrients and organic matter.
In the Langesundsfjord the oxygen conditions were good. In the Håøyfjord deep water the oxygen conditions were critical, but hydrogensulphide was not detected. Possible long-term changes are obviously small compared to a background of larger natural variations.

1. Innledning

I 1996-97 ble det innenfor Statlig program for forurensningsovervåking gjennomført en bred undersøkelse av vannkjemiske forhold i fjordområdet, med hovedvekt på næringssalter og oksygenforhold. Sammenlignet med tilstanden på slutten av 80-tallet viste denne undersøkelsen betydelige forbedringer av vannkvaliteten (Molvær, 1999).

Hva virkninger av næringssalter og organisk stoff angår, var imidlertid Grenlandsfjordene ved årsskiftet 1997/98 fortsatt inne i en periode der man kunne regne med at forholdene bedret seg. I 1996 ble det kommunale avløpet fra Skien sentrum overført til Knardalstrand renseanlegg og Union Bruk fullførte sitt renseprogram. I november/desember 1997 ble avløpsvannet fra Knardalsstrand renseanlegg ført ut på 30 m dyp i Frierfjorden. Dette var tiltak som ventes å bedre vannkvaliteten både i fjordområdets dypvann og overflatelag.

For å følge med utviklingen ble det besluttet å videreføre et lokalt organisert program med fokus på miljømålene om "produktive forhold" i dyplagene (gode oksygenforhold).

Resultatene fra overvåkingen i 1998-99 ble gjengitt i Molvær (2000).

2. Beskrivelse av feltarbeid og metoder

Stasjonene som inngikk i undersøkelsen er vist i **Figur 1**, mens **Figur 2** illustrerer hvordan stasjonene er plassert i de tre bassengene. Det er gjort 5 målinger av oksygen, temperatur og saltholdighet fra overflatelaget og til bunn. Tidspunktene er gjengitt i **Tabell 1**.

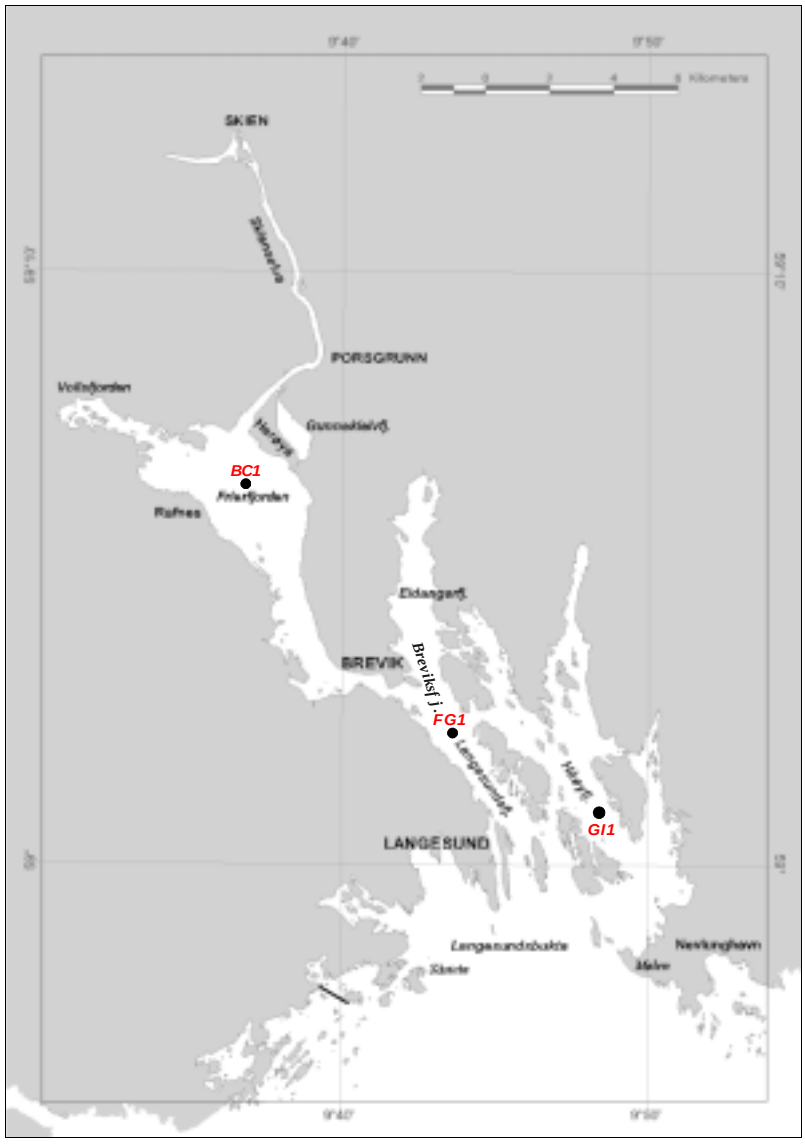
Tabell 1. Tidspunkt for målinger i Grenlandsfjordene

Dato	Område	Av hvem
4. april 2000	Frierfjorden, Langesundsfj. og Håøyfjorden	HFF[1)]
30. mai 2000	Frierfjorden, Langesundsfj. og Håøyfjorden	NIVA
26. juni 2000	Frierfjorden	HFF[1)]
5. september 2000	Frierfjorden, Langesundsfj. og Håøyfjorden	NIVA
5. januar 2001	Frierfjorden, Langesundsfj. og Håøyfjorden	NIVA

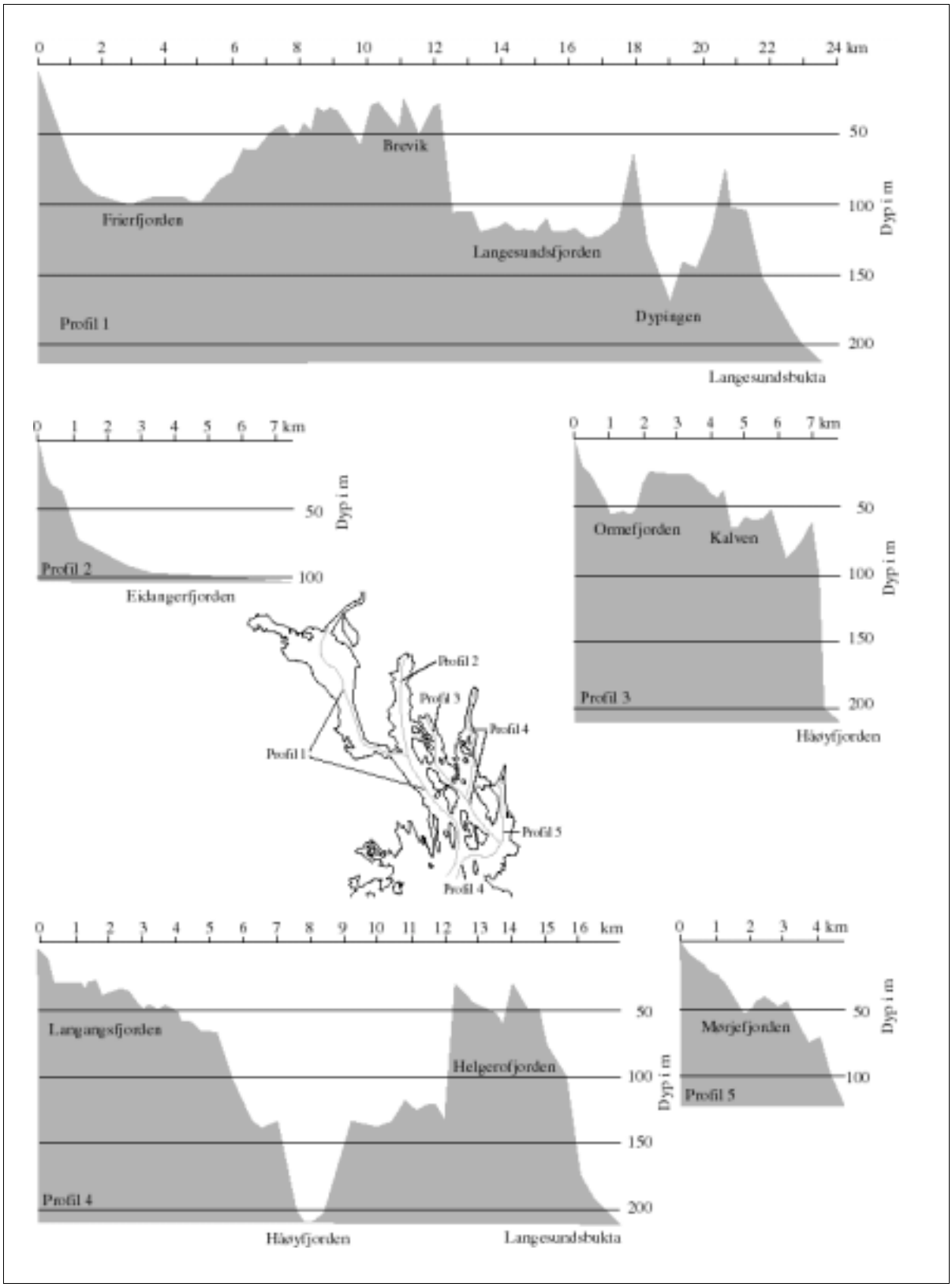
[1)] Havforskningsinstituttet Forskningsstasjon Flødevigen

Målingene den 4. april og 26. juni ble gjort som en del av forskningsprogrammet ”Dioksiner i Grenlandsfjordene”.

Metodikken er beskrevet i Vedlegg A.



Figur 1. Grenlandsfjordene med stasjoner for måling av oksygen i dypvannet.



