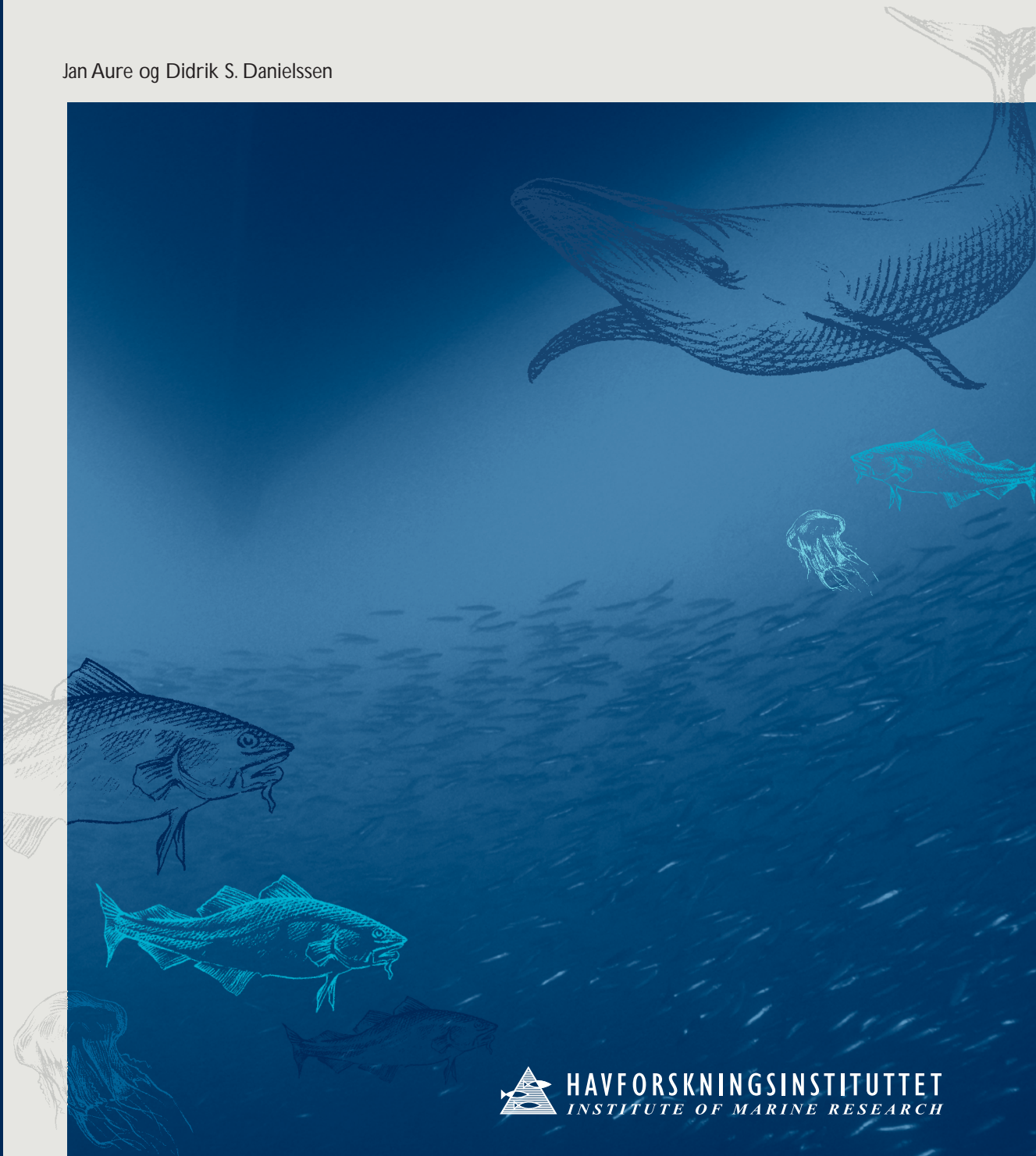


nr. 3/2011

FISKEN OG HAVET

Miljøundersøkelser i norske fjorder: Grenlandsfjordene 2000-2009

Jan Aure og Didrik S. Danielssen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

Miljøundersøkelser i norske fjorder: Grenlandsfjordene 2000 - 2009

Av
Jan Aure og Didrik S. Danielssen



PROSJEKTRAPPORT



Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN
Tlf. 55 23 85 00, Faks 55 23 85 31, www.imr.no

Tromsø **Flødevigen**
9294 TROMSØ 4817 HIS

Rapport: Fisken og Havet	Nr. - År 3-2011
Tittel (norsk/engelsk): Miljøundersøkelser i norske fjorder: Grenlandsfjordene 2000-2009	
Forfattere: Jan Aure og Didrik S. Danielssen	

Distribusjon: Åpen
Prosjektnr.: 10287 Overvåking ytre Olsøfjord
Oppdragsgiver(e): KLIF
Oppdragsgivers referanse:
Dato: 6. juni 2011
Program: Økosystem kystsone
Faggruppe: Oseanografi
Antall sider totalt: 23

Sammendrag (norsk):

Lokale tilførsler av næringssalter til Grenlandsfjordene førte til overkonsentrasjoner i vinterverdiene av nitrat og forhøyete klorofyll-*a* verdier i sommerhalvåret. Observasjonene i Grenlandsfjordene i perioden 2000 - 2009 viste at miljøtilstanden i øvre vannlag var "mindre god" (tilstandsklasse III) mht nitrat i Frierfjorden, Brevikfjorden og Eidangerfjorden (10 - 16 mmol/m³). I Håøyfjorden nærmere kysten og i Langesundsbukta (kysten) var det tilstandsklasse II "gode forhold" (7-8.5 mmol/m³). Grenlandsfjordene var lite påvirket av fosfortilførslene fra land og vinter verdiene var i tilstandsklasse I (meget god) (< 0.5 mmol/m³).

Midlere klorofyll - *a* verdi om sommeren (juni - august) var høyest i Eidangerfjorden (4.1 mg/m³) og lavest i Langesundsbukta (1.9 mg/m³). Klorofyll - *a* i Eidanger og Brevikfjorden var i tilstandsklasse III (mindre god) mens det i Frierfjorden og Håøyfjorden var tilstandsklasse II (god). I Langesundsbukta (kysten) var det "meget gode" forhold (tilstandsklasse I).

Langtransportert forurensning til Skagerrakkysten etter 1975-80 har økt oksygenforbruket (totalt 50-70 %) og forverret oksygenforholdene i fjordbassengene. I Grenlandsfjordene har lokale tilførsler av organisk materiale bidratt til en ytterligere økning og i Brevikfjorden, Eidangerfjorden og Frierfjorden var oksygenforbruket i fjordbassengene om lag det doble av naturlig oksygenforbruk. Hyppige innstrømninger til fjordbassengene i Brevikfjorden og Eidangerfjorden førte til forholdsvis gode oksygenforhold, med midlere oksygenminimum i 100 m dyp på 3 - 3.5 ml/l (tilstandsklasse III, mindre god). I Håøyfjorden (100 - 200 m dyp) og da spesielt i Frierfjorden (50-75 m dyp) var det betydelig lavere oksygenverdier og lengre perioder med dårlige oksygenforhold (0- 2.5 ml/l) (tilstandsklasse IV og V, dårlig-meget dårlig).

Summary (English):

The local input of anthropogenic nutrients increased winter and summer values of nitrate and summer values of chlorophyll-*a* in the Grenland fjords. In the upper layer of the Frierfjord, the Brevikfjord and the Eidangerfjord the environmental conditions related to nitrate were "less good" and in the Håøyfjorden and the the Langesund bay (coast) "good". Summer average chlorophyll - *a* values in the upper layer of the Eidanger - and Brevikfjord were "less good" (3.6 -4.1 mg/m³) and in the Frierfjord and Håøyfjord "good" (3 - 3.3 mg/m³). Both long distance and local supply of anthropogenic organic matter have reduced the oxygen concentrations in the Grenland fjordic basins. In Brevik and the Eidangerfjord, the average oxygen minimum was 3-3.5 ml/l (less good). In the Håøyfjord and Frierfjord, the oxygen conditions in the basins were "poor

to very poor” with average oxygen minimum values between 0 and 2.5 ml/l.

Emneord (norsk):

1. fjord
2. hydrografi
3. oksygen
4. næringssalter
5. klorofyll

Subject heading (English):

1. fjord
2. hydrography
3. oxygen
4. nutrients
5. chlorophyll



Prosjektleder



Programleder

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	7
1 Innledning	9
2 Generelt om fjorder	10
2.1 Fysiske forhold	10
2.2 Kjemiske - biologiske forhold	11
3 Områdebeskrivelse og måleprogram	12
4 Hydrografi og vannutskiftning	13
5 Næringssalter og klorofyll - <i>a</i>	16
5.1 Næringssalter 0 - 5 m	16
5.2 Næringssalter 5 - 30 m	18
5.3 Klorofyll - <i>a</i>	19
6 Oksygen i dypvannet	20
7 Litteratur	23

Sammendrag

Kyst - og fjordområdene i Skagerrak har relativt store lokale og langtransporterte tilførsler av næringssalter og er av Klif definert som et eutrofipåvirket område. Skienselva er Norges tredje største elv med midlere vannføring på ca 300 m³/s. Vannføringen er karakterisert av en vårflom i tidsrommet april-juni (normalt opp til 1000 m³/s), minimum på 50-100 m³/s i juli-august og høstflom i september/oktober. Tilførslene av næringssalter til Grenlandsfjordene er størst i Frierfjorden og dominert av tilførslene fra Skienselva. Midlere årlig tilførsel (2000-2009) av nitrogen er ca 3500 tonn og av fosfor ca 40 tonn, hvorav henholdsvis ca 50 % og ca 70 % er menneskeskapt. Grenlandsfjordene har ca tre ganger større tilførsler av næringssalter per km kystlinje enn midlere tilførsel per km for kystområdet mellom Svenskegrensen og Lindesnes. Havforskningsinstituttet har overvåket miljøforholdene (hydrografi og oksygen) i en rekke fjorder langs den norske Skagerrakkysten, inkludert Grenlandsfjordene, i de siste 50 -70 år i forbindelse med de såkalte høstundersøkelsene i september - oktober måned. Fra 2000 utvidet Havforskningsinstituttet måleprogrammet i Grenlandsfjordene til omlag månedlige observasjoner av hydrografi, oksygen, næringssalter og klorofyll - *a* (fra 2007 i samarbeid med Klif og Fagråd for Ytre Oslofjord).

