

Langtransporterte tilførsler av næringsalter til Ytre Oslofjord 1996-2006

Jan Aure¹, Didrik Danielssen¹ og Jan Magnusson²
¹Havforskningsinstituttet, ²NIVA



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

PROSJEKTRAPPORT



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

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

Tromsø
9294 TROMSØ

Flødevigen
4817 HIS

Austevoll
5392 STOREBØ

Matre
5984 MATREDAL

Rapport:
Fisken og Havet

Nr. - År
4-2010

Tittel (norsk/engelsk):
Langtransporterte tilførsler av næringssalter til Ytre
Oslofjord 1996 – 2006

Forfatter(e): Jan Aure¹, Didrik Danielssen¹ og
Jan Magnusson²
¹Havforskningsinstituttet, ²NIVA

Distribusjon:
Åpen

Prosjektnr.:
27250-4 (NIVA)

Oppdragsgiver(e):
NIVA

Oppdragsgivers referanse:

Dato:
22. oktober 2010

Program:
Kyst

Faggruppe:
Oseanografi

Antall sider totalt:
21

Sammendrag (norsk):

5-30 m dyp , 1996-2006

I middel for perioden fra desember til april hadde ca. 70 % av nitraten i kystvannet utenfor Ytre Oslofjord sin opprinnelse fra Tyskebukta. Det resterende bidraget på ca. 30 % var omlag likt fordelt mellom tilførslene fra sørlige/sentrale Nordsjøen og overflatevann fra Kattegat. Tilførslene av fosfat var jevnere fordelt, med bidrag på 25-38 % fra hver av de tre hovedkildene. I Ytre Oslofjord i samme periode bidro Tyskebukt vann med ca. 60 % mht. nitrat i ytre del og med ca. 45 % i den indre del av fjorden, mens det lokale bidraget var henholdsvis ca. 12% og 30 % . I middel for perioden fra mai til november var de langtransporterte nitrat - og fosfatverdiene betydelig lavere i kystvannet utenfor Ytre Oslofjord og bidraget av nitrat fra kystvannet avtok fra ca. 70% ytterst til ca. 25% inderst i fjorden, mens det lokale bidraget økte til henholdsvis ca. 30 % og ca. 75 % . For fosfat var bidraget fra lokale kilder i samme periode 20 % - 50 %.

0-5m dyp, 1996-2006

I middel for perioden fra desember til februar er midlere bidrag av nitrat og fosfat lokalt fra land til i ytre Oslofjord beregnet til henholdsvis ca. 40 % og 20 %, mens resten ble blandet inn fra dypere vannlag. Midlere bidrag av nitrat fra Tyskebukta er beregnet til ca. 30 %, mens bidraget fra sørlige/sentrale Nordsjøen og Kattegat overflatevann var 7-8 %. I middel for perioden fra juni til august var næringssaltverdiene dominert av lokale tilførsler med bidrag på ca. 80 % for nitrat og ca. 65 % for fosfat. Bidraget fra kystvannet var

henholdsvis ca. 10 % og 25 %.

Langtransport, 1996-2006

Etter 1995 ble midlere nitratverdier i Tyskebukta i vinter-vår perioden redusert med ca. 40 %, fra ca. 42 til 24 mmol/m³. Dette førte til at midlere nitratverdier i kystvannet i indre Skagerrak og i ytre Oslofjord (5-30 m) i samme periode ble redusert med 25-30 %, mens nitratverdiene i 0-5m i ytre Oslofjord ble redusert med ca. 15 %.

Summary (English):

The mean winter/spring contributions of nitrate and phosphate from the German Bight to the coastal water (5 - 30 m) outside the Oslofjord during the period 1996-2006 were estimated to respectively 70 % and 40 %. In the Oslofjord (5-30 m), the mean contribution of German Bight Water in the same period was estimated to 60 % in the outer and 45 % in the inner part of the fjord. In the brackish upper layer (0-5m), the mean contribution of nitrate from the German Bight during the winter period (December-February) was estimated to about 30 %. In the summer period, from June to August, the supply of nitrate was dominated by local sources, about 80 % in the upper 5m and 50-75% between 5 and 30 m depth. After 1995 the transport of nitrate during winter/spring, mainly from the German Bight, was reduced by about 40 % (from 42 to 24 mmol/m³) and consequently the mean nitrate concentration (1996-2006) in the coastal water in the inner Skagerrak and in the Oslofjord (5 - 30m) was reduced with 25-30 %, and in the 0-5m layer with about 15 %.

Emneord (norsk):

1. Eutrofiering
2. Næringssalter
3. Oslofjord

Subject heading (English):

1. Eutrophication
2. Nutrients
3. Oslofjord



Prosjektleder



Faggrupeleder

Innholdsfortegnelse

1	OPPSUMMERING	7
1.1	Kystvann - indre Skagerrak.....	7
1.2	Ytre Oslofjord (5 - 30 m)	7
1.3	Ytre Oslofjord (0-5m)	8
2	BAKGRUNN	8
3	OBSERVASJONER.....	8
4	INDRE SKAGERRAK (5-30 M).....	10
4.1	Desember - april	10
4.2	Mai - november	11
4.2.1.	Reduserte langtransporterte nitrattilførsel etter 1995	13
5	YTRE OSLOFJORD (5 - 30 M)	13
5.1	Desember - april	13
5.2	Mai - november	15
6	YTRE OSLOFJORD (0 - 5 M)	16
6.1	Midlere transporter av vann og næringssalter	16
6.2	Midlere % bidrag næringssalter	18
6.3	Effekt av redusert langtransportert tilførsel etter 1995	18
6.4	Midlere næringssaltverdier og primærproduksjon.	19

1 Oppsummering

Den norske kyststrømmen langs Skagerrakkysten og utenfor Oslofjorden tilføres vann fra Kattegat og Nordsjøen. I Nordsjøen strømmer vann fra Tyskebukta opp langs vestkysten av Danmark med Jyllandstrømmen. Underveis blandes den med vann fra sørlige og sentrale deler av Nordsjøen, før den strømmer inn i Skagerrak. Fra Nordsjøen transporteres atlantisk vann inn i Skagerrak langs sørsiden av norskerenna, og finnes vanligvis på dyp større enn 70 m langs Skagerrakkysten. Transporten av vann fra Tyskebukta og vestkysten av Jylland til Skagerrak er imidlertid vindavhengig, og er størst i perioder med sørlige vinder (høst - vinter). Ved dominerende vestlig og nordlige vinder i Skagerrak (vår - sommer) vil vann fra øvre lag av Skagerrak ofte resirkuleres og periodevis kunne blokkere innstrømmingen av vann fra vestkysten av Jylland og Tyskebukta.