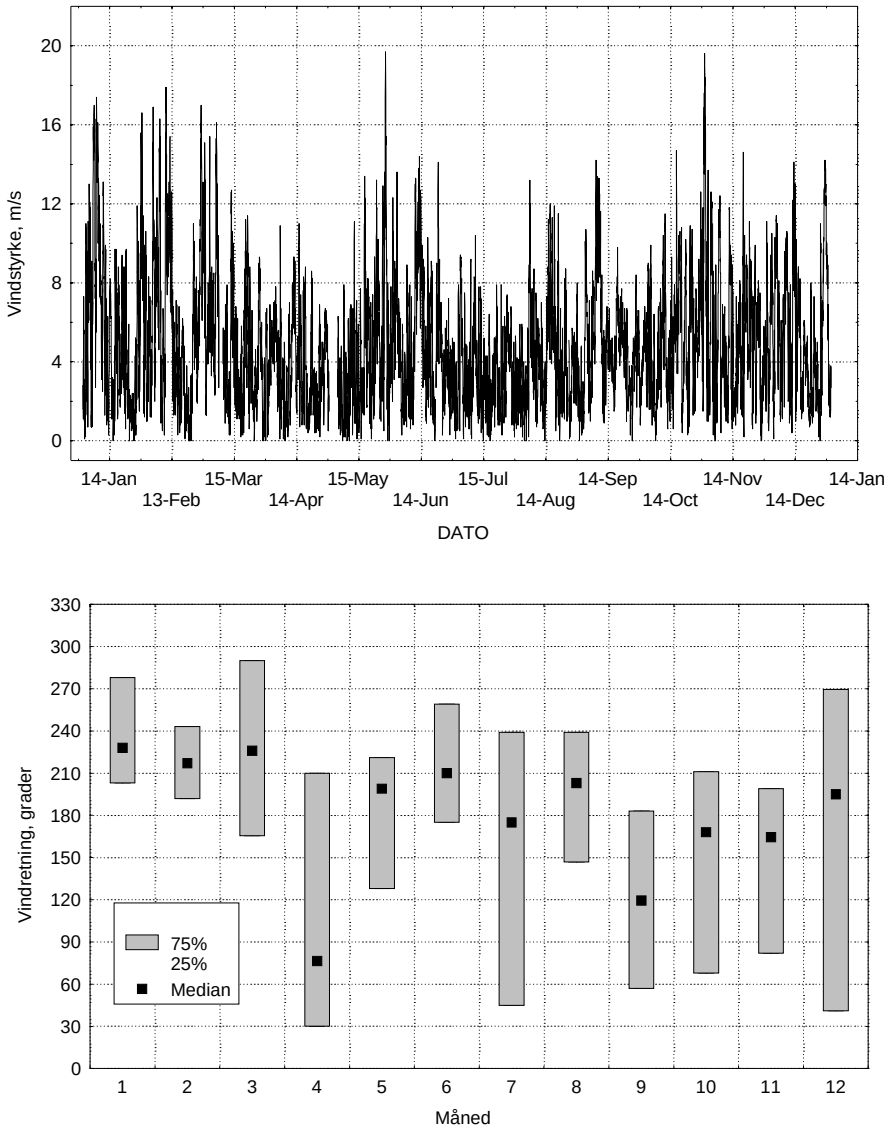
Figur 2. Grenlandsfjordene. Bunnprofiler som viser de forskjellige bassengene. Håøyfjorden, Langesundsfjorden og Frierfjorden har terskeler som er henholdsvis ca. 30 m, 55 m og 23 m dyp. Merk at Frierfjordens dypvann er adskilt fra kystvannet av både "sin egen" terskel og Langesundfjordens terskel.

3. Vurderingsgrunnlag

3.1 Meteorologiske forhold

Vindforholdene på kysten har stor betydning for sjansene for innstrømming av kystvann med så høy egenvekt at det medfører en utskiftning av dypvannet i fjordbassengene innenfor. Gunstigst vindretning er mellom vest og nord (270-360 grader) i tidsrommet februar-april og med relativt høy vindstyrken over perioder på flere uker.

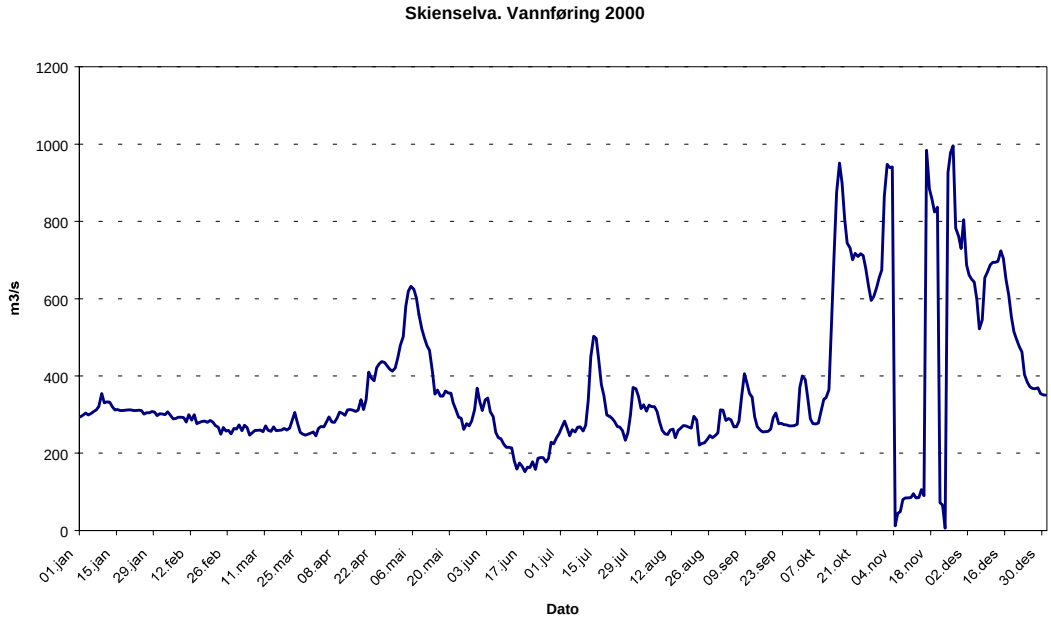
I 2000 var det overveiende vind fra øst-sørvest i det aktuelle tidsrommet og vindforholdene var sannsynligvis ikke optimale for innstrømninger verken mht. retning eller vindstyrke (**Figur 3**).



Figur 3. Vindstyrke (timesverdier) og vindretning (månedsverdier) på Jomfruland i 2000. Kilde: DNMI

3.2 Ferskvannstilførsel

Ferskvannstilførselen til fjordområdet vil påvirke vannkvaliteten i overflatelaget. Som et grunnlag for etterfølgende vurderinger vises døgnverdier av vannføringen målt ved NVEs vannmerke ved utløpet av Norsjø i 2000 (**Figur 4**). Ferskvannstilførselen fram til høsten var jevnt over noe lavere enn i 1999. NVE opplyser at målingene under flommen i oktober-november ikke er pålitelige.



Figur 4. Døgnverdier av vannføringen i Skiensvassdraget i 2000 målt ved utløpet av Norsjø (data fra NVE). NVE oppgir at data fra okt.-nov. har en betydelig feilmargin.

3.3 Miljøkvalitetskriterier

Som grunnlag for bedømmelse av klorofyllkonsentrasjoner og oksygenforhold, viser **Tabell 2** klassifiseringsgrunnlaget i SFTs veiledning i klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann.

Tabell 2. Tilstandsklassifisering for oksygen (fra Molvær et al., 1997).

	Tilstandsklasser				
Parameter	**I** **Meget god**	**II** **God**	**III** **Mindre god**	**IV** **Dårlig**	**V** **Meget dårlig**
Oksygen	**>5.5**	**4.5-3.5**	**3.5-2.5**	**2.5-1.5**	**<1.5**