Vinterverdiene av næringssalter i overflatelaget (0-5 m) er lite påvirket av planteplankton og gir derfor et godt bilde av påvirkningsgraden fra lokale næringssalttilførsler til Grenlandsfjordene. I middel for perioden desember - februar var midlere nitratverdi i Frierfjorden ca 16 mmol/m³, som er over grensen for "mindre gode forhold" (SFT, 1997). I influensområdet til Frierfjorden: Eidangerfjorden og Brevik/Langesundsfjorden, var det også "mindre god" miljøtilstand med midlere nitratverdier om vinteren på 10 -11 mmol/m³. I Håøyfjorden nærmere kysten og i kystvannet utenfor Grenlandsfjordene (Langesundsbukta) var det "gode" forhold mht med midlere vinterverdier av nitrat på henholdsvis 8.6 og 7.7 mmol/m³. Observasjonene viser dermed at tilførslene av nitrogen til Frierfjorden i perioden 2000-2009 førte til en betydelig økning av vinterverdiene av nitrat i Grenlandsfjordene. I motsetning til nitrogen var Grenlandsfjordene lite påvirket av fosfortilførslene fra land og midlere vinterverdier av fosfat var lavere enn 0.5 mmol/m³, som er øvre grense for "meget god" miljøtilstand. Det var ingen langtidstrend i nitratverdiene i perioden fra 2000-2009.

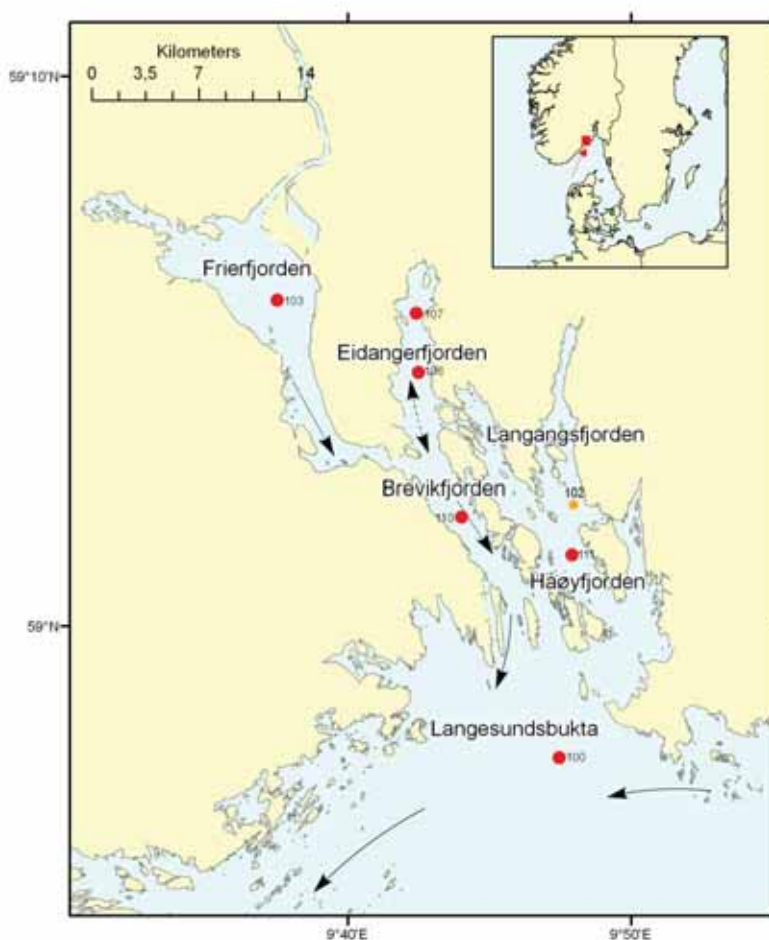
De store tilførslene av næringssalter (nitrogen) førte til en markert økning i produksjonen av planteplankton i Grenlandsfjordene. Midlere sommerverdier (juni -august) av klorofyll - *a* var 1.6 -2.1 ganger høyere i Grenlandsfjordene enn i Langesundsbukta (1.9 mg/m³). De høyeste midlere sommerverdiene i 0-5 m ble observert i indre Eidangerfjorden på 4.1 mg/m³, mens det var noe lavere verdier i Frierfjorden, Brevikfjorden og Håøyfjorden, mellom 3.0 og 3.6 mg/m³. I Eidangerfjorden og Brevikfjorden var det "mindre gode" miljøforhold mht klorofyll - *a*, i Håøyfjorden "gode" forhold mens det i Langesundsbukta var tilnærmet "meget gode" forhold (SFT, 1997).

Studier av utviklingen i oksygenforholdene i fjordbassengene langs Skagerrakkysten har vist at det har vært en klar forverring etter 1975-80. Årsaken er økte tilførsler av langtransporterte næringssalter og organisk materiale til Skagerrakkysten, som har ført til en økning i

oksygenforbruket i fjordbassengene med 50 - 70 % i forhold til naturlig oksygenforbruk. Mens Håøyfjorden hovedsakelig er påvirket av den økte langtransporterte organisk forurensningen (50 -70 % oksygenøkning), har i tillegg lokale tilførsler av organisk materiale bidratt til at oksygenforbruket i fjordbassengene i Brevikfjorden/Eidangerfjorden og Frierfjorden i perioden 2000 -2009 var omlag det doble av naturlig oksygenforbruk. I perioden 2000 - 2009 var det forholdsvis bra oksygenforhold i bassengvannet i Brevik - og Eidangerfjorden, med midlere oksygenminimum i 100 m dyp på 3-3.5 ml/l (tilstandsklasse III, mindre god). (SFT, 1997). I Håøyfjorden og da spesielt i Frierfjorden var det betydelig lavere oksygenverdier og lengre perioder med dårlige oksygenforhold enn i Brevik/Eidangerfjorden (tilstandsklasse IV og V, dårlig - meget dårlig). Den manglende utskiftningen av bassengvannet etter 2005/2006 resulterte i en ekstra langvarig periode med dårlige oksygenforhold i de to fjordbassengene med oksygenminimum < 1.5 ml/l (meget dårlig, tilstandsklasse V).

1 Innledning

Havforskningsinstituttet har overvåket miljøforholdene i en rekke fjorder langs den norske Skagerrakkysten i de siste 50 - 70 år inkludert Grenlandsfjordene: Langangsfjorden/Håøyfjorden (st 102/111), Indre Eidangerfjorden (st 107), ytre Eidangerfjorden (st106), Brevikfjorden (st 105/110) og Frierfjorden (st 103) (Figur 1). Årlige hydrografi og oksygenmålinger har vanligvis vært utført om høsten i månedsskiftet september - oktober i forbindelse med de såkalte høstundersøkelsene med strandnot - trekk (HI, Forskningsstasjonen Flødevigen). I perioden fra 1999 til 2007 utvidet Havforskningsinstituttet måleprogrammet til omlag månedlige observasjoner av hydrografi, oksygen, næringsalter og klorofyll - *a*. Etter 2007 er observasjonene utført i samarbeid med NIVA, etter oppdrag fra Klima- og -forurensningsdirektoratet (Klif) og Fagrådet for Ytre Oslofjord. I rapporten er det lagt vekt på å beskrive langtidsutviklingen av oksygenforholdene i fjordbassengene og midlere næringsalt og klorofyll (alger) verdier i Grenlandsfjordene i perioden 2000 - 2009.



Figur 1. Hydrografiske og hydrokjemiske stasjoner i Grenlandsfjordene. Oransje punkt tidligere stasjon Langangsfjorden (st 102). Midlere strømbilde i Grenlandsområdet.

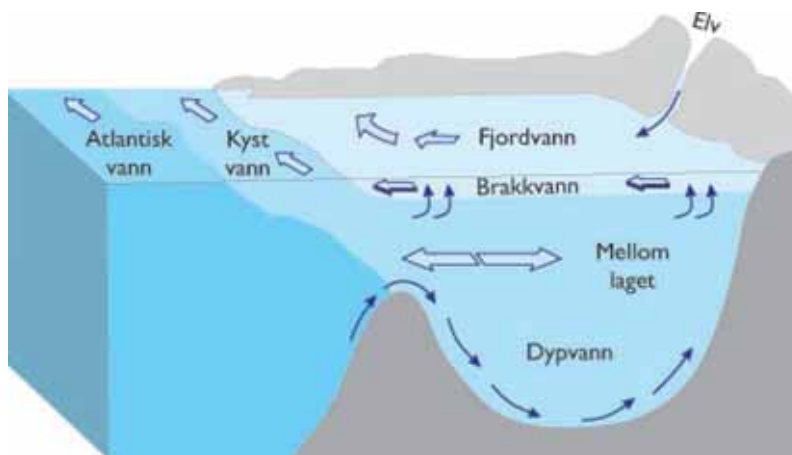
Kyst - og fjordområdene i Skagerrak har relativt store lokale og langtransporterte tilførsler av næringsalter og er av KLIF definert som et såkalt eutrofipåvirket område. Tilførslene av næringsalter til Grenlandsfjordene er dominert av tilførslene til Frierfjorden fra Skienselva og industri. Skienselva er Norges 3. største vassdrag med gjennomsnittlig vannføring på ca 300 m³/sek. Vannføringen er karakterisert av en vårflom i tidsrommet april-juni (normalt opp til 1000 m³/s), minimum på 50-100 m³/s i juli-august og høstflom i september/oktober.