1.1 Kystvann - indre Skagerrak

Kystvannet i indre Skagerrak (stasjon OF1, 5-30 m) var i perioden fra desember til april, 1996 -2006 hovedsakelig en blanding av vann fra sørlige/sentrale Nordsjøen (ca. 50 %), overflatevann fra Kattegat (ca. 30 %) og vann fra Tyskebukta (ca. 20 %). De relativt høye næringssaltverdiene i Tyskebukta, forårsaket av menneskeskapte utslipp, førte imidlertid til at nærmere 70 % av nitrattet i kystvannet utenfor Oslofjorden hadde sin opprinnelse fra Tyskebukta. Det resterende bidraget på ca. 30 % var fordelt mellom tilførslene fra sørlige og sentrale Nordsjøen og overflatevann fra Kattegat. Tilførslene av fosfat var jevnere fordelt, med bidrag på 25 – 35 % fra hver av de tre hovedkildene.

I perioden fra mai til november var det betydelig lavere nitrat og fosfatverdier i kystvannet i indre Skagerrak som følge av økt produksjon av planteplankton og hyppigere blokkering av innstrømmende vann fra vestkysten av Jylland og Tyskebukta.

Etter 1995 har det i vinter-vårperioden vært en ca. 40 % midlere reduksjon av nitratverdiene i Tyskebukta, noe som førte til at midlere nitratverdi i kystvannet i indre Skagerrak ble redusert fra ca. 9.3 til ca. 6.7 mmol/m³, dvs. med ca. 30 %. Reduksjonen i nitrat førte til at forholdet mellom nitrogen og fosfor (N/P) avtok fra ca. 60,0 til 35,0 i Tyskebukta, og fra ca. 23,0 til ca. 15,0 i kystvannet i indre Skagerrak. De lavere N/P-forholdene etter 1995 har trolig også redusert risikoen for oppblomstring av skadelige alger i Skagerrak.

1.2 Ytre Oslofjord (5 - 30 m)

Beregningene viser at i middel for vinter-vår perioden (1996-2006) bidrog Tyskebukt vann med ca. 60 % og lokale kilder med 12 % med hensyn til nitrat i ytre del av Oslofjorden (stasjon OF2-4), mens i indre del av fjorden (stasjon OF 5-7) var bidraget fra Tyskebukta redusert til ca. 45 % og lokale kilder økt til ca. 30 %.

I perioden mai-november (1996-2006) er det betydelig lavere nitrat og fosfatverdier i kystvannet i indre Skagerrak som følge av blant annet økt planktonproduksjon. Dette førte til at midlere bidrag fra lokale næringssaltkilder økte markert i ytre Oslofjord i denne perioden.

For nitrat var for eksempel det lokale bidraget ca. 30 % ved stasjon OF2 ytterst i fjorden og økte til ca. 75 % ved stasjon OF7 i Drøbaksundet. For fosfat var bidraget fra lokale kilder ca. 20 % i ytre del av fjorden (stasjon OF 2-4), mens det i indre del av fjorden (stasjon OF 5-7) var omlag samme bidraget fra kystvannet og lokale kilder (ca. 50 %).

Som følge av de reduserte tilførslene av næringssalter fra Tyskebukta til kystvannet etter 1995 er midlere nitratverdiene i Ytre Oslofjord i vinter/vår perioden redusert med ca. 2.5 mmol/m³. I f.eks. Breidangen (stasjon OF 5) førte dette til en midlere reduksjon i nitrat fra 10.8 til 8.2 mmol/m³ (ca. 25 %).

1.3 Ytre Oslofjord (0-5m)

Midlere bidrag fra land om vinteren (desember-februar) av nitrat og fosfat til de øverste 0-5 m i ytre Oslofjord er beregnet til henholdsvis ca. 40 % og ca. 20 %, mens bidraget fra dypere liggende sjøvann var henholdsvis ca. 60 og 80 %. Bidraget av nitrat fra Tyskebukta i 0-5 m er beregnet til ca. 30 %, mens bidraget fra sørlige/sentrale Nordsjøen og Kattegat overflatevann var 7-8 %. Om sommeren (juni-august) er tilførslene dominert av næringssalter lokalt fra land med bidrag på ca. 80 % for nitrat og ca. 65 % for fosfat. Bidraget fra kystvannet til nitrat og fosfat er beregnet til henholdsvis ca. 10 % og ca. 25 %.

Som nevnt foran er midlere nitratverdi (desember-april) i kystvannet redusert med ca. 30 % etter 1995. Dette har ført til at midlere nitratverdier i 0-5 m laget i ytre Oslofjord i denne perioden ble redusert fra ca. 10.4 til ca. 8.8 mmol/m³, dvs. med ca. 15 %.

2 Bakgrunn

Vannmassene i ytre Oslofjord, er som resten av Skagerrakkysten, påvirket av langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale fra Nordsjøen og Kattegat. I øvre lag (0-5 m) vil også lokale tilførsler av næringssalter fra de to største elvene i Norge (Glomma og Drammenselva) være betydelige og da spesielt under vårfloppen og i nedbørsrike perioder. Det er tidligere beregnet midlere bidrag av vann og næringssalter fra Kattegat, sørlige/sentrale Nordsjøen og Tyskebukta til kystvannet utenfor Arendal (Aure og Johannesen 1997, Aure, Danielssen and Svendsen 1998, Magnusson og Aure 2007 og Aure og Magnusson, 2008). Målsettingen i denne rapporten er å beregne bidraget av langtransporterte næringssalter både til kystvannet i indre Skagerrak og i ytre Oslofjord basert på observasjoner i perioden 1996-2006.

3 Observasjoner

I perioden fra 1995 til 2006 ble det utført omlag månedlige standard hydrografiske og hydrokjemiske målinger ved 5 stasjoner i Ytre Oslofjord (Fig 1a). Fra sommeren 1995 til 1998 var prosjektet stort sett finansiert av Klima og Forurensningsdirektoratet (KLIF), mens det fra 1999 til 2006 var finansiert av Havforskningsinstituttet (HI). I tillegg er det benyttet

observasjoner av næringssalter og saltholdighet fra stasjon Anholt E i Kattegat (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI), Danske Miljøundersøkelser (DMU), ved Hirtshals, (stasjon 252 Torungen – Hirtshalssnittet) (HI) og stasjon Helgoland i Tyskebukta (Alfred Wegner Institut).

Ytre Oslofjords terskel mot Skagerrak ligger like nord for stasjon OF1 og er ca. 120 m dyp (Figur 1). Største dyp i fjordbassengene innenfor terskelen er 200 - 350 m. Ytre Oslofjords smaleste utløp og topografiske grense mot Indre Skagerrak er ved Fulehuk - Missingen. Avstanden fra Missingen til Drøbak mot grensen til indre Oslofjord er ca. 60 km. Overflatearealet mellom Missingen og Drøbak er ca. 600 km² og volumet i de øverste 5 m og 30 meter er henholdsvis 3000 mill. m³ og 14 700 mill. m³.