4. Resultater

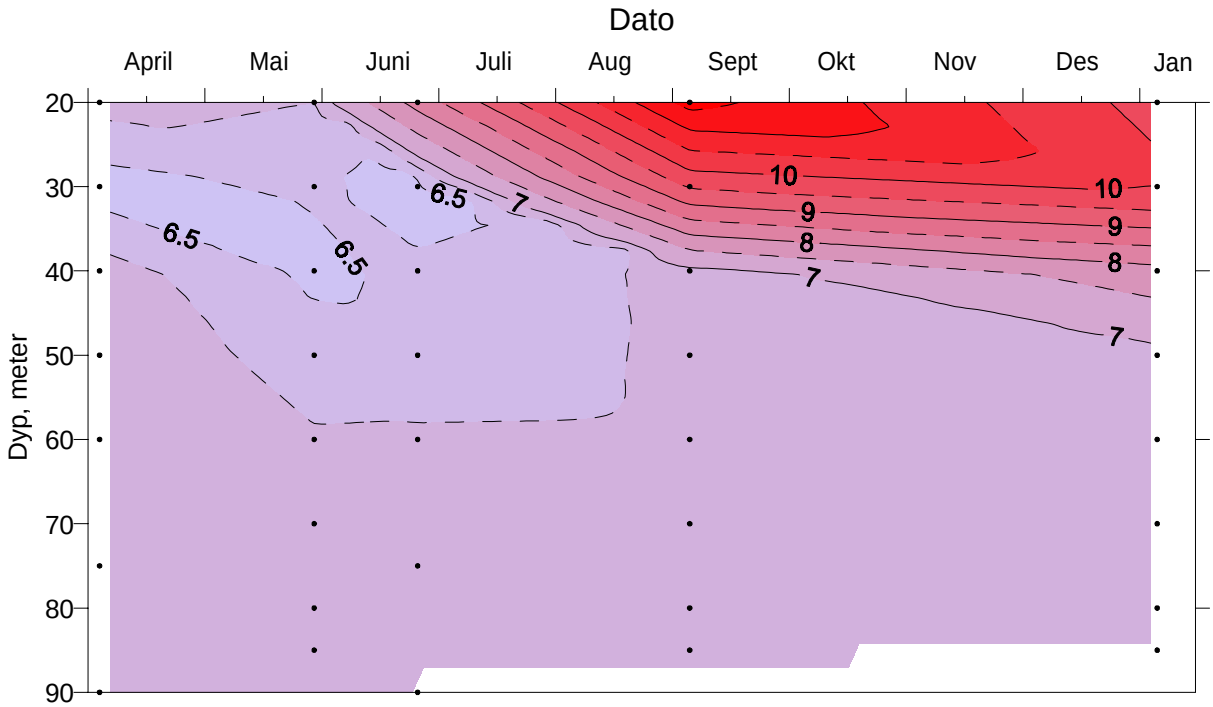
4.1 Frierfjorden

Alle data er gjengitt i Vedlegg B. Frierfjordens terskel mot Langesundsfjorden ligger på ca. 23 m dyp mellom de to bruene ved Brevik. I tillegg har Langesundsfjorden en terskel på ca. 55 m dyp mot Langesundsbukta og kystvannet. Disse to tersklene med et stort fjordbasseng i mellom fører til relativt sjeldne utskiftninger av dypvannet i Frierfjorden. Konklusjonen etter målingene i 1996-99 var at oksygenforholdene har forbedret seg vesentlig siden overvåkingen begynte på starten av 1970-tallet (Molvær 1999, 2000). Dette sees ved lavere oksygenforbruk, og følgelig ved at oksygenkonsentrasjonen avtar langsommere enn tidligere og at grensen for hydrogensulfid mot slutten av lange stagnasjonsperioder ligger betydelig dypere enn før. Marine organismer har dermed fått vesentlig større livsrom enn tidligere.

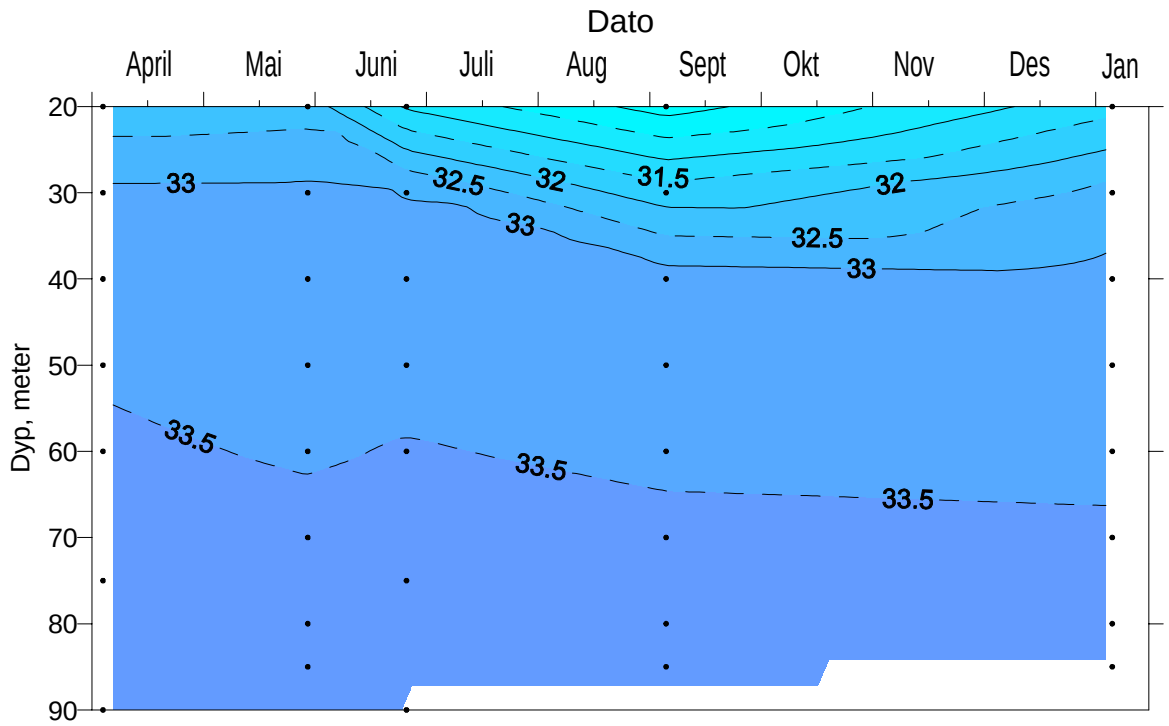
Den siste utskiftningen av Frierfjordens dypvann foregikk våren 1996 og i tiden etterpå har oksygenforholdene gjennomgått en gradvis forverring der hydrogensulfid igjen ble påvist nær bunnen i 1998 og grensen for "Meget Dårlig" vannkvalitet (1.5 mlO_2/l) forflyttet seg oppover til ca. 50 m dyp høsten 1999.

I 2000 omfattet oksygenmålingene vannmassen fra 20 m til 80/85 m dyp, og resultatene er vist i **Figur 7**. I figuren er tilstandsklassene for miljøkvalitet vist med noenlunde samme fargekode som i SFTs veiledning, og hydrogensulfid er gitt svart farge. Tidspunkt og dyp for oksygenmålinger er vist med "svarte punkt". I april-mai foregikk en innstrømning av kystvann og nivået for 1.5 mlO_2/l forflyttet seg fra ca. 55 m ned til noe under 60 m dyp, for så å heves opp mot 60 m dyp etter at vannutskiftningen stoppet opp. Vårens innstrømning av nytt vann var altså ikke tilstrekkelig til å gi noen vesentlig forbedring av oksygenforholdene i dypvannet.

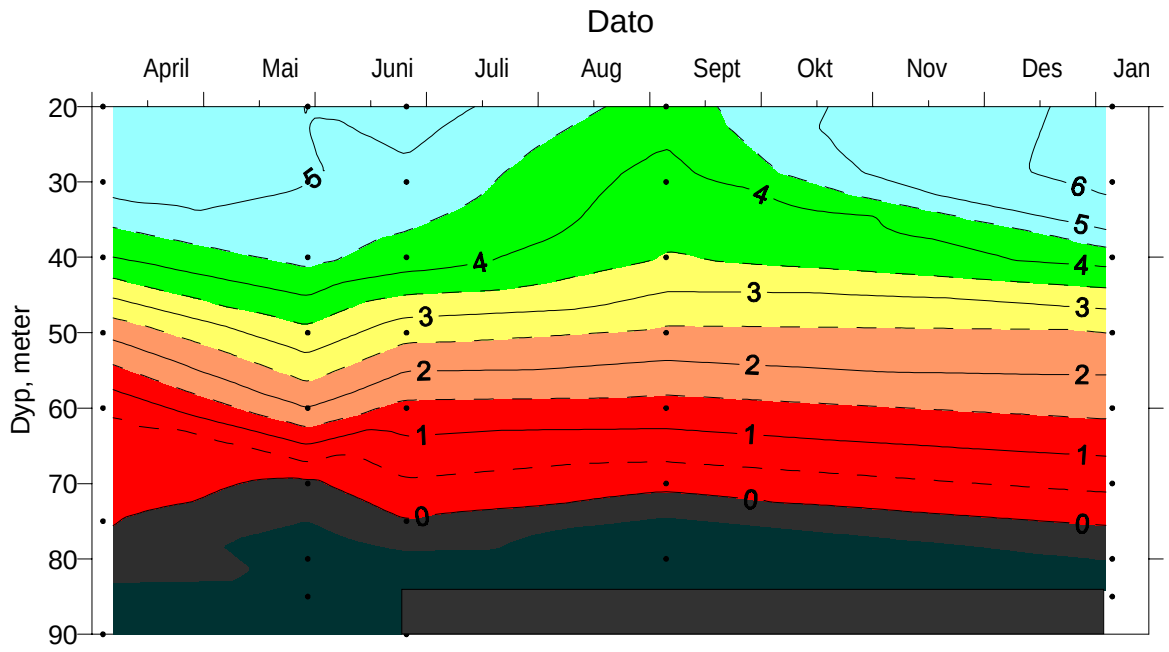
Ved årskiftet 2000/2001 har Frierfjordens dypvann i hovedsak vært stagnant i nærmere 5 år. En så lang stagnasjonsperiode har ikke vært påvist siden den regelmessige overvåkingen startet i mars 1974, og hovedårsaken er sannsynligvis at den fullstendige dypvannsfornyelsen i etterkant av den uvanlig kalde vinteren 1996 brakte svært tungt vann (lav temperatur og høy saltholdighet) inn i fjorden. Dette har blitt liggende der og det tar lang tid før egenvekten har avtatt så mye at forholdene på ny ligger til rette for en dypvannsfornyelse.



Figur 5. Frierfjorden. Temperatur i dypvannet fra april 2000 til januar 2001.