Årlig midlere tilførsel av nitrogen og fosfor mellom 2000 og 2009 var henholdsvis omlag 3500 tonn (jordbruk :12 %, befolkning:16%, industri: 21 % ,natur:52 %) og 40 tonn (jordbruk 15%, befolkning:16%, industri: 24 %, natur 29 %)(pers med J.R. Selvik, NIVA). I følge Molvær (2001) har det fra 1970 - tallet til midten av 1990 - tallet vært en reduksjon av tilførsler av nitrogen og fosfor i størrelsesorden 50 % og 80 % og en anslått reduksjon i organisk stoff på ca 280.000 personekvivalenter (p.e.). I tillegg var det en reduksjon på ca 80.000 tonn p.e. organisk stoff da UNION fabrikker ble lagt ned i 2006. Grenlandsfjordene har ca 2-2.5 ganger større tilførsler av nitrogen per km kystlinje enn midlere tilførsel per km for Skagerrakkysten fra Svenskegrensen til Lindesnes.

2 Generelt om fjorder

2.1 Fysiske forhold

Brakkvannet i en fjord er et resultat av ferskvannsavrenningen fra land. Når ferskvann blandes med sjøvann får vi brakkvann som har lavere saltholdighet enn kystvannet. Med en gitt ferskvannsavrenning er brakkvannets temperatur, saltholdighet, lagtykkelse osv styrt av meteorologiske forhold og fjordens topografi. Brakkvannet strømmer i middel ut fjorden og saltholdigheten øker pga innblandingen med underliggende sjøvann. Sjøvannet som tilføres brakkvannet må kompenseres utenfra og det strømmer saltere vann inn fjorden under brakkvannslaget. Denne ferskvannsdrevne sirkulasjonen kalles “Estuarin sirkulasjon”.



Figur 2. Prinsippskisse for vannmasser og vannutskifting, kyst - fjord.

Mellomlagsvann, som ligger mellom brakkvannet og terskeldyp (dypeste forbindelsen mellom bassengvannet og områdene utenfor) er ofte preget av vannmassene utenfor fjorden. Opp - og nedstrømning av vann langs kysten fører til inn - og utstrømninger i mellomlaget. Grunne terskel og lite munningsareal vil vanligvis begrense vannutskiftingen i mellomlaget og tidevannsstrømmer vil ofte være dominerende.

Bassengvannet (dypvann) er innestengt bak terskelen og vil i perioder uten innstrømning stort sett beholde sine fysiske egenskaper. Det eneste som kan endre på saltholdighet, temperatur og dermed vannets tetthet er den vertikale turbulente blandingen i fjordbassenget. Tettheten i bassenget vil derfor avta med tiden og øke sannsynligheten for innstrømning av tyngre

kystvann. I fjorder med grunne terskler vil innstrømninger til bassengvannet som oftest inntreffe på senvinteren, mens utskiftning av bassengvann i fjorder med dype terskler ofte inntreffer i vår - og sommermånedene. Temperatur, saltholdighet, oksygen og næringssalter (og andre egenskaper) i bassengvannet er i stagnasjonsperiodene ofte forskjellig fra forholdene i tilsvarende dyp utenfor fjorden.

2.2 Kjemiske - biologiske forhold

Primærproduksjonen i de øvre 30-40 m er den viktigste naturlige kilde for organiske tilførsler til terskelfjorders bassengvann. For produksjon av planteplankton må det være tilstede tilstrekkelige mengder næringssalter (fosfat, nitrogenforbindelser og silikat) og lys. På våre breddegrader vil lyset begrense primærproduksjonen i den mørkeste årstiden. Ut på senvinteren og våren, når lysforholdene igjen er gunstige, er det en kraftig vårblostring som følge av høye næringssaltkonsentrasjoner som har bygget seg opp i løpet av vinteren.

Etter vårblostringen tilføres næringssaltene til øvre vannlag fra dypere vannlag gjennom oppstrømning og vertikal omrøring, avrenning fra land og nedbør. Når planteplanktonet dør synker det nedover i vannmassene og brytes ned bakterielt eller beites av dyreplankton. En del av planteplanktonet omsettes i produksjonslaget og næringssaltene som da frigjøres benyttes til ny produksjon (resirkulering). Resten synker ned under produksjonslaget.

Det meste av det nedsynkende organiske materiale i oksygenrike fjorder brytes ned i vannmassene eller omsettes i bunnsedimentene av bakterier og bunndyr. Resten akkumuleres på bunnen i form av organiske sedimenter. I fjorder med hydrogensulfid i bassengvannet vil nedbrytningen av organisk materiale gå vesentlig saktere og akkumuleringen i form av bunnsedimenter øker. Nedbrytningen av organisk materiale forbruker oksygen og frigjør næringssalter. Under oksygenfrie forhold i vann eller i sediment produseres det hydrogensulfid og ammonium, mens nitrat forbrukes i vannmassene like over de oksygenfrie områdene (denitrifikasjon).

I fjordbasseng, uten innstrømning av nye oksygenrike vannmasser, vil derfor oksygenverdiene avta og næringssaltverdiene øke. Oksygenforbruket i et gitt basseng vil bli være en funksjon av mengden tilført organisk materiale, nedbrytningshastigheten, tilførsler av oksygen gjennom vertikal blanding og topografiske forhold. Oksygenforbruket og innstrømningshyppigheten av oksygenrikt vann er bestemmende for hvor lave oksygenverdiene blir i bassengvannet. Menneskeskapt organisk belastning, i form av økte næringssaltutslipp og/eller direkte utslipp av organisk materiale, vil kunne øke oksygenforbruket og dermed redusere oksygenkonsentrasjonen i bassengvann.

Det er vanlig å karakterisere oksygenkonsentrasjoner som dårlige under 2.5 ml/l, mindre gode mellom 2.5 og 3.5 , gode mellom 3.5 og 4.5 og meget gode over 4.5 ml/l (SFT, 1997).

3 Områdebeskrivelse og måleprogram

Figur 1 viser det undersøkte området med de aktuelle stasjoner i Grenlandsfjordene inkludert en referansestasjon i Langesundsbukta (st. 100) i kyststrømmen. De øvrige stasjonene ligger innenfor terskler (tabell 1) og dypvannet på disse stasjonene er mer eller mindre stagnerende i perioder. Brevikfjorden (st. 110), Ytre og Indre Eidangerfjorden (st. 106 og 107) har en felles terskel på ca 50 m ut mot Langesundsbukta. Håøyfjorden og Langangsfjorden (st. 111/st 102) har en felles terskel på ca 35 m og Frierfjorden (st. 103) som ligger innenfor Brevikfjorden har en forholdsvis grunn terskel på ca 20 m.

Tabell 1. Stasjonsnummer, stasjonsposisjoner (bredde, lengde), areal (Af), terskeldyp (Ht), største bassengdyp (Hmax) og midlere bassengdyp under terskelnivå (Hm) for Grenlandsfjordene.

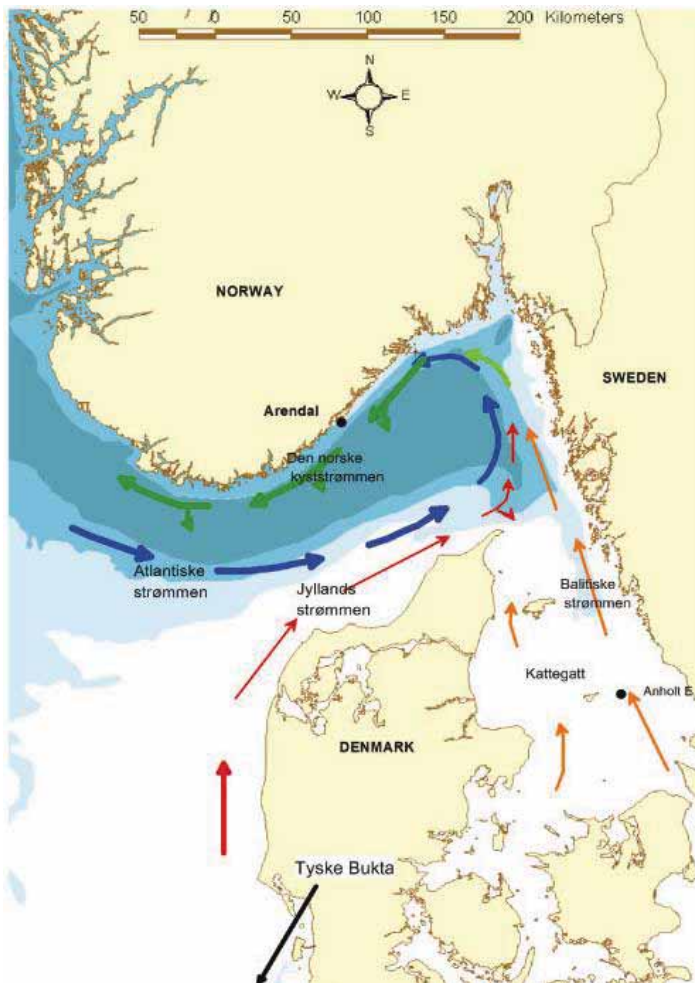
Fjorder	Stasjon	Bredde	Lengde	Af(km ²)	Ht(m)	Hmax (m)	Hm (m)
Frierfjorden	103	59.10 N	9.63 E	21	20	100	32
Brevikfjorden	110	59.03 N	9.73 E	6.5	50	120	40
I. Eidangerfjorden	107	59.09 N	9.71E	3.1	50	100	40
Y. Eidangerfjorden	106	59.08	9.71 E	3.1	50	100	40
Håøyfjorden	111	59.02 N	9.80 E	10	35	200	48
Langesundsbukta	100	58.96 N	9.79 E	-	-	250	-

Tabell 2 viser måleprogrammet i Grenlandsfjordene fra april 2000 til august 2009. I tillegg til målingene mellom 2000 og 2009, har det hver høst siden 1952/53 vært observert temperatur, saltholdighet og oksygen i Frierfjorden, Eidangerfjorden, Brevikfjorden og Håøy/Langangsfjorden.

Tabell 2. Måleprogram for Grenlandsfjordene (st 103, st 110, st 107, st 106, st 111 og st 100) fra 2000 til 2009.
* endringer i programmet pga ugunstige isforhold.

Måned	År									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1		x	x		x	x		x	x	x
2			x	x	x	x	x	x	x	x
3			x	x	x		*	x	x	x
4	x			x	x		*	x	x	
5		x	x			x	x			x
6	x		x	x	x		x	x	x	x
7					x	x				
8	x		x	x	x	x	x	x	x	x
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
10			x	x	x					
11	x					x		x	x	
12			x	x	x		x			

4 Hydrografi og vannutskiftning



Figur.3 Midlere strømbilde i Skagerrak.