Havforskningsinstituttets målestasjoner i Ytre Oslofjord mellom 1996 og 2006: OF1 (N 59°2,5', 10°45,2'Ø), OF 2 (N 59°11,2', 10°41,5'Ø), OF4 (N 59°22,0', 10°35,5'Ø), OF5 (N 59°29,2', 10°27,5'Ø), OF7 (N 59°35,4', 10°38,4'Ø).

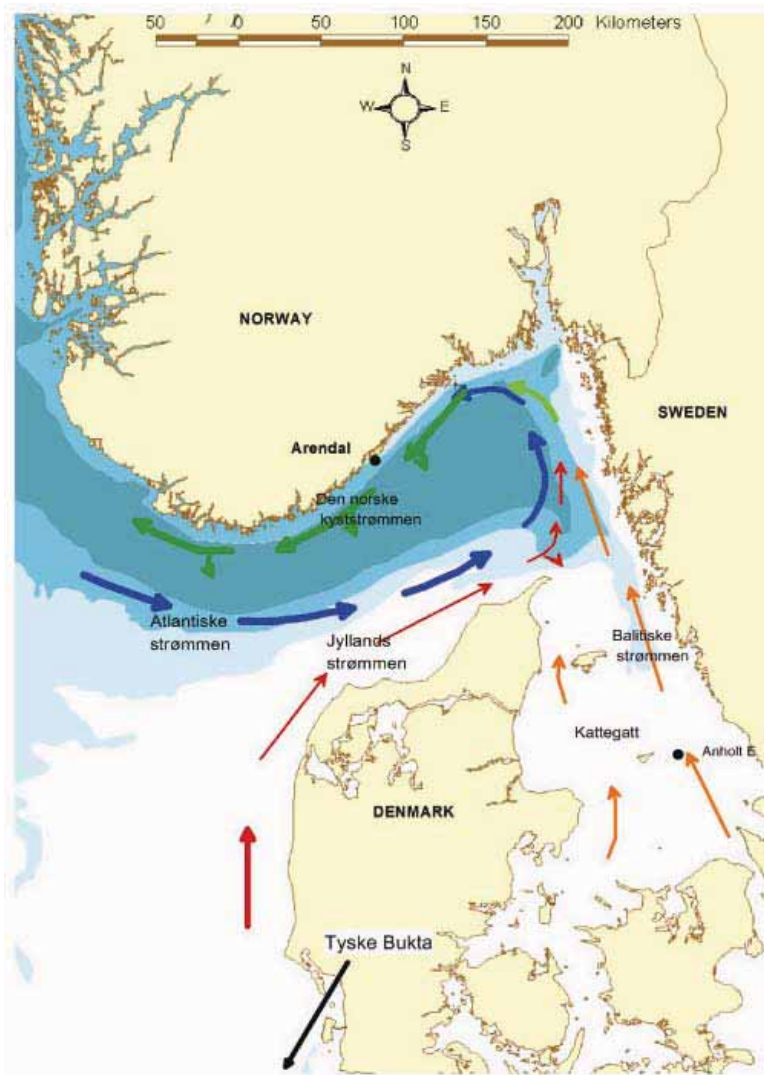


Figur 1. HI's hydrografiske og hydrokjemiske stasjoner i ytre Oslofjord 1995 - 2006.

4 Indre Skagerrak (5-30 m)

4.1 Desember - april

Den norske kyststrømmen langs Skagerrakkysten og utenfor Oslofjorden tilføres vann fra Kattegat og Nordsjøen (Figur 2). Jyllandstrømmen med opprinnelse i Tyskebukta strømmer opp langs vestkysten av Danmark. Underveis blandes den med vann fra sørlige og sentrale deler av Nordsjøen før den strømmer inn i Skagerrak. Fra Nordsjøen strømmer atlantisk vann inn i Skagerrak langs sørsiden av norskerenna, og finnes vanligvis på dyp større enn 70 m langs Skagerrakkysten. Transporten av vann fra Tyskebukta og vestkysten av Jylland til Skagerrak er imidlertid vindavhengig, og er størst i perioder med sørlige vinder (høst - vinter).

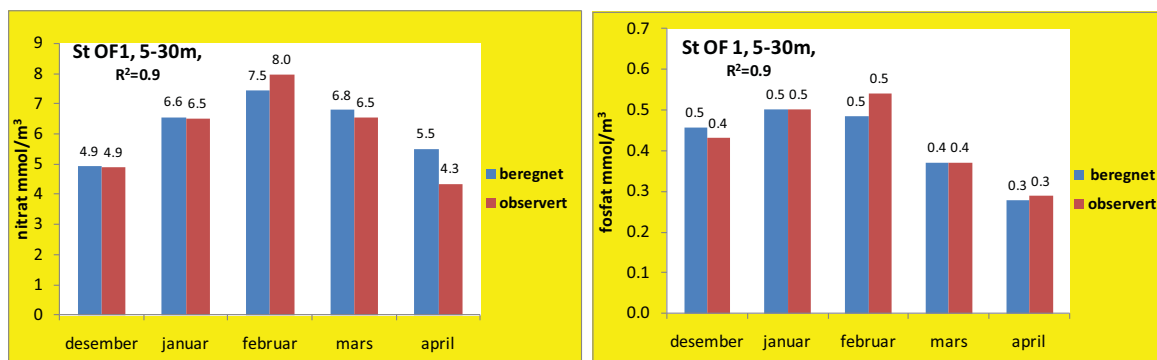


Figur 2. Midlere strømbilde i Skagerrak.

Ved dominerende vinder fra vest mot nord i ytre Skagerrak (vår - sommer) vil ferskere vann fra øvre lag av Skagerrak resirkuleres inn mot nordkysten av Jylland og kan i perioder blokkere for innstrømming av vann fra vestkysten av Jylland og Tyskebukta.