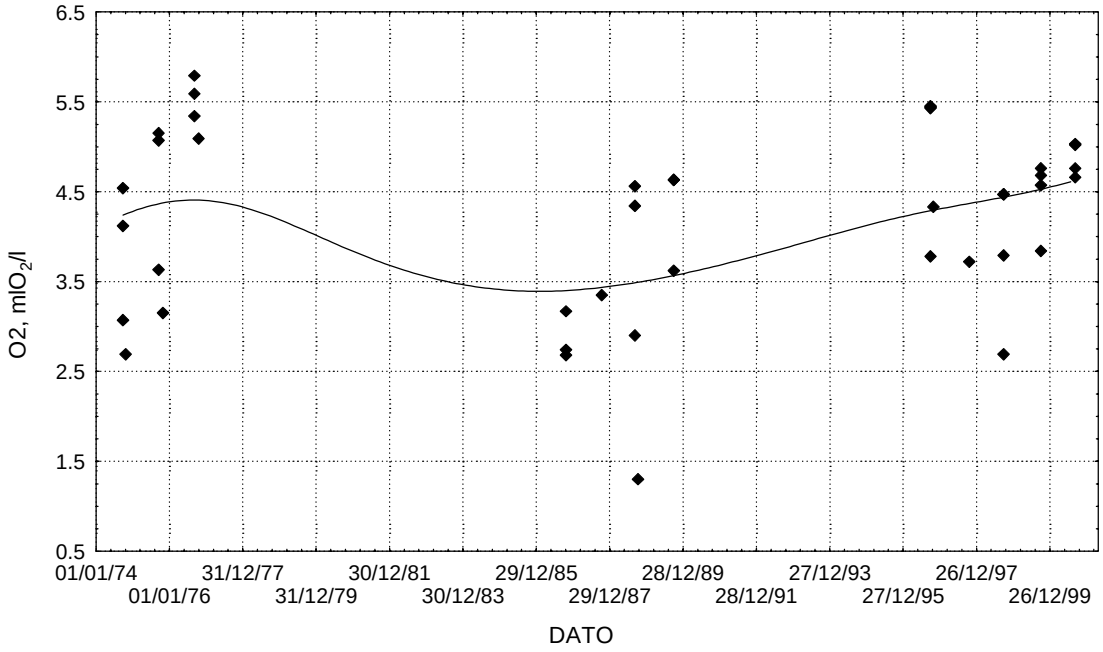
Figur 6. Frierfjorden. Saltholdighet i dypvannet fra april 2000 til januar 2001



Figur 7. Frierfjorden. Oksygen i dypvannet fra april 2000 til januar. Fargekoden viser til SFTs kriterier for klassifisering av tilstand (**Tabell 2**). Hydrogensulfid er gitt svart farge.

4.2 Langesundsfjorden

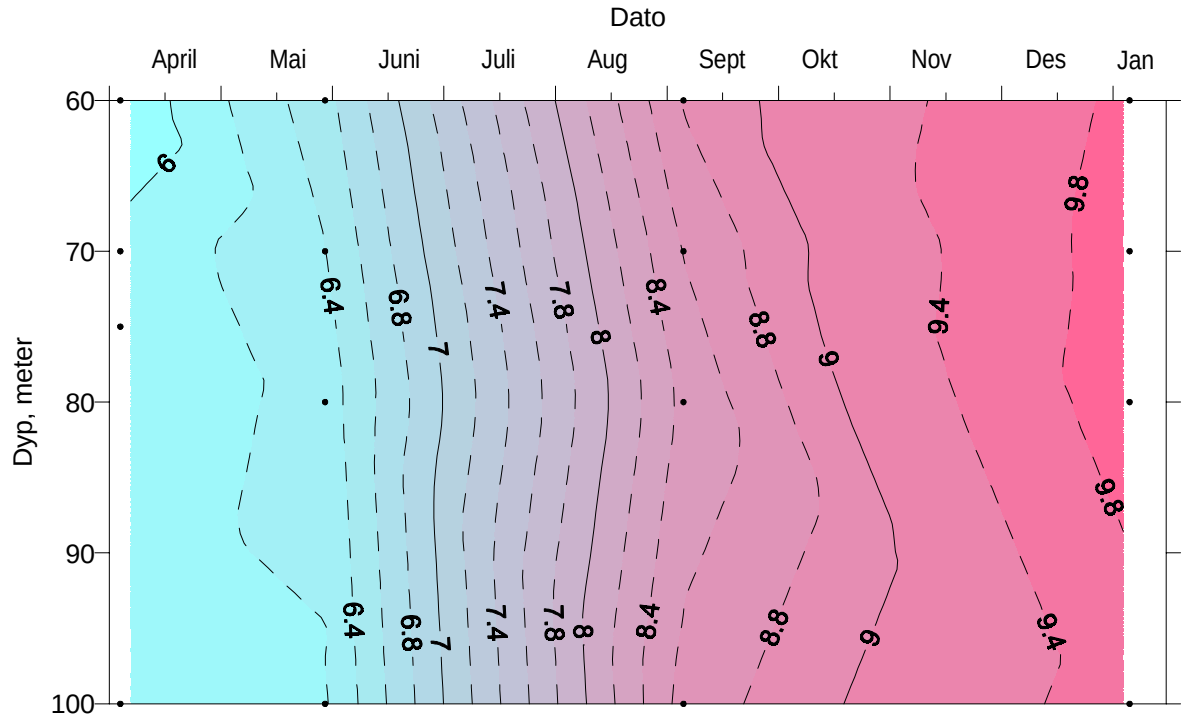
Alle data er gjengitt i Vedlegg B. Langesundsfjordens terskel mot Langesundsbukta og kystvannet ligger på ca. 55 m dyp. Konklusjonen etter målingene i 1996-99 var at man ikke med sikkerhet kunne fastslå at oksygenforholdene hadde bedret siden overvåkingen begynte på starten av 1970-tallet – hele tidsrommet sett under ett (Molvær 1999, 2000). Dette er illustrert i **Figur 8**. For tidsrommet 1985-2000 er tendensen klar, men man har ikke grunnlag for å bedømme i hvilken grad dette skyldes forskjeller i vannutskiftning (oksygentilførsel) eller forskjeller i oksygenforbruk.



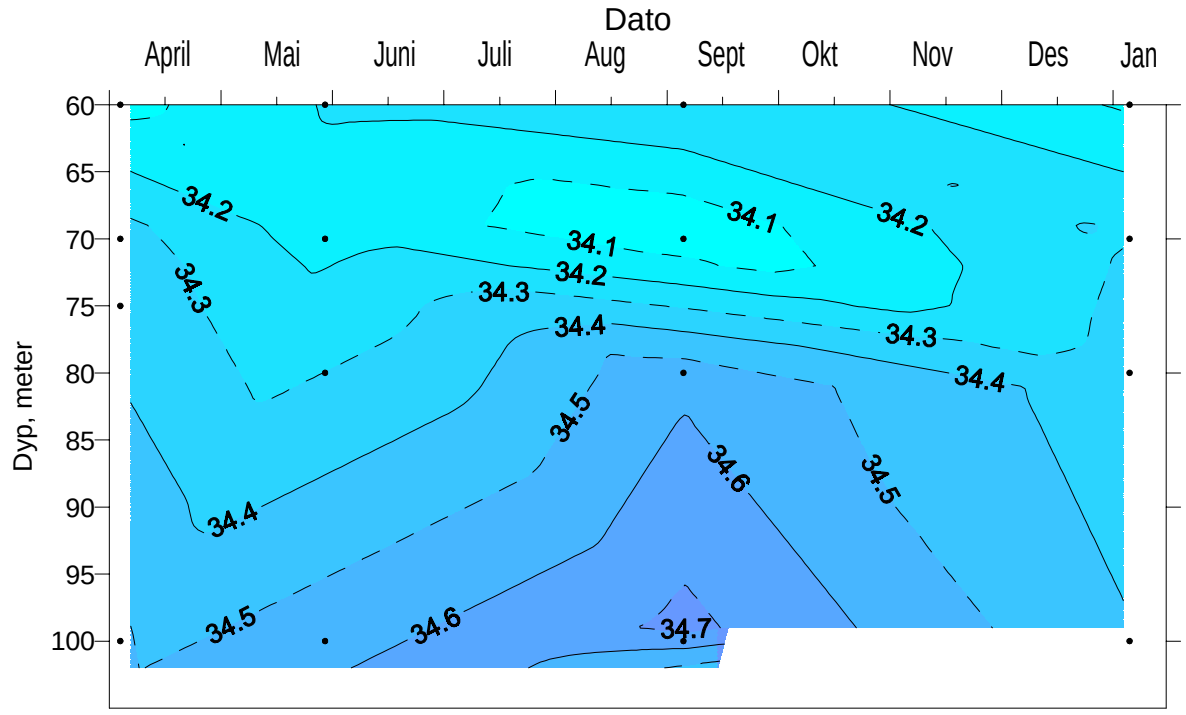
Figur 8. Oksygenmålinger i 90-110 m dyp på st. FG1 i Langesundsfjorden i september-oktober for tidsrommet 1974-2000. Linjen illustrerer utviklingen.

Oksygenmålingene i 2000 viser i hovedsak samme bilde som fra før er kjent (**Figur 11**). Tilstanden var jevnt over Meget God i alle vannlag, og noe bedre enn det som er funnnet for tidligere år (vurdert i forhold til perioder med God vannkvalitet, dvs. noe under 4.5 mlO_2/l). Dette kan imidlertid skyldes tilfeldigheter og ikke være resultat av en langsiktig utvikling. Målingene av temperatur og saltholdighet viser bare små vertikale gradienter og tyder på hyppig "påfyll" av oksygenrikt kystvann fra Langesundsbukta (**Figur 9** og **Figur 10**).