Kystvannet utenfor Sørlandskysten består hovedsakelig av vann fra Kattegat og Nordsjøen. I Nordsjøen strømmes det vann fra Tyskebukta opp langs vestkysten av Danmark (Jyllandstrømmen) og inn i Skagerrak. Underveis blandes det med vann fra sørlige/sentrale deler av Nordsjøen og overflatevann fra Kattegat (Baltiske strømmen) (Figur 3). Atlantisk vann strømmes inn i Skagerrak fra Nordsjøen langs sørsiden av Norskerenna og finnes vanligvis under kystvannet på dyp større enn ca 70-80 m langs Sørlandskysten. Transporten av vann fra Tyskebukta og vestkysten av Jylland til Skagerrak er tildels vindavhengig og er størst i perioder med dominerende sørlige vinder. Kystvannet langs den norske Skagerrakkysten er påvirket av langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale fra Nordsjøen og Kattegat. Etter 1975-80 har dette ført til økte konsentrasjoner av næringssalter langs Skagerrakkysten og økt oksygenforbruk og dermed lavere oksygenverdier i fjordbassengene (Aure, Danielssen og Magnusson 2010. Aure og Magnusson 2008. Aure, Danielssen og Svendsen 1998).

Vannutskiftning over terskeldyp i Grenlandsfjordene er i hovedsak bestemt av hydrografiske forholdene i indre Skagerrak. I perioder med oppstuvning av kystvann mot kysten strømmes det vann inn i øvre lag og ut i nedre lag over terskeldyp. Oppstrømning av dypereliggende

saltere vann langs kysten fører til motsatt sirkulasjon. Når vannet i terskelnivå i en oppstrømningsperiode er tyngre enn bassengvannet i fjorden vil oksygenrikt vann strømme ned i dypbassengene (Fig.2). Den store ferskvannstilførselen til Frierfjorden fra Skienselva skaper et lokalt utstrømmende brakkvannslag som påvirker fjordområdene utenfor Frierfjorden. Tykkelsen av og saltholdigheten i brakkvannslaget i Grenlandsfjordene er avhengig både av ferskvannstilførsel og vindforhold.

Vannmassene i Grenlandsfjordene og kystvannet kan deles inn som følger :

Brakkvann (BV) (saltholdighet <25.0) er mest vanlig i sommerhalvåret både pga økt lokal ferskvannsavrenning og økte tilførsler av brakkvann fra Kattegat/Østersjøen. Normalt ligger vannet mellom overflaten og 5-10 m dyp.

Skagerrak kystvann (SKV) (saltholdighet 32.0-34.5) er en blanding av vann fra Østersjøen / overflatevann Kattegat, sørlige /sentrale Nordsjøen (inkludert Tyskebukta) og lokalt ellevann. Vannmassene ligger mellom overflatelaget (brakkvannet) og ned til ca 15-20 m dyp.

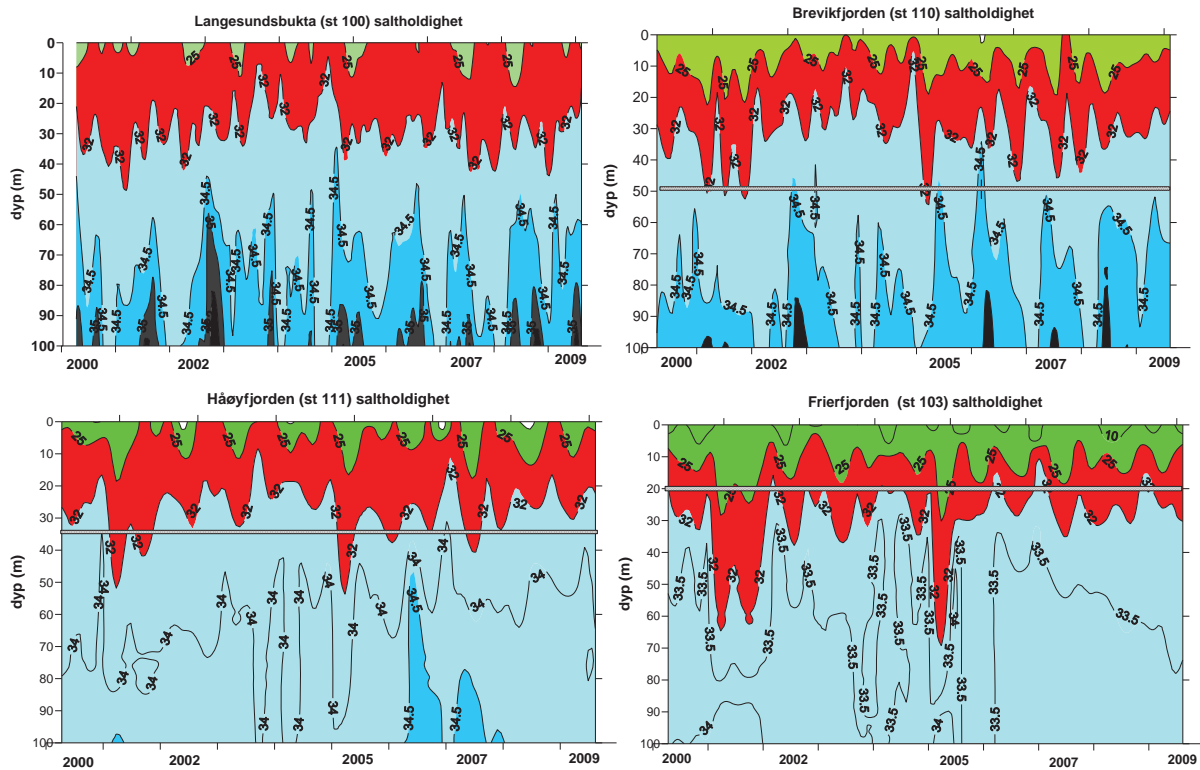
Skagerrakvann øvre (SVØ) (saltholdighet 32.0-34.5) har sin opprinnelse i sørlige/sentrale Nordsjøen (inkl Tyskebukta) og blandes med vann fra Østersjøen/Kattegat. Vannmassene ligger vanligvis mellom ca 20 – 80 m dyp med en klar årlig variasjon og med størst vertikal utbredelse i oktober-mars.

Skagerrakvann nedre (SVN) (saltholdighet 34.5 - 35.0) er i hovedsak vann fra sentrale deler av Nordsjøen. Vannmassene forekommer oftest mellom ca 60-200 m dyp og er mektigst i perioden fra januar til mai.

Atlantisk vann (AV) (saltholdighet > 35.0) tilføres indre del av Skagerrak fra Norskehavet via nordlige Nordsjøen hvor det normalt finnes under 70-80 meters dyp i den norske kystrømmen langs Skagerrakkysten.

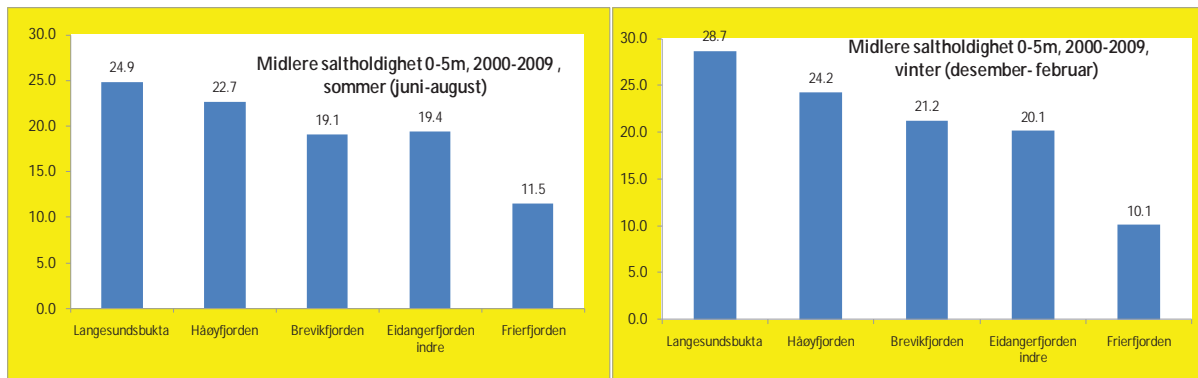
Vannmasse	Saltholdighet	Kilde
BV brakkvann	<25	Ellevann blandet med SK og overflatevann Kattegat
SKV Skagerrak kystvann	25-32	Overflatevann Kattegat og sørlig Nordsjøen
SVØ Skagerrakvann øvre	32-34,5	Sørlige nordsjøen og Kattegat
SVN Skagerrakvann nedre	34,5-35	Sentrale deler av Nordsjøen
AV Atlantisk vann	>35	Norskehavet via nordlige Nordsjøen

Figur 4 viser at ”Skagerrak kystvann” i Langesundsbukta lå mellom overflaten og ca 40 m dyp med periodevis innslag av brakkvann om våren og sommeren. ”Skagerrakvann” dominerte mellom ca 40 og 100 m dyp, mens ”Atlantisk vann” periodevis ble observert opp til 75 - 80m dyp. I øvre lag av Grenlandsfjordene var det gjennom hele året et markert 5-10 m dypt brakkvannslag, med lavest saltholdighet i Frierfjorden. Ved innstrømming til fjordbassenget i Brevik/Eidangerfjorden, med terskeldyp $H_t = 50\text{m}$, strømmet det inn ”Skagerrakvann-nedre” og ”Atlantisk vann”. I Håøyfjorden ($H_t = 35\text{m}$) og Frierfjorden ($H_t = 20\text{m}$) strømmet det inn Skagerrakvann – øvre, med unntak i 2006/2007 hvor det strømmet inn saltere og tyngre ”Skagerrakvann - nedre” til Håøyfjorden ($S > 34.5$). Den høye saltholdigheten (og tettheten) i det innstrømmende vannet i 2006/2007 førte til en forlenget stagnasjonsperiode og dermed etter hvert ekstra lave oksygenverdier i dypvannet både i Håøyfjorden og Frierfjorden fra 2007 (se kapittel 7) .