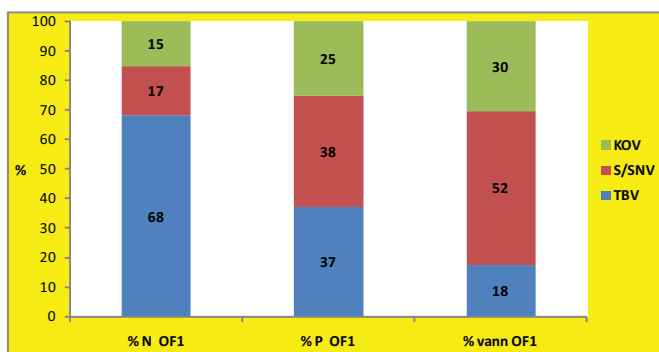
Kystvannet utenfor Oslofjorden er, som resten av den norske Skagerrakkysten, påvirket av langtransporterte tilførsler av næringssalter og organisk materiale fra Nordsjøen og Kattegat. Ved å benytte samme metoden som beskrevet for kystvannet ved Arendal (Aure og

Johannessen 1997, Aure, Danielssen and Svendsen 1998, , Magnusson og Aure 2007 og Aure og Magnusson, 2008), er midlere nitrat, fosfat og % bidrag av vann, nitrat og fosfat til kystvannet ved stasjon OF1 (5-30 m) beregnet for perioden desember-april, 1996-2006. Beregningene er basert på observasjoner av saltholdighet og næringssalter fra stasjon OF1 i indre Skagerrak (Figur 1), Kattegat (KOV, Anholt 0-10m), Nord-Jylland (JKV, Hirtshals stasjon. 52), sørlige/sentrale Nordsjøen (S/SNV) og Tyskebukta (TBV). Figur 3 viser en god sammenheng mellom observerte og beregnede nitrat og fosfatverdier ved stasjon OF1 ($R^2 = 0.9$).



Figur 3. Observerte og beregnede midlere nitrat og fosfat verdier (5-30 m) for perioden 1996 - 2006 i indre Skagerrak (stasjon OF1) fra desember til april.

Figur 4 viser at kystvannet ved stasjon OF1 i samme periode var en blanding av vann fra sørlige /sentrale Nordsjøen (S/SNV) (ca. 52 %), overflatevann fra Kattegat (KOV) (ca. 30 %) og vann fra Tyskebukta (TBV) (ca. 18 %). De relativt høye næringssaltverdiene i Tyskebukta, forårsaket av menneskeskapte utslipp, førte imidlertid til at nærmere 70 % av nitrattet i kystvannet ved Oslofjorden i middel fra desember til april hadde sin opprinnelse fra Tyskebukta. Det resterende bidraget på ca. 30 % er omtrent likt fordelt mellom tilførselene fra sørlige/ sentrale Nordsjøen og overflatevann fra Kattegat. Tilførselene av fosfat er jevnere fordelt, med bidrag på 25 - 38 % fra hver av de tre hovedkildene.

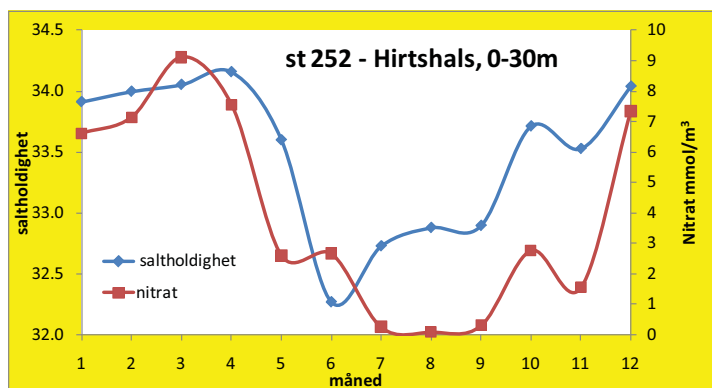


Figur 4. Midlere prosent bidrag av vann og næringssalter fra Kattegat overflatevann (KOV), sørlige/sentrale Nordsjøen (S/SNV) og Tyskebukt vann (TBV) i indre Skagerrak (stasjon OF1) i 5-30 m fra desember til april (1996 - 2006).

4.2 Mai - november

Fra mai til november var nitrat (og fosfatverdiene) i Jyllandstrømmen ved Hirtshals (stasjon 252) betydelig redusert som følge av økt produksjon av planteplankton (Figur 5). Det var også markert lavere saltholdigheter i denne perioden, som viser at Jyllandstrømmen utenfor

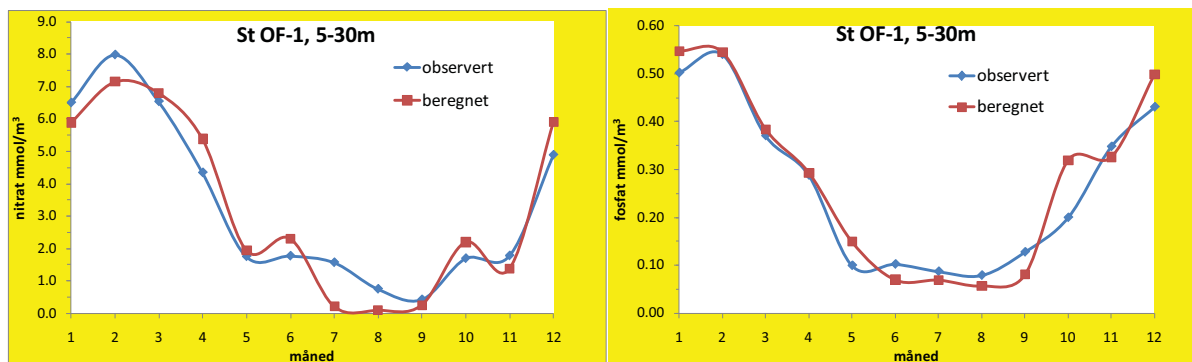
Hirtshals i betydelig grad var påvirket av resirkulert ferskere overflatevann fra ytre del av Skagerrak. Som nevnt foran vil denne sirkulasjonen periodevis kunne blokkere for innstrømning av vann til Skagerrak fra Vestkysten av Jylland og Tyskebukta.



Figur 5. Midlere observert saltholdighet og nitrat 0-30 m ved stasjon 252 (Hirtshals) i middelåret for perioden 1996-2006.

Ved å benytte samme metode som foran har vi beregnet midlere bidrag av vann, nitrat og fosfat gjennom middelåret 1996-2006 til kystvannet ved stasjon OF1 i indre Skagerrak fra Jyllandstrømmen ved Hirtshals (JKV) og fra øvre lag (0-10 m) av Kattegat (KOV).

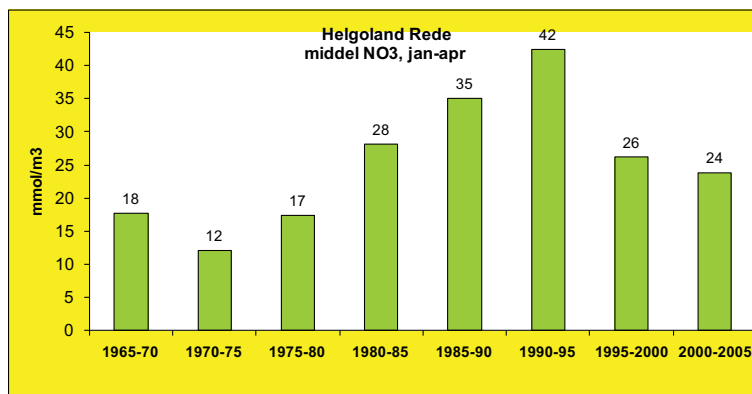
Figur 6 viser at det var god sammenheng mellom observerte og beregnede næringssaltverdier ($R^2 = 0.9$). Beregningene viser også at kystvannet ved stasjon OF1 i et middelår var en blanding av innstrømmende Jylland kystvann ved Hirtshals (JKV) (ca. 80 %) og overflatevann (0-10m) fra Kattegat (KOV) (ca. 20 %).