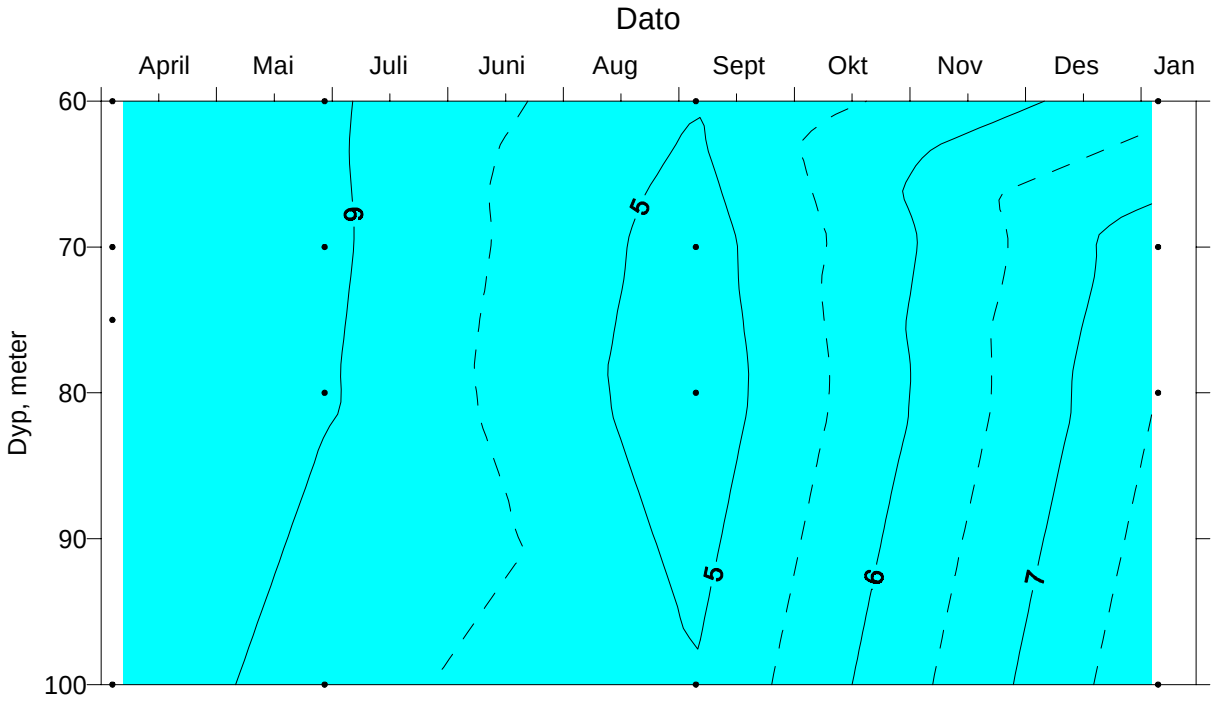
Forutsatt at målingene også er representative for konsentrasjonen helt nær bunnen i fjordområdets aller dypeste partier sørover mot Langesund (ca. 120 m dyp), kan man fastslå at konsentrasjonene siden 1996 ikke har vært så lave at de skulle ha negative virkninger på det marine livet nær bunnen.



Figur 9. Langesundsfjorden. Temperatur i dypvannet fra april 2000 til januar 2001.



Figur 10. Langesundsfjorden. Saltholdighet i dypvannet fra april 2000 til januar 2001



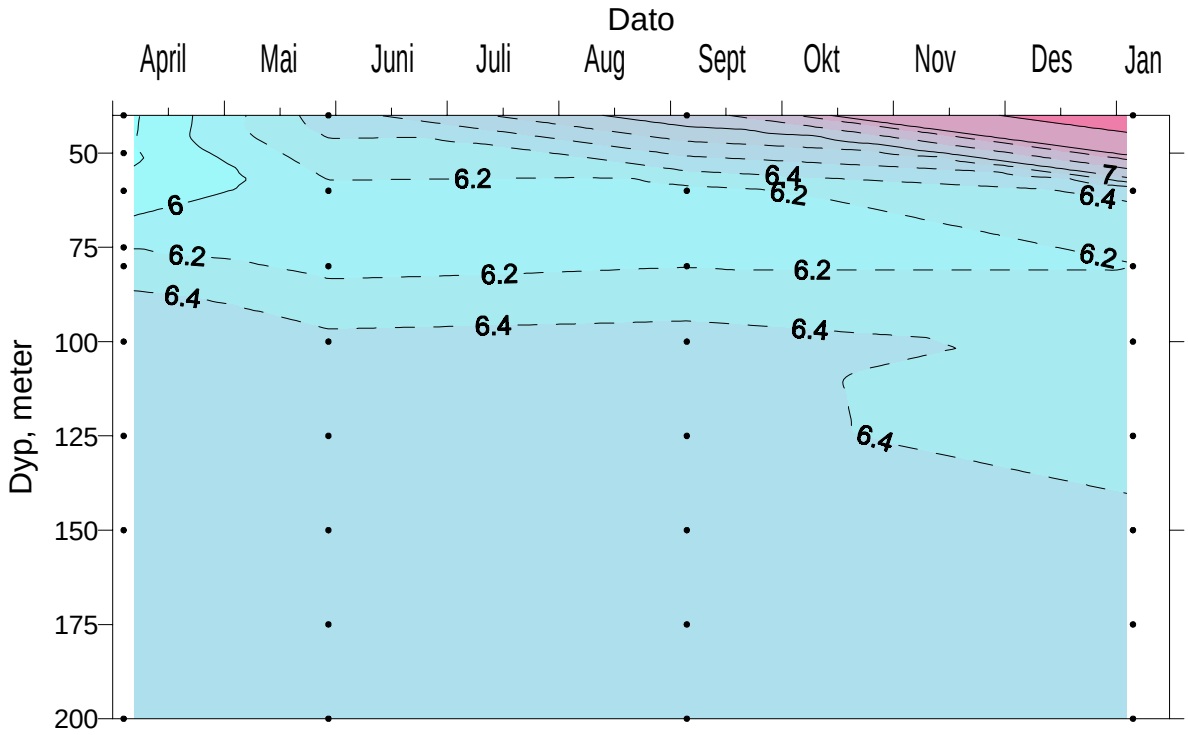
Figur 11. Langesundsfjorden. Oksygen i dypvannet fra april 2000 til januar 2001. Fargekoden viser til SFTs kriterier for klassifisering av tilstand (**Tabell 2**).

4.3 Håøyfjorden

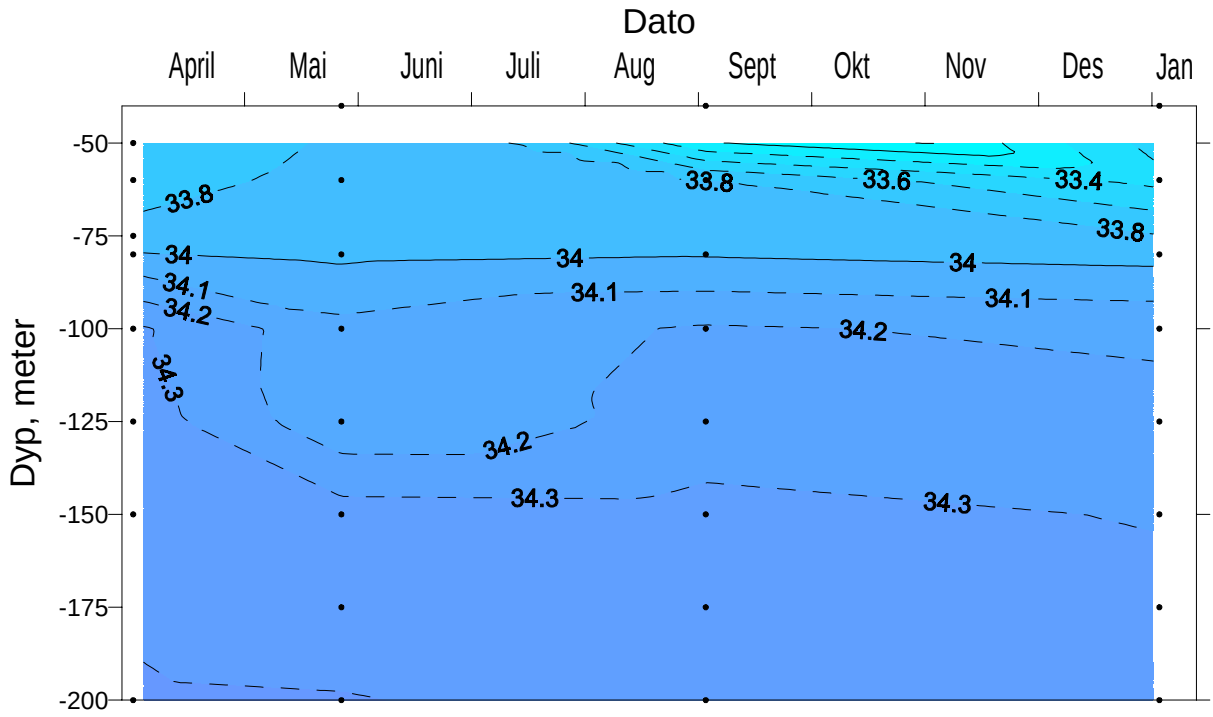
Alle data er gjengitt i Vedlegg B. Håøyfjordens terskel mot Langesundsbukta og kystvannet ligger på ca. 30 m dyp. Konklusjonen etter målingene i 1996-99 var at man ikke kunne avgjøre om oksygenforholdene hadde endret seg de siste 10-15 årene (Molvær 1999, 2000).

I likhet med Frierfjordens dypvann har også dypvannet i Håøyfjorden vært stagnant siden våren 1996 . I dette tidsrommet gjennomgikk oksygenforholdene en gradvis forverring der grensen for "Meget Dårlig" vannkvalitet (1.5 mlO_2/l) forflyttet seg oppover fra ca. 100 m dyp sommeren 1998 til ca. 80 m dyp ved årsskiftet 1999/2000 (**Figur 14**). I april-mai 2000 foregikk en innstrømning av kystvann og nivået for 1.5 mlO_2/l forflyttet seg for en periode ned til 125 m dyp, for så å heves til ca. 100 m dyp etter at vannutskiftningen stoppet opp. Laveste konsentrasjon ved bunnen (200 m dyp) har blitt målt til 0.1 mlO_2/l, men hydrogensulfid er ikke registrert.