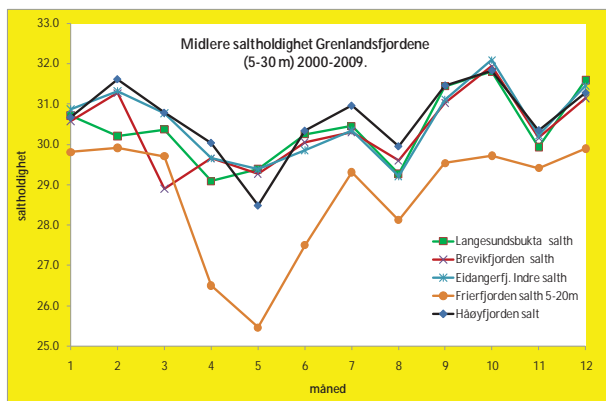
Figur.4. Vertikal saltholdighetsfordeling og vannmasser i de øverste 100m i Langesundsbukta (st 100), Brevikfjorden (st 110) og Frierfjorden (st 103) fra april 2000 til august 2009. Terskeldypet H_t = stiplet linje.

I Grenlandsfjordene var det som nevnt foran brakkvann hele året. I Frierfjorden var det pga stor ferskvannstilførsel meget lave saltholdigheter både sommer og vinter (10-12). Utenfor Frierfjorden blandes det utstrømmende brakkvannet med kystvann og i Eidangerfjorden,



Figur.5 Midlere saltholdighet 0-5 m dyp i Grenlandsfjordene og i Langesundsbukta om sommeren (juni-august) og vinteren (desember-februar) for perioden 2000-2009.

Brevikfjorden og Håøy/Langangsfjorden økte midlere saltholdighet i 0-5 m til 19 - 24 med laveste saltholdigheter om sommeren. I Langesundsbukta var midlere saltholdighet i 0-5 m ca 29.0 om vinteren og ca 25.0 om sommeren (Figur 5). Variasjonene i midlere saltholdigheter i laget mellom 5 og 20-30 m dyp (Fig 6) og vertikalutbredelsen av Skagerrak kystvann (SKV) gjennom året (Figur 4) i Grenlandsfjorden og Langesundsbukta viser at det var god vannutveksling mellom Grenlandsfjordene og kystvannet over terskeldyp.

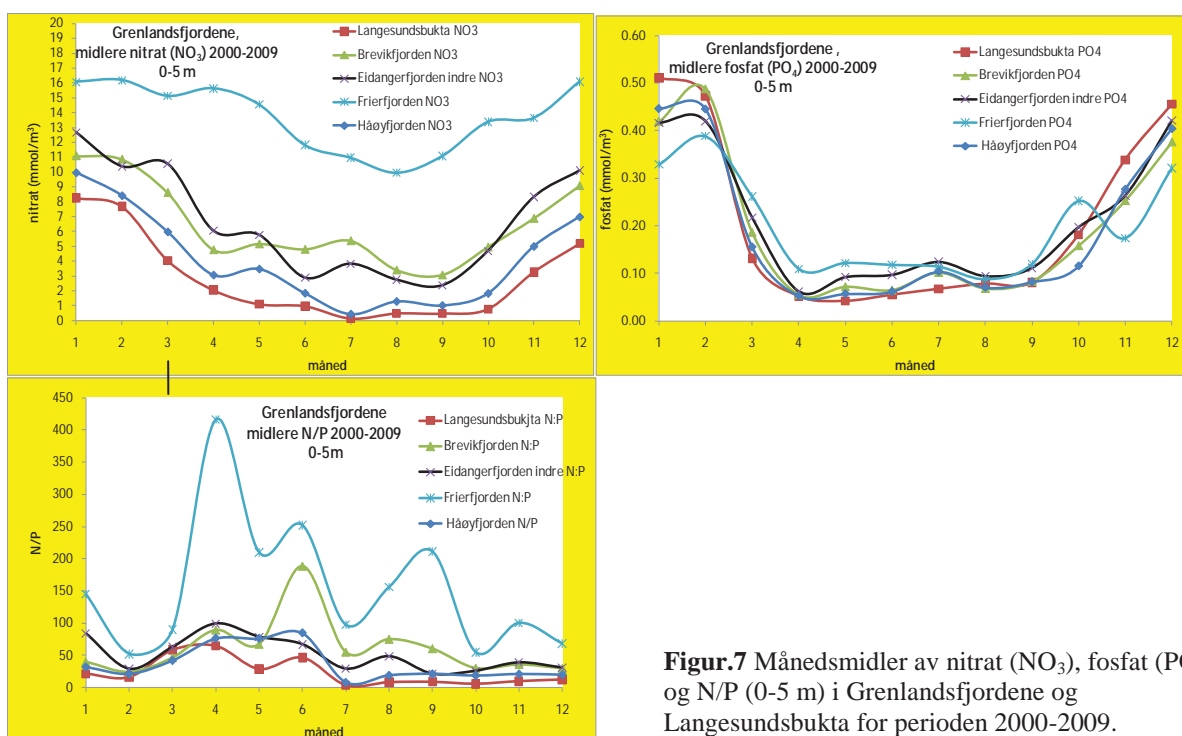


Figur 6. Månedsmidler saltholdighet (5-30 m) i Grenlandsfjordene og Langesundsbukta for perioden 2000-2009.

5 Næringsalter og klorofyll - a

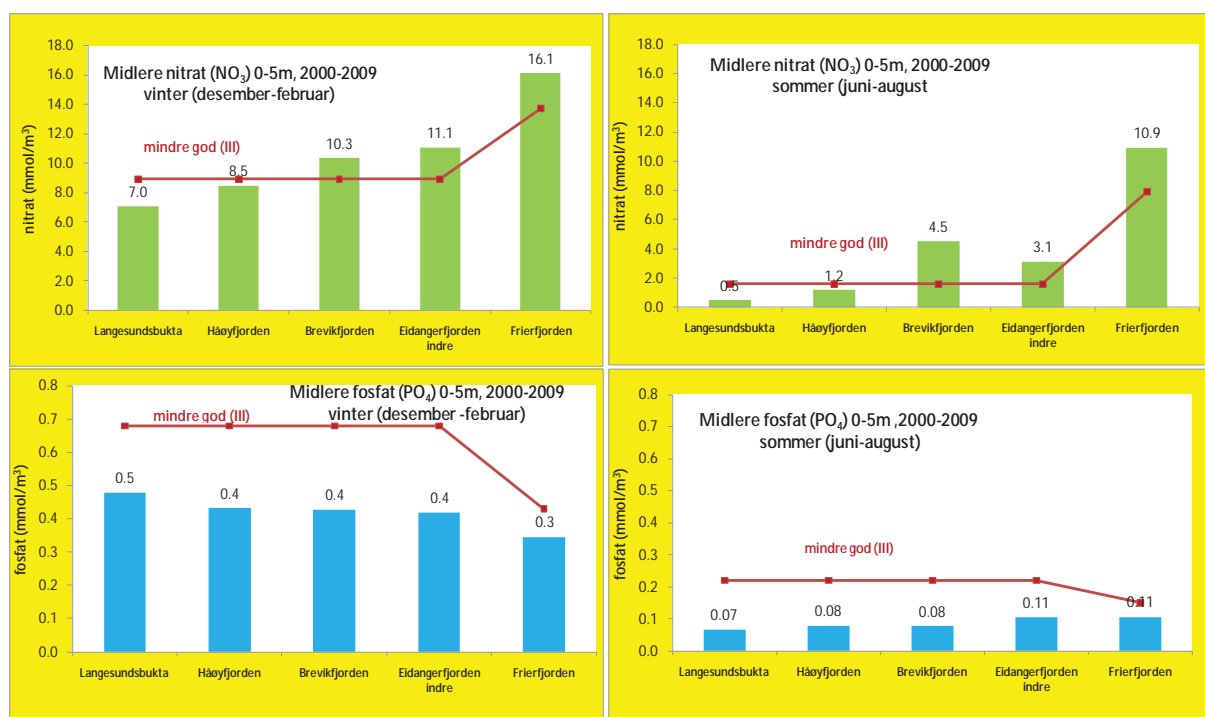
5.1 Næringsalter 0 - 5 m

De store tilførslene av nitrogen til Frierfjorden (se foran) førte til betydelige overkonsentrasjoner av nitrat i øvre vannlag gjennom hele året. Midlere nitratverdier i 0-5 m varierte mellom 16 mmol/m³ om vinteren/våren og 10-12 mmol/m³ om sommeren (Fig.7). Det store overskuddet av nitrogen (N) i forhold til fosfor (P) førte også til unormalt høye N/P -forhold (50 - 400) i 0-5 m gjennom hele året i Frierfjorden (normal N/P = 30 - 50). Utstrømningen av nitratrikt brakkvann fra Frierfjorden påvirket betydelig grad brakkvannet i Brevikfjorden og Eidangerfjorden hvor midlere nitratverdier i 0-5 m var 4-5 mmol/m³ høyere enn i kystvannet (Langesundsbukta) gjennom hele året. I Håøyfjorden/Langangsfjorden var det mindre påvirkning fra Frierfjorden, med nitratverdier 0-2 mmol/m³ høyere enn i Langesundsbukta. Fosfatverdiene var tilnærmet normale og det var relativt små forskjeller mellom kystvannet og Grenlandsfjordene gjennom et middelår.