Figur 6. Midlere observert og beregnet nitrat og fosfat (5-30 m) i middelåret for perioden 1996-2006 i kystvannet utenfor ytre Oslofjord (stasjon OF - 1).

I perioden fra mai til november var midlere bidrag av nitrat og fosfat til kystvannet i indre Skagerrak fra JKV 85 - 90 % og fra KOV 10 - 15 %. I denne perioden var tilførslene av nitrat og fosfat fra for eksempel Tyskebukta (TBV) til Skagerrak betydelig redusert både på grunn av periodevis blokkering av innstrømmende vann fra Vestkysten av Jylland og sesongmessig lave næringssaltverdier.

4.2.1. Reduserte langtransporterte nitrattilførsel etter 1995



Figur 7. Midlere nitratkonsentrasjoner i januar-april i Tyskebukta (Helgoland) i 5-årsperioder fra 1965 til 2005 (Aure og Magnusson, 2008).

Figur 7 viser at etter 1995 har nitratverdiene (NO_3) i Tyskebukta i vinter-vår perioden blitt redusert med ca. 40 %, fra 42 til 24 mmol/m^3 . Dette førte til at midlere nitratverdi i kystvannet i indre Skagerrak (stasjon OF1) i samme periode ble redusert fra ca. 9,3 til ca. 6,7 mmol/m^3 , dvs. med ca. 30 %. Reduksjonen i nitrat etter 1995 førte også til at forholdet mellom nitrogen og fosfor (N/P) avtok fra ca. 60,0 til 35,0 i Tyskebukta og fra ca. 23,0 til ca. 15,0 i kystvannet ved stasjon OF1. Trenden med nedadgående nitratkonsentrasjoner i Tyskebukta og i Skagerrak etter 1995 er nært knyttet til reduserte konsentrasjoner av nitrat i Elben, som er den største elven som renner ut i Tyskebukta. De reduserte nitratkonsentrasjonene i Elben og Tyskebukta etter 1995 kan ha sammenheng med redusert hyppighet av ”ekstremnedbør” i vinter- og vårmånedene, reduserte konsentrasjoner av nitrogen i jordsmonnet og diverse miljøtiltak i nedslagsfeltet til Elben og andre elver. Nitratkonsentrasjonene i Tyskebukta og langs Skagerrakkysten vil som før være størst i nedbørsrike, varme vintre med dominerende sørlige vinder, som trolig kan bli mer vanlige som følge av klimaendringer. De lavere N/P-forholdene etter 1995 har også redusert risikoen for oppblomstring av skadelige alger i Skagerrak.

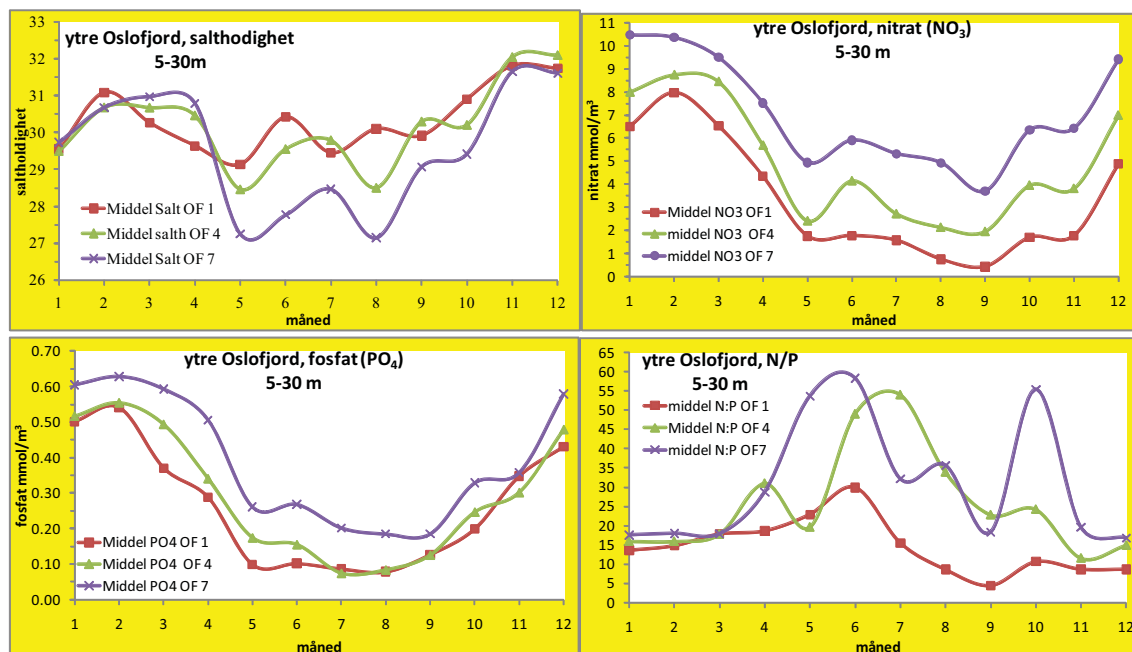
5 Ytre Oslofjord (5 - 30 m)

Lokale næringssalttilførsler fra land (inkludert fra Indre Oslofjord og Drammensfjorden) og tilførsler av næringsrikt vann fra dypere vannlag førte til en gradvis økning i midlere nitrat og fosfat innover i Ytre Oslofjorden gjennom hele året (Figur 8). Det var også et overskudd av næringsalter gjennom hele produksjonssesongen og da særlig av nitrat som førte til et betydelig høyere N/P - forhold i ytre Oslofjord enn i kystvannet ved stasjon OF1. De relativt høye næringssaltverdiene innerst i fjorden var trolig også knyttet til redusert primærproduksjon pga lysbegrensning i nedre del av produksjonslaget.