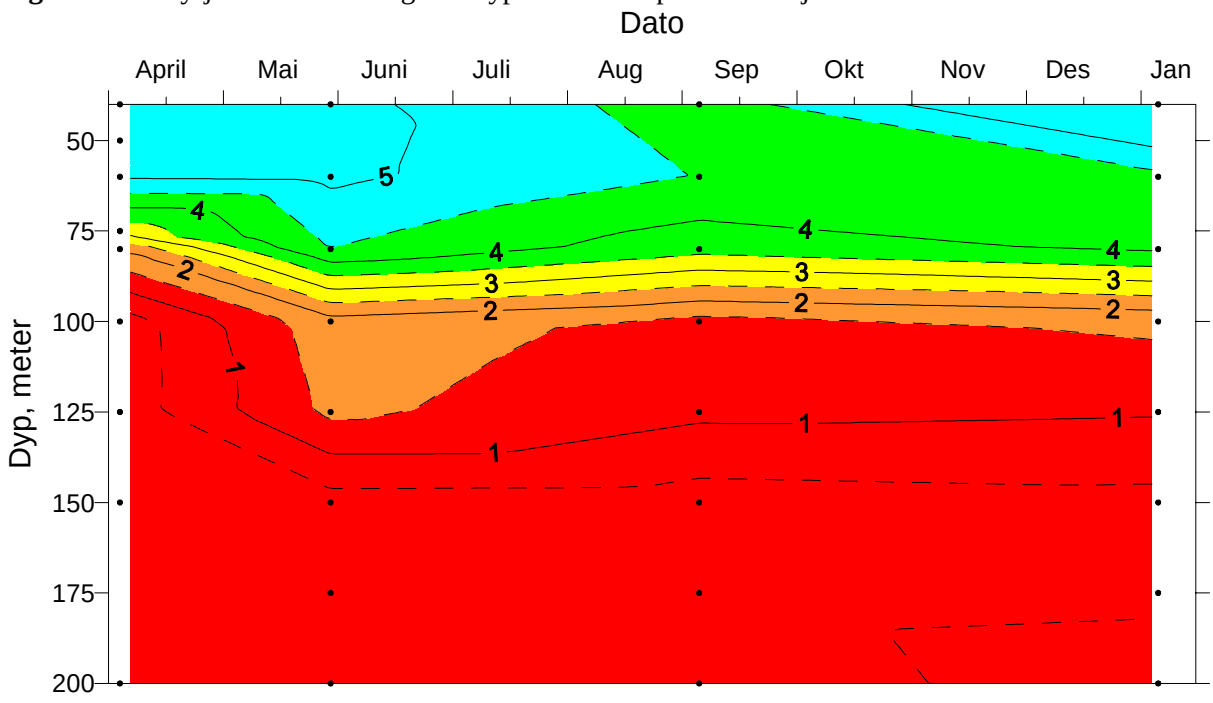
I hele tidsrommet siden våren 1996 har egenvekten av bunnvannet avtatt langsomt (**Figur 15**). Sannsynligheten for at egenvekten av kystvannet over en periode skal bli så høy at det skjer en stor innstrømning over fjordterskelen øker tilsvarende, men pr. januar 2001 var altså dypvannet fortsatt stagnant.



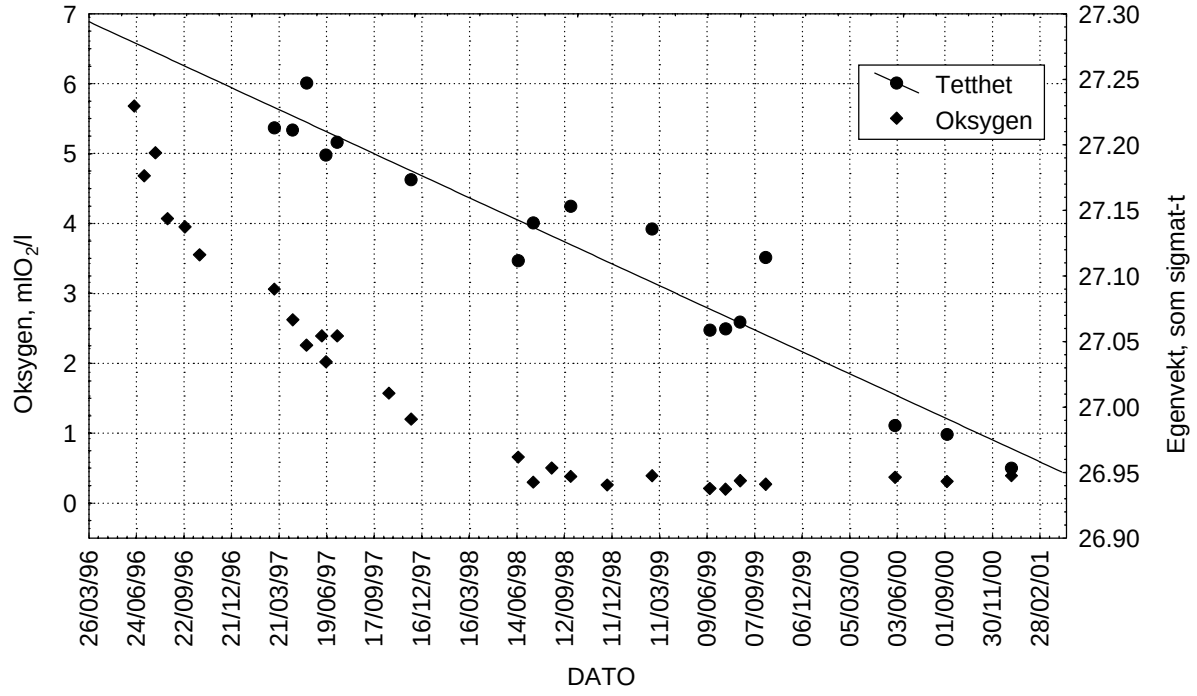
Figur 12. Håøyfjorden. Temperatur i dypvannet fra april 2000 til januar 2001.



Figur 13. Håøyfjorden. Saltholdighet i dypvannet fra april 2000 til januar 2001



Figur 14. Håøyfjorden. Oksygen i dypvannet fra april 2000 til januar 2001. Fargekoden viser til SFTs kriterier for klassifisering av tilstand (**Tabell 2**).



Figur 15. Håøyfjorden. Vannents egenvekt og oksygenkonsentrasjon i 175 m dyp i tidsrommet juni 1996-januar 2001.

5. Sammenfattende vurdering

5.1 Tilstand

Fra våren 1996 til januar 2001 har det ikke vært utskiftning av betydning av dypvannet i Frierfjorden eller i Håøyfjorden. For Frierfjorden er dette den lengste perioden uten noen større vannutskiftning som har vært registrert siden 1974. I denne stagnasjonperioden har oksygenforholdene gradvis forverret seg, og i **Frierfjorden** ble det etterhvert registrert meget dårlige forhold under ca. 60 m dyp og hydrogensulfid dypere enn 70-75 m dyp.

I **Håøyfjorden** ble det etterhvert meget dårlige forhold under ca. 100 m dyp, men hydrogensulfid ble ikke registrert.

Langesundsfjorden har hyppig påfyll av oksygenrikt vann fra Langesundsbukta og oksygenforholdene var jevnt over meget gode i alle vannlag.

5.2 Utvikling i fjordområdet

5.2.1 Tilførsel av næringsalter og organisk materiale

Siden begynnelsen på 1970-tallet er tilførselene av næringssalter og organisk stoff til Frierfjorden vesentlig redusert. Sammenlignes tall fra ca. 1972 (Johansen et al., 1973) med tall for 1996 får vi at i tilførslene av nitrogen og fosfor er redusert med i størrelsesorden 50% og 80-85%.

For organisk stoff er det vanskeligere å gjøre en sammenligning mellom tilførselen til fjordområdet begynnelsen på 1970-tallet og på slutten av 1990-tallet. Hovedgrunnen er størrelsen av utslippene for 25-30 år siden ennå var dårlig kjent og at andre parametre nå brukes for å beskrive mengden av organisk materiale. Bidraget fra Skiensvassdraget var heller ikke var kjent i 1972. Men for å antyde en størrelsesorden av reduksjonen nevnes følgende:

- Organisk stoff fra befolkning redusert med 60 %, dvs. med omkring 50.000 personekvivalenter (p.e.)
- Organisk stoff fra Union Bruk kan være redusert fra ca. utslipp tilsvarende 230.000 p.e. til ca. 80.000 p.e.
- Utslipp av organisk stoff fra Skotfoss Bruk, Myren Tresliperi og Bamble Cellulose er helt borte, tilsvarende en reduksjon i størrelsesorden 80.000 p.e.

Dette tilsvarer en reduksjon i størrelsesorden 280.000 p.e. Dertil kommer effekten fra vesentlige reduksjoner i utslipp av fiber og bark fra treforedlingsindustrien, og sannsynligvis effekten av reduserte utslipp av organisk stoff/oksygenforbrukende materiale fra Norsk Hydros fabrikker på Herøya. Nye bedrifter i området (bl.a. Hydro Rafnes) har relativt små utslipp av organisk materiale. Samlet sett viser dette på at tilførselen av organisk materiale til Frierfjorden er betydelig redusert siden begynnelsen av 1970-tallet.

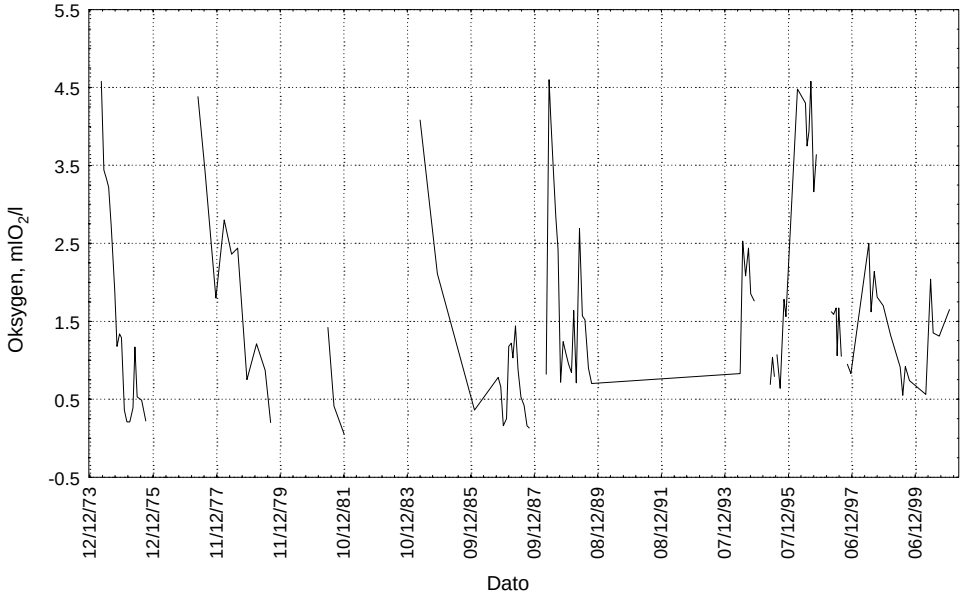
5.2.2 Frierfjorden

Tidligere er vist at vannkvaliteten i fjordområdets overflatelag og oksygenforholdene i Frierfjordens dypvann har blitt vesentlig bedre (Molvær, 1999). Mens det på 1970-tallet ble registrert hydrogensulfid under ca. 40 m, ligger nå øvre grense omkring 70 m og hydrogensulfid opptrer mye sjeldnere enn før. Vannvolumet hvor hydrogensulfid periodevis opptrer er tilsvarende redusert fra ca. 236 mill. m^3 til ca. 68 mill. m^3, en reduksjon på mer enn 70%.