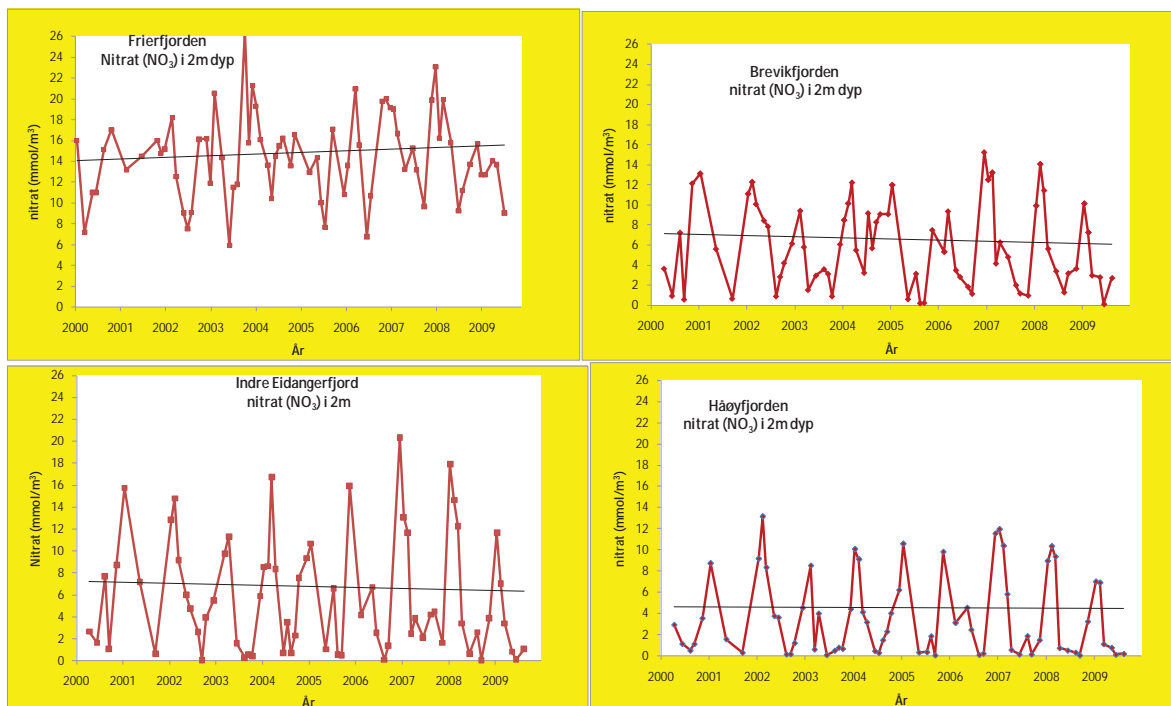
Figur.7 Månedsmidler av nitrat (NO₃), fosfat (PO₄) og N/P (0-5 m) i Grenlandsfjordene og Langesundsbukta for perioden 2000-2009.

Vinterverdiene av næringssalter i overflatelaget var lite påvirket av planteplankton og gir derfor et godt bilde av påvirkningsgraden fra lokale næringssalttilførsler til Grenlandsfjordene. I middel for perioden fra desember til februar var midlere nitratverdier i Frierfjorden 16.1 mmol/m³ som er over grensen for tilstandsklasse III ”mindre god” (SFT, 1997) (Figur 8). I influensområdet til Frierfjorden: Eidangerfjorden og Brevikfjorden, var det også ”mindre god” miljøtilstand med midlere nitratverdier på 10 -11 mmol/m³. I Håøyfjorden nærmere kysten og i kystvannet utenfor Grenlandsfjordene (Langesundsbukta) var det tilstandsklasse II ”gode forhold” mht med midlere vinterverdier av nitrat (7 - 8.5 mmol/m³). I middel for sommermånedene fra juni til august var det fortsatt et betydelig overskudd av nitrat i Frierfjorden, Eidangerfjorden og Brevikfjorden (tilstandsklasse III ”mindre god”), mens det i Håøyfjorden og Langsundsbukta var tilstandsklasse I og II (meget gode/gode forhold). Observasjonene viser dermed at de store tilførselene av nitrat til Frierfjorden førte til en betydelig forverring av nitratkonsentrasjonene gjennom hele året i Frierfjorden, Eidangerfjorden og Brevikfjorden, mens påvirkningen av Håøyfjorden/Langangsfjorden var mindre. I motsetning til nitrat var Grenlandsfjordene lite påvirket av fosfortilførselene fra land og midlere vinter og sommerverdier av fosfat var i tilstandsklasse I (”meget god”) (Figur 8) .



Figur 8. Midlere nitrat (NO₃) og fosfat (PO₄) i 0-5 m dyp i Grenlandsfjordene og i Langesundsbukta om sommeren (juni-august) og vinteren (desember-februar) for perioden 2000-2009.

Figur 9 viser at det ikke var signifikante langtidsendringer i nitrat i øvre lag (2m) av Grenlandsfjordene mellom 2000 og 2009. I Frierfjorden varierte nitrat typisk mellom ca 20 (vinter) og ca 8 (sommer) mmol/m³, Eidangerfjorden indre mellom 16 (vinter) og 0 (sommer) mmol/m³, Brevikfjorden mellom 12 (vinter) og 0 (sommer) mmol/m³ og i Håøyfjorden mellom 9 (vinter) og 0 (sommer) mmol/m³

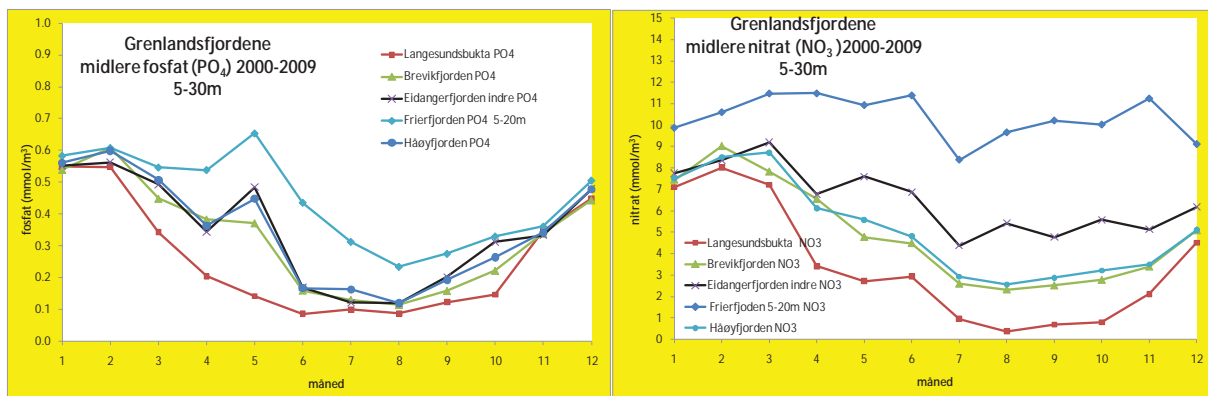


Figur 9. Nitrat (NO_3) i 2 m dyp i Grenlandsfjordene fra 2000 til 2009.

Målinger i Brevikfjorden i 1996-1997 viste tilnærmet konstante nitratverdier ($10\text{-}14 \text{ mmol/m}^3$) i brakkvannslaget gjennom hele året (Molvær, 1999, 2001), mens det i perioden 2000 - 2009 var en klar nitratreduksjon i løpet av sommerhalvåret (Figur 7 og 9). Denne forbedringen skyldes trolig de reduserte tilførsene av nitrogen til Grenlandsfjordene.

5.2 Næringsalter 5 - 30 m

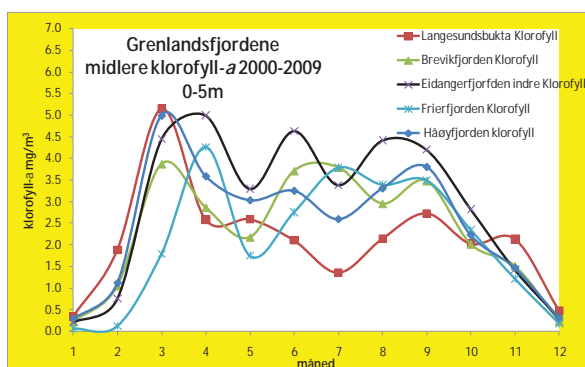
Figur 10 viser at det også er markert høyere nitratverdier mellom 5 og 30 m dyp fra april til november i Grenlandsfjordene enn i kystvannet i Langesundsbukta. I Brevikfjorden og Håøyfjorden var overkonsentrasjonene i forhold til kystvannet ca 3 mmol/m^3 og i indre Eidangerfjord $4\text{-}5 \text{ mmol/m}^3$, mens det i Frierfjorden (5 - 20 m) var betydelig høyere overkonsentrasjonene ($8 - 10 \text{ mmol/m}^3$) sammenlignet med kystvannet. Fosfatverdiene mellom 5 og 30m var også noe høyere i Brevik/Eidangerfjorden enn i kystvannet fra mars til juni, mens fosfatverdiene i Frierfjorden var betydelig høyere enn i Brevik/Eidangerfjorden og kystvannet (Langesundsbukta). I 5-30 m dyp er, som i 0-5m dyp, hovedkildene til overkonsentrasjonene lokale tilførsler av næringsalter til Grenlandsområdet. De relativt midlere høye restkonsentrasjonene av nitrat i de øverste 30 m i Brevik/Eidanger og Håøyfjorden i sommerhalvåret skyldes trolig at en kombinasjon av underskudd av fosfat i forhold til nitrat i vannet og lysbegrensning under 0 – 5 m som begrenser produksjonen av planteplankton og dermed forbruk av nitrat. I Frierfjorden vil kort oppholdstid og lav saltholdighet ytterligere å begrense oppblomstringen av planktonalger (Molvær, 1991). Overskuddet av nitrat mellom 0 - 30 m dyp i Grenlandsfjordene transporteres ut på vestsiden av Langesundsbukta mot Jomfruland (Figur 10).



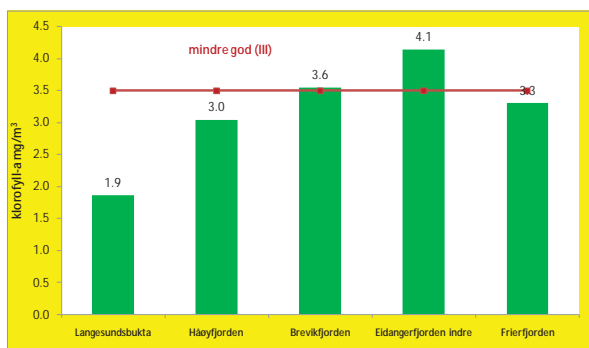
Figur 10. Månedsmidler av nitrat (NO₃), fosfat (PO₄) og N/P (5-30 m) i Grenlandsfjordene og Langesundsbukta for perioden 2000-2009. I Frierfjorden er intervallet 5 – 20 m.