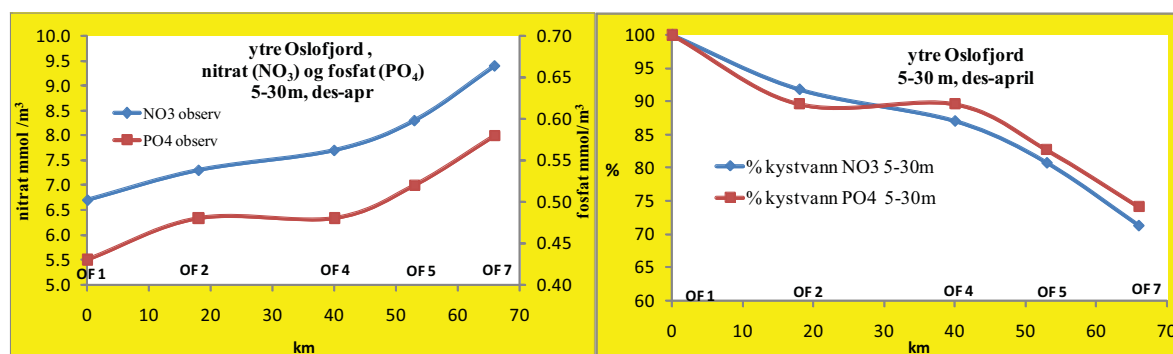
5.1 Desember - april

I middel for perioden desember - april økte nitrat fra 6,7 mmol/m^3 ved kysten (stasjon OF1) til 9,4 mmol/m^3 i Drøbaksundet (OF7), mens fosfat økte fra 0,43 til 0,58 mmol/m^3 (Fig.9). Fra stasjon OF2 nærmere kysten og ca. 40 km innover i fjorden til Bastøy (stasjon OF4), var midlere %-bidrag av nitrat og fosfat fra kystvannet 85-90 %. Det prosentvise bidraget fra

kystvannet i indre del av fjorden ved Breidangen (stasjon OF5) og i Drøbaksundet (stasjon OF7) var redusert til 70-80 % (Figur 9).

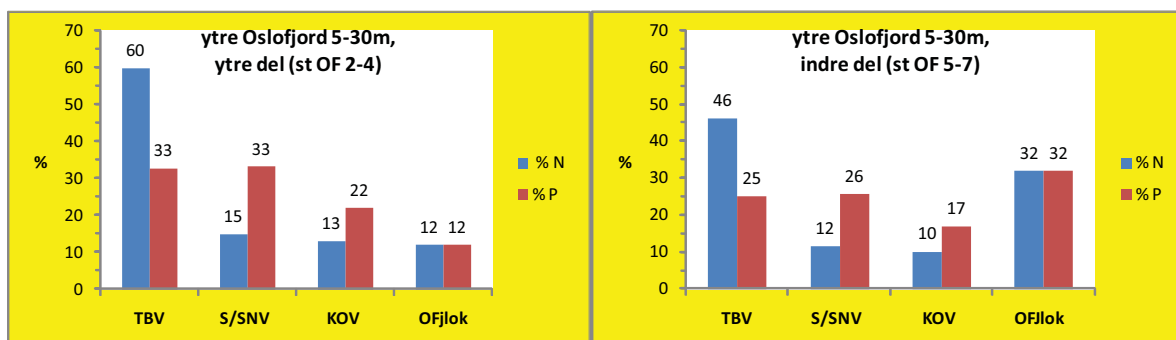


Figur 8. Midlere observerte saltholdighet, nitrat, fosfat og forholdet mellom nitrat og fosfat (N/P) i 5-30 m i et middelår for perioden 1996 – 2006 ved stasjonene OF1, OF4 og OF7 i ytre Oslofjord.



Figur 9. Midlere observerte verdier av nitrat og fosfat i 5-30 m i desember - april for perioden 1996 - 2006 ved stasjonene OF1 (kyst), OF2, OF4, OF 5 og OF7 i Ytre Oslofjord (venstre). Midlere observert prosent bidrag av nitrat og fosfat fra kystvannet (stasjon OF1) ved stasjonene OF2, OF4, OF5 og OF7 i Ytre Oslofjord i samme periode (høyre).

Ved å kombinere midlere %-bidrag til nitrat og fosfat ved stasjonene OF 2 - 4 og OF 5 - 7 fra kystvannet (stasjon OF1) (Figur 9) med % bidrag av nitrat og fosfat til kystvannet ved stasjon OF1 (Figur 4) fra TBV, S/SNV og KOV ser vi av Fig.10 at for den ytre delen av ytre Oslofjord (stasjon OF 2 - 4) bidrog Tyskebukt vann (TBV) med ca. 60 % og lokale kilder (OFjlok) ca. 12 % mht. nitrat, mens i indre del av fjorden (OF 5-7) var bidraget fra TBV redusert til ca. 46 % og lokale kilder økte til ca. 32 %. Tyskebukt vann (TBV) bidrog med 25-30 % av fosfat mens lokale kilder (OFjlok) bidro med ca. 12 % i ytre del av fjorden og ca. 30 % i indre del av ytre Oslofjord. Lokale kilder (OFjlok) har bla bidrag både fra lokale ferskvannkilder og tilførsler av næringsrikt dypere liggende vann fra indre Oslofjord.

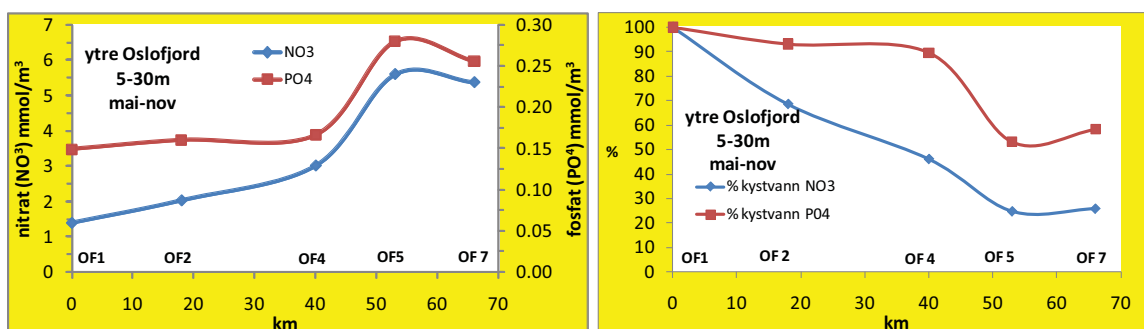


Figur 10. Midlere prosent bidrag av nitrat (N) og fosfat (P) i 5 - 30 m fra Kattegat overflatevann (KOV), sørlige/sentrale Nordsjøen (S/CNV), Tyskebukt vann (TBV) og lokale kilder (OFJlok) i perioden desember - april (1996-2006) for ytre del (stasjonene OF2 - 4) og indre del (stasjonene OF5-7) av Ytre Oslofjord.