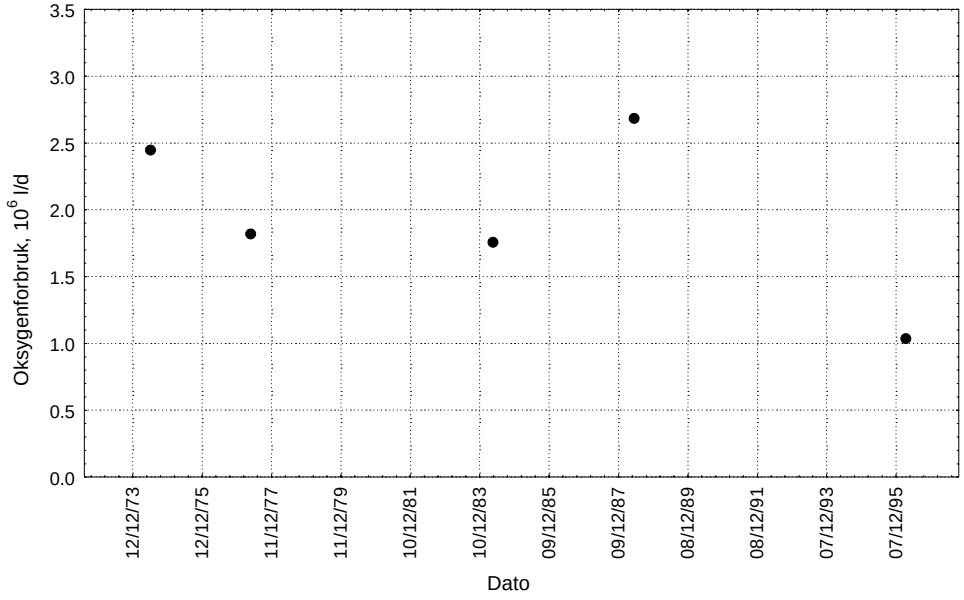
Vi vil se om forbedringen av oksygenforholdene kan kvantifiseres i form av redusert oksygenforbruk. For å være rimelig sikker på at dypvannet i det aktuelle tidsrommet ikke tilføres betydelige mengder oksygen gjennom tilførsel av nytt vann velger vi å beregne oksygenforbruket i vannmassen mellom 60 m dyp og bunnen, dvs. for en vannmasse som ligger mer enn 35 m under fjordens terskeldyp, og for perioder uten vesentlig vannfornyelse.

I 60 m dyp viser oksygenforholdene store variasjoner og vi velger å gjøre beregninger for utviklingen i perioder etter større dypvannsfornyelser (1974, 1977, 1984, 1988, 1996 – **Figur 16**). Med unntak for perioden etter vannutskiftningen våren 1988 viser resultatene en tydelig nedadgående trend, med om lag en halvering av oksygenforbruket fra 1974-75 til 1996-97. Vi har ingen forklaring på det høye oksygenforbruket sommer-høst 1988, men ser ikke bort fra at det kan ha vært vanskeligheter med prøvetaking eller analysene. Det kan nevnes at resultatene fra Langesundsfjorden i september-oktober 1988 viste et ekstremt oksygenforbruk i dypvannet, og man valgte da å betegne det som "lite sannsynlig" (Molvær og Stigebrandt, 1991).

Regner vi om oksygenforbruket til konsentrasjonsendring/måned kan vi sammenligne med tilsvarende beregninger for andre fjordbasseng. For dypvannet i 12 fjordbasseng på strekningen Grenland – Flekkefjord er beregnet oksygenforbruk varierende fra 0.21-1.35 mlO_2/l/måned (ANON 1997). For Langesundsfjorden fant man da 0.32 mlO_2/l/måned. For Frierfjordens dypvann er forbruket i 1974 beregnet til 0.54 mlO_2/l/måned og i 1996 0.21 mlO_2/l/måned. Dette tyder på at oksygenforbruket i



Figur 16. Målinger av oksygenkonsentrasjon i 60 m dyp i Frierfjorden.



Figur 17. Frierfjordens dypvann. Gjennomsnittlig oksygenforbruk i 60-98 m dyp etter større vannutskiftninger i tidsrommet 1974-96.

Frierfjordens dypvann i 1996 og i de etterfølgende år var relativt lavt sammenlignet med det som er målt av forbruk i andre fjordbasseng på Skagerrakkysten under første halvdel av 1990-tallet.

Av andre faktorer som påvirker oksygenforholdene i Grenlandsfjordene nevnes økende belastning med organisk materiale i kystvannet og noe lavere oksygenkonsentrasjoner (ANON 1996,1997). Denne utviklingen kan påvirke utviklingen i fjordene i negativ retning ved at de tilføres mer organisk materiale fra kystvannet og at kystvann som strømmer inn i fjordene kan inneholde noe mindre oksygen enn tidligere.

5.2.3 Langesundsfjorden og Håøyfjorden

Utenfor Brevik er det langt vanskeligere å bedømme utviklingen. I større grad enn Frierfjorden er disse områdene påvirket fra to sider:

- Redusert tilførsel av organisk materiale fra Frierfjorden og muligens noe mindre nedbrytning av biomasse som er produsert av næringssalter inne i fjordområdet. Det siste er imidlertid ikke bekreftet verken av klorofyll a eller av vurderinger om nitrogen eller fosfor opptrer som begrensende faktor for algeveksten.
- Økt tilførsel av organisk materiale fra kystvannet (se ovenfor).

Sammenlignes målingene i 2000 med målingene fra 1974-77 (Molvær et al., 1979) og fra 1988-89 (Molvær og Stigebrandt 1991, Molvær 1991) ser man ikke klare tendenser til forbedring. Til dels kan dette skyldes at eventuelle endringer har vært små på en bakgrunn av store variasjoner, og at det foreliggende datamaterialet ikke strekker til for å avgjøre om små endringer har funnet sted. Særlig gjelder dette for Håøyfjorden. På den annen side: det er ingen data som peker i retning av forverring av tilstanden.

6. Litteratur

ANON, 1996. Ytre Oslofjord. Eutrofitilstand, utvikling og forventede effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn (SFT). 147 sider.

ANON, 1997. Kyststrekningen Jomfruland - Stad. Vurdering av eutrofitilstand. Rapport 2 fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn (SFT). 129 sider.

Johansen, Ø., Kolstad, S., Bokn, T. og Rygg, B., 1973. Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. NIVA-rapport 70111. Oslo. 93 sider.

Molvær, J., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 9. Konklusjoner. Overvåkingsrapport nr. 751/97. NIVA-rapport nr. 2697. Oslo. 46 sider.

Molvær, J., 1999. Grenlandsfjordene 1994-97. Undersøkelser av vannkjemiske forhold og vannutskiftning. Statlig program for forurensningsovervåking rapport nr. 756-99. NIVA-rapport nr. 3960-98. Oslo. 47 sider.

Molvær, J., 2000. Overvåking av Grenlandsfjordene 1998-99. Badevannskvalitet og oksygenforhold. Statlig program for forurensningsovervåking, rapport nr. 794/00. NIVA-rapport nr.4214-2000. Oslo. 36 sider.

Molvær, J. og Stigebrandt, A., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 3. Vannutskiftning i fjordene. Overvåkingsrapport nr. 450/91. NIVA-rapport nr. 2588. Oslo/Gøteborg. 43 sider.

Molvær, J., Bokn, T., Kirkerud, L., Kvalvågnæs, K., Nilsen, G., Rygg, B. og Skei, J., 1979. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 8, Sluttrapport. NIVA-rapport nr. 1103. Oslo. 253 sider.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 sider.

Vedlegg A. Måle- og analysemetoder

Temperatur:
Over fjordenes terskeldyp er temperaturen målt ved bruk av en HydroLab Datasonde 3, som ved regelmessig kalibrering og kontroll av data forventes å gi en nøyaktighet på ± 0.1 ºC.

I fjordenes dypvann er temperaturen målt ved bruk av to vendetermometre for hvert dyp. Temperaturene ble avlest ved bruk av lupe, korrigert og til vanlig ble gjennomsnittverdien for de to termometrene notert. Temperaturen forventes å ha en nøyaktighet på ±0.02 ºC.

Saltholdighet:
Over fjordenes terskeldyp er saltholdigheten målt ved bruk av en HydroLab Datasonde 3, som ved regelmessig kalibrering og kontroll av data forventes å gi en nøyaktighet på ±0.1. For dypvannet er saltholdigheten er bestemt med Guildline laboratoriesalinometer (nøyaktighet ± 0.002).

Oksygen:
Modifisert Winkler-metode.