5.3 Klorofyll - a

Klorofyll-a er knyttet til planteplankton hvor høye verdier gir høy konsentrasjon /produksjon av planteplankton. Under normale forhold følger planteplankton - konsentrasjonene et forholdsvis fast mønster gjennom året med våroppblomstring i mars/april, lavere verdier om sommeren ofte etterfulgt av en høstblomstring (se feks Langesundsbukta) (Fig 11). Etter vårbloomstringen i mars/april fram til oktober var midlere klorofyll-a i 0-5 m i Grenlandsfjordene stort sett høyere i enn på kysten (Langesundsbukta), med de høyeste klorofyll-a verdiene i Eidangerfjorden.



Figur 11. Månedsmidler av klorofyll - a (0-5 m) i Langesundsbukta og Grenlandsfjordene for perioden 2000-2009.



Figur 12. Midlere klorofyll - a (0-5 m) i Grenlandsfjordene og i Langesundsbukta om sommeren (juni - august) for perioden 2000-2009.

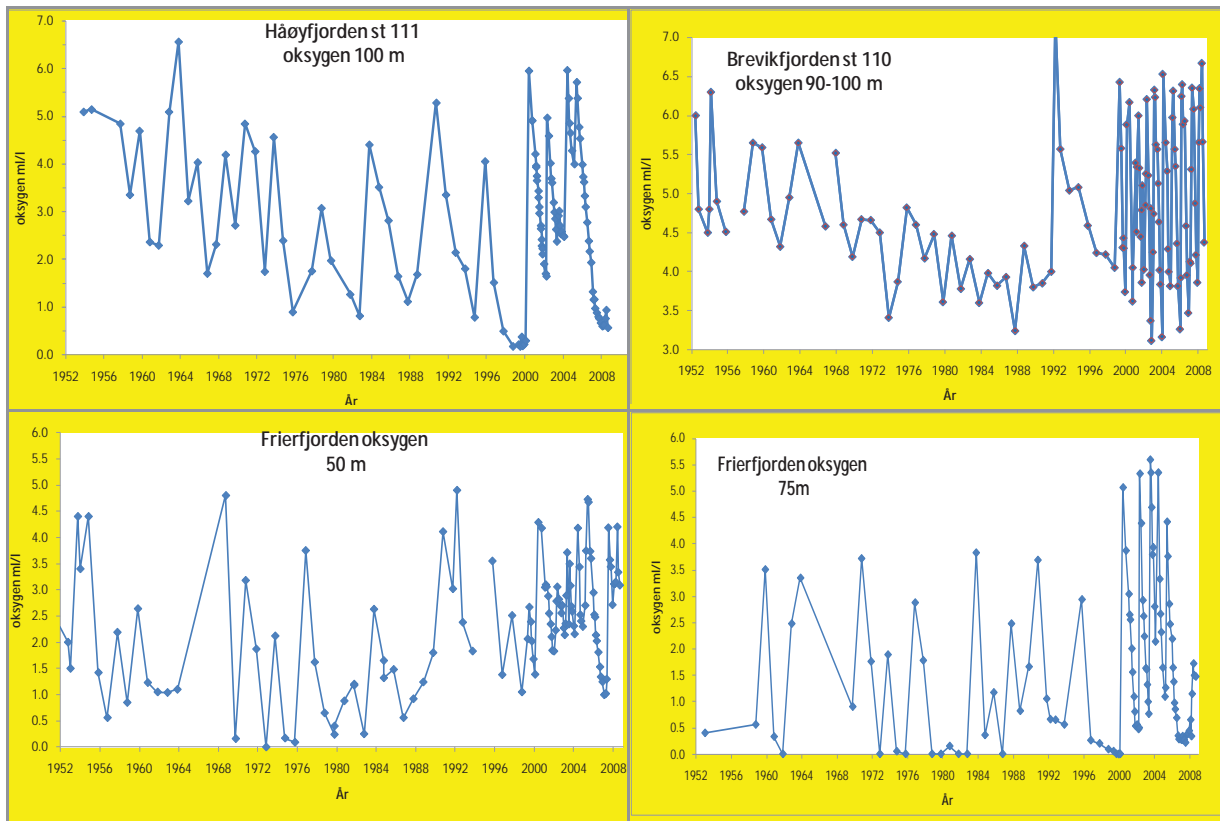
Figur 12 viser at midlere klorofyll - *a* verdi om sommeren (juni-august) var høyest i Eidangerfjorden (4.1 mg/m³) og lavest i Langesundsbukta (1.9 mg/m³). I Frierfjorden, Brevikfjorden og Håøyfjorden lå midlere klorofyll - *a* mellom 3 og 3.6 mg/m³. De forholdsvis lave klorofyll - *a* verdiene i Frierfjorden skyldes hovedsakelig kort oppholdstid av brakkvannet og lav saltholdighet som gir dårligere vilkår for blomstring av planteplankton. (Molvær, 1991). Klorofyll - *a* i Eidanger - og Brevikfjorden var i tilstandsklasse III (mindre god), mens det var tilstandsklasse II (god) i Frierfjorden og Håøyfjorden. I Langesundsbukta var det "meget gode" forhold (tilstandsklasse I) (SFT, 1997).

6 Oksygen i dypvannet

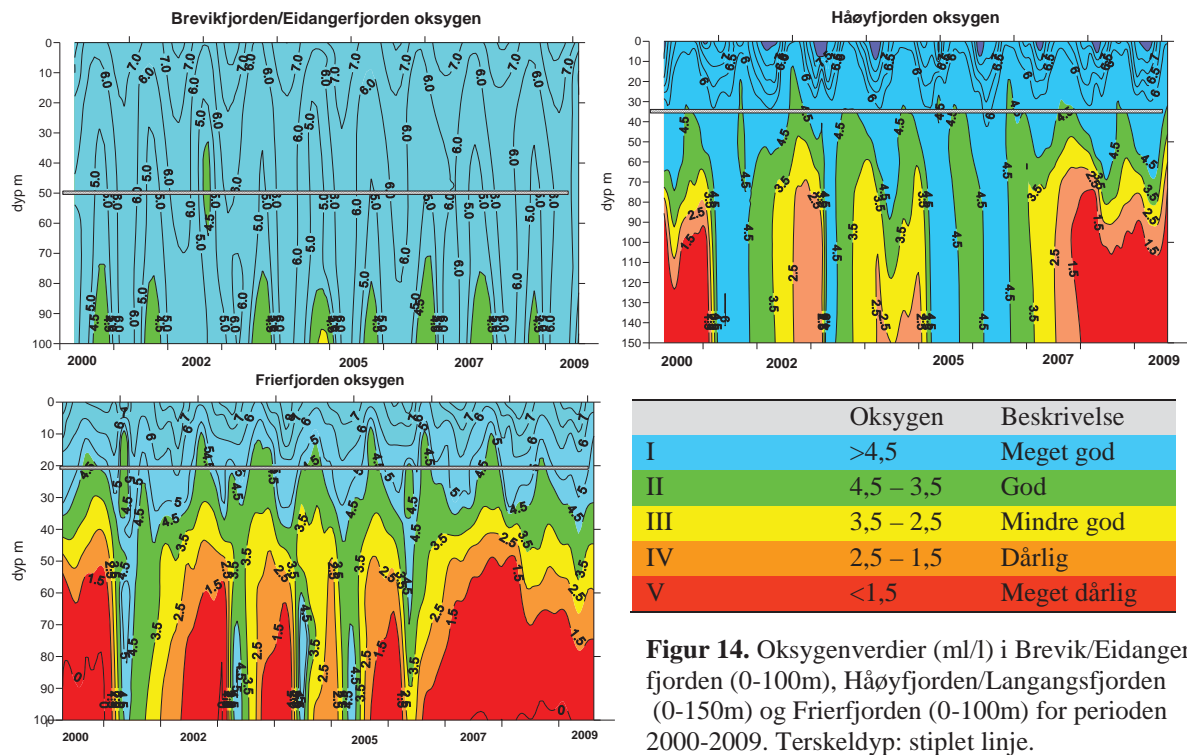
Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Flødevigen har overvåket miljøforholdene i en rekke fjorder langs den norske Skagerrakkysten i de siste 50-70 år. Årlige oksygenmålinger har vanligvis vært utført til samme tid om høsten i månedsskiftet september-oktober. Studier av utviklingen i oksygenforholdene i fjordbassengene har vist en klar forverring etter 1975-80 (Aure et al. 1996, Johannessen og Dahl 1996, Buhl-Mortensen et al. 2006). Årsaken er økte tilførsler av langtransporterte næringssalter og organisk materiale til Skagerrakkysten, som generelt har økt oksygenforbruket i fjordbassengene med 50 - 70 % i forhold til naturlig oksygenforbruk. Mens Håøyfjorden hovedsakelig er påvirket av økt langtransportert organisk forurensning (50 - 70 %), har i tillegg lokale tilførsler av organisk materiale bidratt til at økningen i oksygenforbruket i fjordbassengene i Brevikfjorden/Eidangerfjorden og Frierfjorden var henholdsvis ca 100 % og ca 120 % i perioden 2000 - 2009.

Figur 13 viser at det økte oksygenforbruket fra langtransportert organisk forurensning etter 1975-80 førte til lavere oksygenminimum i fjordbassengene både i Håøyfjorden og Brevik/Eidangerfjorden. I Håøyfjorden ble midlere oksygenminimum redusert fra ca 2.6 ml/l (mindre god, klasse III) til 1,0 ml/l (meget dårlig, klasse V). I Brevik/Eidangerfjorden ble midlere oksygenminimum i bassengvannet redusert fra ca 4,4 ml/l (God, klasse II) til 3-3,5 ml/l (mindre god, klasse III).