Som følge av de reduserte tilførselene av nitrat fra Tyskebukta til kystvannet i indre Skagerrak etter 1995 er midlere nitratverdier i Ytre Oslofjord fra desember til april mellom 5 og 30 m dyp beregnet redusert med ca. 2.5 mmol/m^3 . I f.eks. Breidangen (stasjon OF5) har dette ført til en midlere reduksjon i nitrat fra ca. 10.8 til 8.3 mmol/m^3 , dvs. med ca. 25 %.

5.2 Mai - november

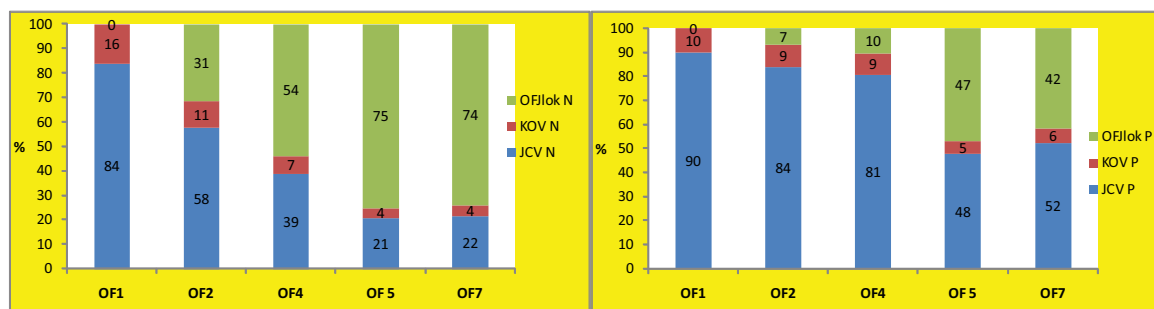
Figur 11 viser, som beskrevet foran, at det i produksjonsperioden fra mai til november var en betydelig restkonsentrasjon av nitrat og fosfat mellom 5 og 30 m dyp i Ytre Oslofjord og da særlig i den indre del av fjorden (stasjon OF 5-7). De høyere næringssaltverdiene i indre del av fjorden var knyttet til lavere saltholdigheter (Figur 8) og dermed økt påvirkning fra lokale ferskvannstilførsler.



Figur 11. Midlere observerte verdier av nitrat og fosfat i 5-30 m i perioden fra mai til november for perioden 1996 - 2006 ved stasjonene OF 1 (kyst), OF 2, OF 4, OF 5 og OF 7 i ytre Oslofjord (venstre side). Midlere observert % bidrag (1996-2006) av nitrat og fosfat fra kystvannet (stasjon OF 1) i perioden fra mai til november ved stasjonene OF2, OF4, OF5 og OF7 i ytre Oslofjord (høyre side).

Økningene i nitrat og fosfat var størst i indre del av fjorden (Breidangen stasjon OF5 og Drøbaksundet stasjon OF7), hvor f.eks. middelverdiene av nitrat økte fra ca. 1.4 mmol/m^3 i kystvannet (stasjon OF1) til 5.5 mmol/m^3 i Breidangen (stasjon OF5) og Drøbaksundet (stasjon OF7) og hvor bidraget av kystvann ble redusert fra 100 til 25 % (Figur 10).

Ved å benytte samme beregningsmetode som foran ser vi av Figur 12 at %-bidraget fra lokale næringssalttilførsler til ytre Oslofjord er størst innerst i fjorden. For nitrat økte feks. det lokale bidraget fra ca. 31 % ved stasjon OF2 ytterst i fjorden til ca. 74 % ved stasjon OF7 i Drøbaksundet. For fosfat er det bidraget fra Jylland kystvann (JKV) som bidrar mest til fosfat i den ytre delen av fjorden (ca. 80 %, stasjonene OF 2-4), mens det i indre del av fjorden (stasjonene OF 5-7) er om lag samme bidrag fra JKV og lokale kilder (40 - 50 %).



Figur 12. Midlere prosent bidrag av nitrat (N) og fosfat (P) fra Kattegat overflatevann (KOV), Jylland kystvann (JKV) og lokale kilder (OFJlok) i 5-30 m for perioden fra mai til november (1996-2006) for stasjonene OF1, OF2, OF4, OF5 og OF7 i ytre Oslofjord.

6 Ytre Oslofjord (0 - 5 m)

6.1 Midlere transporter av vann og næringssalter

For å kunne beregne transporter av vann og næringssalter i og til 0 – 5 m laget (brakkvannet) i Ytre Oslofjord i en vinter- (desember-februar) og sommersituasjon (juni-august), har vi benyttet observerte midlere saltholdigheter og næringssalter i perioden 1996-2006 (Figur 13), midlere ferskvannstilførsel fra Drammenselva/Glomma og beregnede næringssalttilførsler fra land (Aure og Danielssen 1999, ANON 1996).

Midlere brakkvannstransport i Ytre Oslofjord $Q_b = Q_f + Q_s$, hvor Q_f er ferskvannstilførselen og Q_s er tilførsel av underliggende sjøvann til brakkvannet ved vindblanding. Det kan vises at $Q_s = Q_f \cdot S_b / (S_s - S_b)$, hvor S_b er midlere saltholdighet i brakkvannet og S_s er midlere saltholdighet i sjøvannet under brakkvannet (her representert med midlere forhold i 10 m dyp). Midlere observerte S_b , S_s , Q_f og beregnet Q_b og Q_s i perioden desember-februar (vinter) og juni - august (sommer) er gitt i Tabell 1. Midlere tilførsel av ferskvann (Q_f) vinter og sommer er henholdsvis ca. 350 m³/s og 700 m³/s.