Vedlegg B. Data

Stasjon	Dato	Dyp	Oksygen	Hydrogensulfid	Temperatur	Saltholdighet
		m	ml/l	ml/l	grader C	
BC1	04-apr-01	0	8.95		2.09	4.019
BC1	04-apr-01	2	8.68		2.62	6.196
BC1	04-apr-01	5	7.54		5	22.227
BC1	04-apr-01	10	7.32		5.11	27.85
BC1	04-apr-01	15	6.05		6.23	30.424
BC1	04-apr-01	20	5.56		6.85	32.178
BC1	04-apr-01	30	5.23		6.37	33.108
BC1	04-apr-01	40	3.96		6.87	33.289
BC1	04-apr-01	50	2.06		6.98	33.445
BC1	04-apr-01	60	0.56		6.98	33.579
BC1	04-apr-01	75	0.05		6.84	3.73
BC1	04-apr-01	90		0.49	6.81	33.759
FG1	04-apr-01	0	8.55		3.03	4.911
FG1	04-apr-01	2	8.18		4	24.436
FG1	04-apr-01	5	8		3.97	25.207
FG1	04-apr-01	10	8		4.23	26.178
FG1	04-apr-01	20	6.79		4.61	29.7
FG1	04-apr-01	30	6.5		5.67	32.27
FG1	04-apr-01	50	5.77		6.73	33.831
FG1	04-apr-01	60	6.43		5.83	34.067
FG1	04-apr-01	70	6.5		6.06	34.353
FG1	04-apr-01	75	6.51		6.01	34.364
FG1	04-apr-01	100	6.43		6.1	34.517
FG1	04-apr-01	105	6.38		6.1	34.527
GI1	04-apr-01	0	8.23		3.94	23.373
GI1	04-apr-01	2	8.23		4.07	24.889
GI1	04-apr-01	5	8.05		4.1	25.097
GI1	04-apr-01	10	7.98		4.24	25.891
GI1	04-apr-01	20	7.39		4.366	29.892
GI1	04-apr-01	30	5.76		5.71	33.044
GI1	04-apr-01	50	5.72		5.76	33.615
GI1	04-apr-01	60	5.07		5.83	33.682
GI1	04-apr-01	75	3.19		6.18	33.874
GI1	04-apr-01	80	1.97		6.36	34.022
GI1	04-apr-01	100	0.23		6.49	34.318
GI1	04-apr-01	125	0.22		6.49	34.357
GI1	04-apr-01	150	0.19		6.49	34.378
GI1	04-apr-01	200	0.15		6.51	34.407
BC1	30-mai-01	0	8.4		8.8	2.1
BC1	30-mai-01	2.5	8.4		8.6	2.1
BC1	30-mai-01	5.7	7.6		9.1	14
BC1	30-mai-01	10	6.4		10.1	22.9
BC1	30-mai-01	15.7	5.6		6.7	29.8

BC1	30-mai-01	20	4.99		6.75	32.287
BC1	30-mai-01	30	5.03		6.53	33.113
BC1	30-mai-01	40	4.67		6.44	33.246
BC1	30-mai-01	50	3.36		6.61	33.324
BC1	30-mai-01	60	2.04		6.78	33.443
BC1	30-mai-01	70		0.05	6.95	33.65
BC1	30-mai-01	80		0.46	6.89	33.807
BC1	30-mai-01	85		0.33	6.89	33.693
FG1	30-mai-01	0	8.4		9.9	6
FG1	30-mai-01	2	8		9.9	10.8
FG1	30-mai-01	5.1	6.9		12	23
FG1	30-mai-01	10.1	6.6		12	24.5
FG1	30-mai-01	15.5	6.5		11	25.9
FG1	30-mai-01	19	6.5		11	26.1
FG1	30-mai-01	60	6.08		6.53	34.206
FG1	30-mai-01	70	6.11		6.39	34.171
FG1	30-mai-01	80	6.05		6.28	
FG1	30-mai-01	100	5.69		6.17	
GI1	30-mai-01	0	7.6		12.17	13.8
GI1	30-mai-01	2.6	7.3		12.23	20.7
GI1	30-mai-01	5.1	6.9		12.15	22.9
GI1	30-mai-01	9.9	6.7		12	24
GI1	30-mai-01	15	6.6		11.7	24.7
GI1	30-mai-01	20	6.6		9.72	27.3
GI1	30-mai-01	40	5.16		6.51	33.784
GI1	30-mai-01	60	5.11		6.15	33.884
GI1	30-mai-01	80	4.49		6.15	33.98
GI1	30-mai-01	100	1.81		6.45	34.128
GI1	30-mai-01	125	1.61		6.52	34.124
GI1	30-mai-01	150	0.3		6.54	34.342
GI1	30-mai-01	175	0.37		6.54	34.371
GI1	30-mai-01	200	0.4		6.54	34.403
BC1	26-jun-01	0	7.7		13.7	3.467
BC1	26-jun-01	2	6.5		12.74	11.154
BC1	26-jun-01	5	6.1		11.74	25.911
BC1	26-jun-01	10	5.7		11.21	28.205
BC1	26-jun-01	15	5.48		9.74	29.327
BC1	26-jun-01	20	5.26		8.19	30.924
BC1	26-jun-01	30	4.86		6.33	33.057
BC1	26-jun-01	40	4.31		6.56	33.243
BC1	26-jun-01	50	2.67		6.59	33.378
BC1	26-jun-01	60	1.35		6.79	33.526
BC1	26-jun-01	75		0.01	6.78	33.682
BC1	26-jun-01	90		0.93	6.85	33.715
BC1	05-sep-01	0	6.6		15.09	4
BC1	05-sep-01	2.1	6.5		15.09	4.1
BC1	05-sep-01	4.7	5.5		15.59	11.8
BC1	05-sep-01	9.8	4.8		15.49	26.7

BC1	05-sep-01	14.9	4.2		12.91	29.1
BC1	05-sep-01	19.4	3.8		11.52	30.08
BC1	05-sep-01	20	4.27		11.7	29.782
BC1	05-sep-01	30	3.77		9.6	31.749
BC1	05-sep-01	40	3.5		6.81	33.25
BC1	05-sep-01	50	2.4		6.8	33.354
BC1	05-sep-01	60	1.31		6.8	33.403
BC1	05-sep-01	70	0.17		6.91	33.613
BC1	05-sep-01	80		0.67	6.93	33.702
BC1	05-sep-01	85		0.67	6.93	33.678
FG1	05-sep-01	0	6.4		15.74	10.6
FG1	05-sep-01	1.9	6		16.58	22.5
FG1	05-sep-01	5.1	5.8		16.95	25.2
FG1	05-sep-01	10.2	5.3		16.92	26.5
FG1	05-sep-01	14.9	4.3		14.79	30.1
FG1	05-sep-01	20.4	4.1		13.95	32.2
FG1	05-sep-01	60	5.02		8.82	34.298
FG1	05-sep-01	70	4.76		8.61	34.004
FG1	05-sep-01	80	4.66		8.44	34.577
FG1	05-sep-01	100	5.03		8.68	34.735
GI1	05-sep-01	0	6.3		15.13	16.5
GI1	05-sep-01	1.9	6.4		15.36	20.2
GI1	05-sep-01	5.2	5.9		16.95	25.1
GI1	05-sep-01	10.2	5.1		16.95	26.9
GI1	05-sep-01	15.1	4.1		16.08	29.8
GI1	05-sep-01	19.8	3.9		14.86	31.5
GI1	05-sep-01	40	4.24		7.15	32.228
GI1	05-sep-01	60	4.48		6.13	33.81
GI1	05-sep-01	80	3.68		6.19	33.992
GI1	05-sep-01	100	1.33		6.48	34.211
GI1	05-sep-01	125	1.1		6.49	34.233
GI1	05-sep-01	150	0.28		6.53	34.335
GI1	05-sep-01	175	0.31		6.55	34.364
GI1	05-sep-01	200	0.22		6.56	34.379
BC1	05-jan-01	1.1	8.5		3.87	3.6
BC1	05-jan-01	4.9	7.3		5.88	9.7
BC1	05-jan-01	10.2	5.7		7.76	29.6
BC1	05-jan-01	15.3	4.9		10.04	30.8
BC1	05-jan-01	20	6.28		9.81	31.342
BC1	05-jan-01	30	6.41		10.17	32.698
BC1	05-jan-01	40	4.23		7.8	33.147
BC1	05-jan-01	50	2.45		6.88	33.33
BC1	05-jan-01	60	1.65		6.82	33.366
BC1	05-jan-01	70	0.64		6.91	33.578
BC1	05-jan-01	80		0.25	6.94	33.632
BC1	05-jan-01	85		0.45	6.96	33.655
FG1	05-jan-01	1	8.2		4.37	8.2
FG1	05-jan-01	4.7	7.4		4.74	24.5
FG1	05-jan-01	10.9	7.1		4.94	29.2

FG1	05-jan-01	30.4	5.4		10.31	32.4
FG1	05-jan-01	41.3	5.8		9.76	34.3
FG1	05-jan-01	60	6.32		9.88	34.087
FG1	05-jan-01	70	7.31		9.96	34.307
FG1	05-jan-01	80	7.51		10.01	34.339
FG1	05-jan-01	100	7.9		9.57	34.407
GI1	05-jan-01	1	8		3.8	15
GI1	05-jan-01	6	7.1		4.74	28.7
GI1	05-jan-01	9.8	7		5.15	29
GI1	05-jan-01	15.2	6.7		5.75	29.8
GI1	05-jan-01	19.3	6.5		6.64	30.5
GI1	05-jan-01	28	5.1		10.07	33.8
GI1	05-jan-01	38.4	5.2		9.84	33.7
GI1	05-jan-01	40	5.94		9.79	33.638
GI1	05-jan-01	60	4.37		6.44	33.337
GI1	05-jan-01	80	4.1		6.19	33.965
GI1	05-jan-01	100	1.62		6.36	34.178
GI1	05-jan-01	125	1.04		6.25	34.24
GI1	05-jan-01	150	0.36		6.49	34.293
GI1	05-jan-01	175	0.39		6.53	34.328
GI1	05-jan-01	200	0.78		6.54	34.346