De første kjente observasjoner i Frierfjorden ble gjort av Hjort og Gran (1900) i 1898 hvor målinger i september og desember viste at det var oksygenfritt nær bunnen (90 m). Det samme viste både en måling av Dannevig (1930) i 1924 nær bunnen (80 m), og Strøm (1936) i 1933 på 85 m. Først i 1947 påviste Strøm oksygen i 85 m (2.79 cm³/l). De siste er upubliserte data fra Strøm som er presentert i Brækken (1966). Alle disse undersøkelsene viser bare en tilfeldig tilstand der og da og gir ikke noen hydrografisk utvikling i fjorden over tid. Alve (2000) undersøkte imidlertid sedimentkjerner i Frierfjorden og fant ut fra disse at i den førindustrialiserte tid (før 1550) var det gode oksygenforhold i dypet, og det var også tilfelle i sagbruksperioden opp mot 1870-tallet. Etter den tid hvor man kom over i den moderne industriepoken opptrådte det en økende frekvens av anoksiske forhold i bunnvannet. Undersøkelser foretatt først på 1970 - tallet (Danielssen og Føyn, 1973) viste at lokale tilførsler av organisk materiale til Frierfjorden også spredte seg til de dypere deler av det utenforliggende fjordsystemet både i vannmassene og i bunnsedimentene (Brevikfjorden).



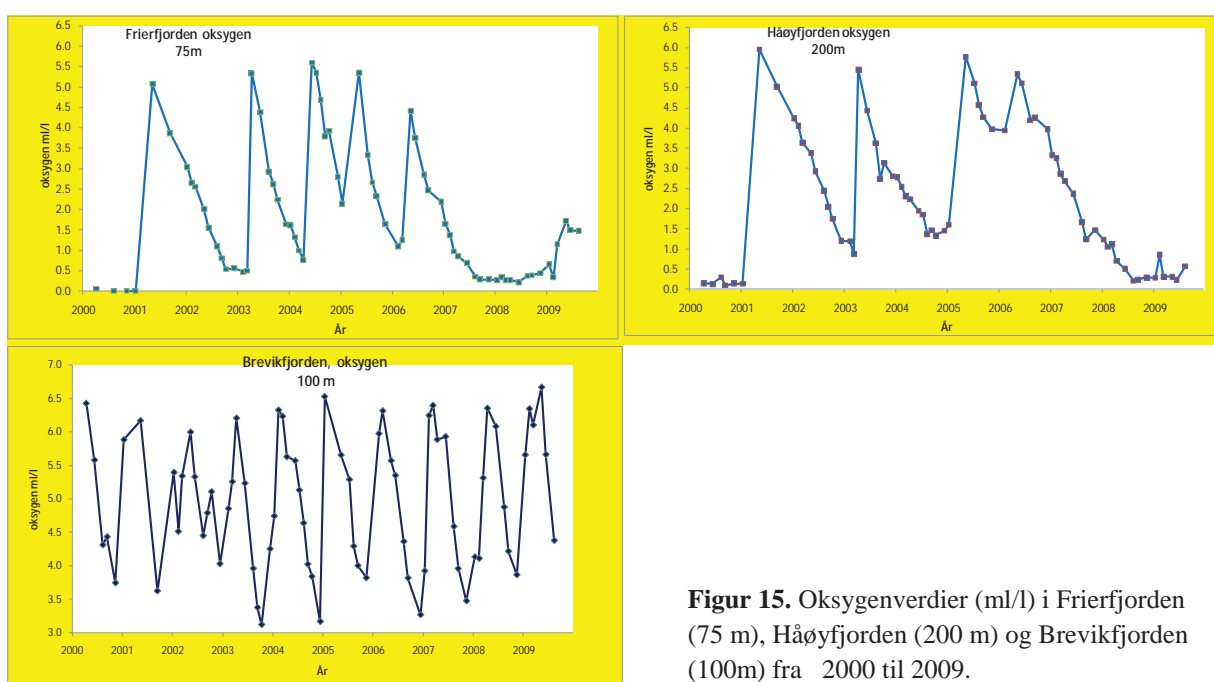
Figur 13. Oksygenverdier (ml/l) i Håøyfjorden (100 m), Brevikfjorden (90-100 m), Frierfjorden (50m og 75m) i perioden 1952-2009.



Figur 14. Oksygenverdier (ml/l) i Brevik/Eidangerfjorden (0-100m), Håøyfjorden/Langangsfjorden (0-150m) og Frierfjorden (0-100m) for perioden 2000-2009. Terskeldyp: stiplet linje.

Figur 13 viser at det i hele perioden fra 1952 til 2009 var meget dårlige oksygenforhold nær bunn i Frierfjorden i 75 m dyp (oksygen minimum < 1.0 ml/l, klasse V). Etter 1988 ser det imidlertid ut til at oksygenminimumsverdiene i 50 m dyp har økt noe (Molvær 1992, 2001), men fortsatt er oksygenforholdene sterkt redusert (oksygen minimum 1-2 ml/l, dårlig, klasse IV og meget dårlig, klasse V).

Figur 14 og 15 viser at hyppige innstrømninger til dypvannet i Brevikfjorden (og Eidangerfjorden) førte til forholdsvis gode oksygenforhold i bassengvannet, med midlere oksygenminimum i 100 m dyp på 3-3.5 ml/l (tilstandsklasse III, mindre god). I Håøyfjorden/Langangsfjorden og da spesielt i Frierfjorden var det betydelig lavere oksygenverdier og lengre perioder med dårlige oksygenforhold enn i Brevik/Eidangerfjorden (tilstandsklasse IV og V, dårlig - meget dårlig).



Figur 15. Oksygenverdier (ml/l) i Frierfjorden (75 m), Håøyfjorden (200 m) og Brevikfjorden (100m) fra 2000 til 2009.

Den manglende utskiftningen av bassengvannet etter 2006/2007 (se Kapittel 4) resulterte i en langvarig periode med spesielt dårlige oksygenforhold i de to fjordbassengene med oksygenminimum < 1.5 ml/l (meget dårlig, tilstandsklasse V).

7 Referanser

- Alve, E., 2000. Environmental stratigraphy: a case studyreconstructing bottom water oxygen conditions in Frierfjord, Norway, over the past five centuries. In: Martin, R., (ed.), Environmental Micropaleontology. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, p.323-350.
- ANON, 1996. Ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann. Ytre Oslofjord- Eutrofitilstand, utvikling og forventede effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra nasjonal ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann, februar 1996(SFT, Trykket ved NIVA).
- Aure, J. og Danielssen, D.S. 1999. Ytre Oslofjord. Hydrografi og næringssalter over terskeldyp 1995-1998. Rapport 785/99 - Statlig program for forurensningsovervåking. HI-rapport: 1-36.
- Aure, J. og Danielssen, D. 1996. Fjordbassengene i ytre Oslofjord. Oksygenforbruk, organisk belastning og vannutskiftning. Fisken og Havet nr.17-1996, 39s.
- Aure, J., Danielssen, D.S. og Magnusson, J. 2010. Langtransporterte tilførsler av næringssalter til Ytre Oslofjord 1996-2006. Fisken og Havet nr. 4/2010.21s.
- Aure, J., Danielssen, D. And Svendsen, E. 1998. The origin of Skagerrak coastal water off Arendal in relation to variations in nutrient concentrations. ICES Journal of Marine Science, 55 : 610-619.1998.
- Aure, J., Danielssen, D. and Sætre R. 1996. Assessment of eutrophication in Skagerrak coastal water using oxygen consumption in fjordic basins. ICES Journal of Marine Science, 53: 589-595. 1996
- Aure, J. og Johannesen, T. 1997. Næringssalter og Klorofyll - *a* fra Skagerrak til Vestlandet. Fisken og Havet nr. 2 - 1997: 45 s
- Aure, J. og Magnusson, J. 2008. Mindre tilførsel av næringssalter til Skagerrak. Kyst og Havbruk 2008. Fisken og Havet, særnummer 2 -2008. S 28-30.
- Brækken, A. 1966. Hydrografiske undersøkelser i Frierfjorden. Hovedfagsoppgave i geografi (limnologi), Universitetet i Oslo. Stensilert 175 s.
- Buhl-Mortensen, L., Aure, J., Alve E., Husum K., og Oug E. 2006. Effekter av oksygensvikt på fjordfauna: Bunn fauna og miljø i fjorder på Skagerrakkysten. Fisken og Havet nr.3 2006.108 s.
- Danielssen, D.S. og Føyn, L. 1973. Frierfjorden – en vurdering av fjordsystemets vannutskiftning. Fisken og Havet, Ser. B, 6, 1973: 1-19.
- Dannevig, A. 1930. The propagation of our common fishes during the cold winter 1924. Rep. Norw. Fish. Mar. Invest. 3, 10: 1-133.
- Hjort, J. og H. H. Gran. 1900. Hydrographical - biological investigations of the Skagerrak and the Christiania Fiord. Rep. Norw. Fish. Mar. invest. 1, 2: 1-56.
- Johannesen T. og Dahl E, 1996 a. Declines in oxygen concentrations along the Norwegian Skagerrak coast, 1927-1993: A signal of ecosystem changes due to eutrophication?. Limnol. Oceanogr. 41(4), 1996, pp.766-778.
- Molvær, J., 2001. Overvåking av Grenlandsfjordene 2000. Oksygenforhold og vannutskiftning. Statlig program for forurensningsovervåking rapport nr. 823-01. NIVA - rapport nr. 1803-2001. 28 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, 1992. Undersøkelser av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. NIVA-rapport. Delrapport 9. Konklusjoner. Overvåkingssrapport ne.474/91.TA 107/91. 46 s.
- Molvær. J *et al.*1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT Rapport TA-1467/1997.36 s.
- SFT, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens Forurensningstilsyn, veiledning 97:03. 36 s. (Utarbeidet av Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J, Rygg, B., Skei, J, og Sørensen, J.)
- Strøm, K.M. 1936. Landlocked waters. Skrifter utgitt av det Norske Vitenskaps-Akademi i Oslo. 1. Matematisk-Naturvitenskapelig Klasse, Vol. 1, No. 7, pp. 1-85.

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 31
E-post: post@imr.no

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
AVDELING TROMSØ

Sykehusveien 23, Postboks 6404
NO-9294 Tromsø
Tlf.: +47 77 60 97 00 – Faks: +47 77 60 97 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN

Nye Flødevigveien 20
NO-4817 His
Tlf.: +47 37 05 90 00 – Faks: +47 37 05 90 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL

NO-5392 Storebø
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN MATRE

NO-5984 Matredal
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT
OG KOMMUNIKASJON

Public Relations and Communication
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 55
E-post: informasjonen@imr.no

www.imr.no