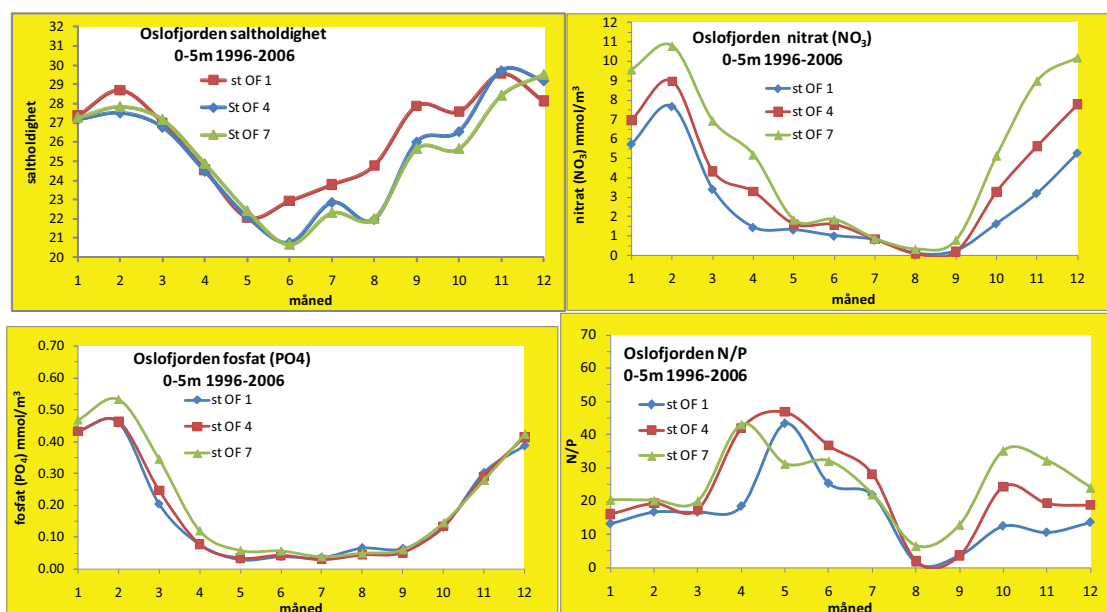
Strøm og vanntransport i overflatelaget i fjorden påvirkes også av vindforholdene i Skagerrak som forårsaket trykkforskjeller mellom kystvannet og ytre Oslofjord (opp- og nedstrømninger). Disse såkalte intermediære transportene (Q_{i0-5m}) kan beregnes som følger: $Q_{i0-5m} = V_5 / V_{tot} \cdot \beta \cdot (B_m \cdot H_t \cdot A_f \cdot \delta M / \rho)$ (Aure, Molvær og Stigebrandt, 1996), hvor B_m er bredden av utløpet på fjorden (Missingen), H_t er midlere terskeldyp, A_f er overflateareal av fjorden innenfor Missingen, V_5 er volum 0-5 m, V_{tot} er totalvolum over terskeldypet og δM er

standardavviket for vekten (trykket) av vannsøylen fra overflatelaget til terskeldypet mot kystvannet.

Tabell 1. Observert midlere saltholdigheter i 0-5 m (S_{b0-5m}) og 10 m dyp (S_{s10m}) i Ytre Oslofjord (OF 2-7) i en vinter og sommer situasjon for perioden 1996 - 2006. Q_f er midlere ferskvannstilførsel, Q_s er midlere beregnet tilførsel av sjøvann fra underliggende vannlag, Q_b er brakkvannstransport, Q_i er intermediaær transport og Q_{0-5m} er midlere total vanntransport i 0-5m.

Sesong	S_{b0-5m}	S_{s10m}	$Q_f \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_s \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_b \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_i \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{0-5m} \text{ m}^3/\text{s}$
Vinter (des - febr)	27	30.2	350	2950	3300	2100	5050
Sommer (juni - aug)	22	27.2	700	2960	3600	2100	5060

Basert på topografiske data fra Oslofjorden og $\delta M = 60 \text{ kg/m}^2$ er Q_i beregnet til ca. 2100 m^3/sek . Den totale midlere vanntransport i øvre lag vinter og sommer (Q_{0-5m}) blir da ca. 5000 m^3/s (Tabell 1), hvor tilførslene av sjøvann til brakkvannet (Q_s) er om lag 3000 m^3/s .



Figur 13. Midlere observerte saltholdigheter, nitrat, fosfat og forholdet mellom nitrat og fosfat (N/P) i 0-5m i et middelår for perioden 1996 -2006 ved stasjonene OF 1, OF4 og OF 7 i ytre Oslofjord.

Midlere tilførsler av nitrat fra land (QN_f) tilgjengelig for produksjon er beregnet til 700-800 tonn/måned, mens tilførslene av nitrat fra sjøvannet under brakkvannslaget (QNs), basert på midlere nitratverdier i 10 m dyp, er beregnet til ca. 930 tonn/måned om vinteren og 215 tonn/måned om sommeren (Tabell 2). De totale midlere tilførslene av nitrat vinter og sommer (QN_{0-5m}) er da henholdsvis ca. 1630 og 1015 tonn/måned. For fosfat er midlere tilførselen fra land (QP_f) ca. 30 tonn/måned og tilførslene av fosfat fra sjøvannet under brakkvannslaget (QPs), basert på midler fosfatverdier i 10m dyp, er ca. 133 tonn/måned om vinteren og ca. 17 tonn/måned om sommeren. De totale midlere tilførslene av fosfat vinter og sommer (QP_{0-5m}) er da henholdsvis ca. 163 og 47 tonn/måned (Tabell 2).

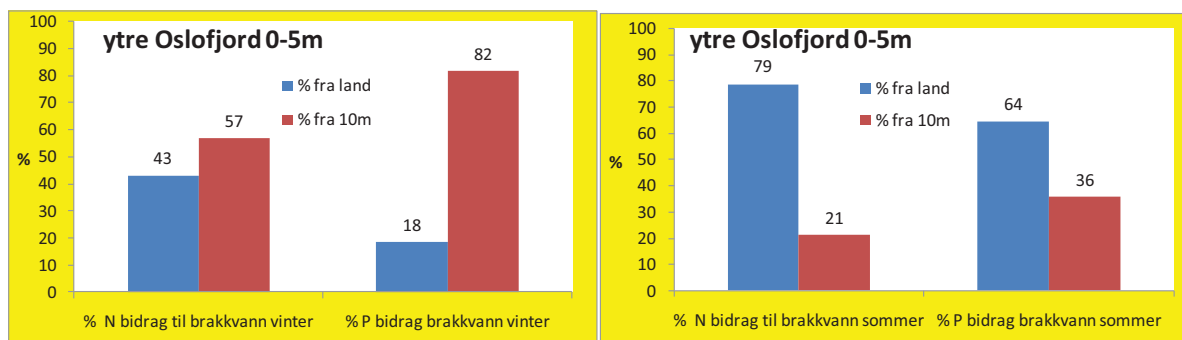
Tabell 2. Beregnet midlere tilførsler av nitrat (N) og fosfat (P) fra land (QN_f , QP_f), fra underliggende vannlag (QN_s , QP_s) og total tilførsel av nitrat og fosfat til 0-5m laget i Ytre Oslofjord i en vinter og sommersituasjon for perioden 1996 - 2006 (QN_{0-5m} , QP_{0-5m}).

Tonn/måned	QN_f	QN_s	QN_{0-5m}	QP_f	QP_s	QP_{0-5m}
Vinter (desember-februar)	700	930	1630	30	133	163
Sommer (juni-aug)	800	215	1015	30	17	47

6.2 Midlere % bidrag næringssalter

Basert på Tabell 2 var midlere bidrag fra land om vinteren av nitrat og fosfat til de øverste 0-5 m i ytre Oslofjord beregnet til henholdsvis 43 % og 18 %, mens bidraget fra dypereliggende sjøvann var henholdsvis 57 og 82 % (Figur 14).

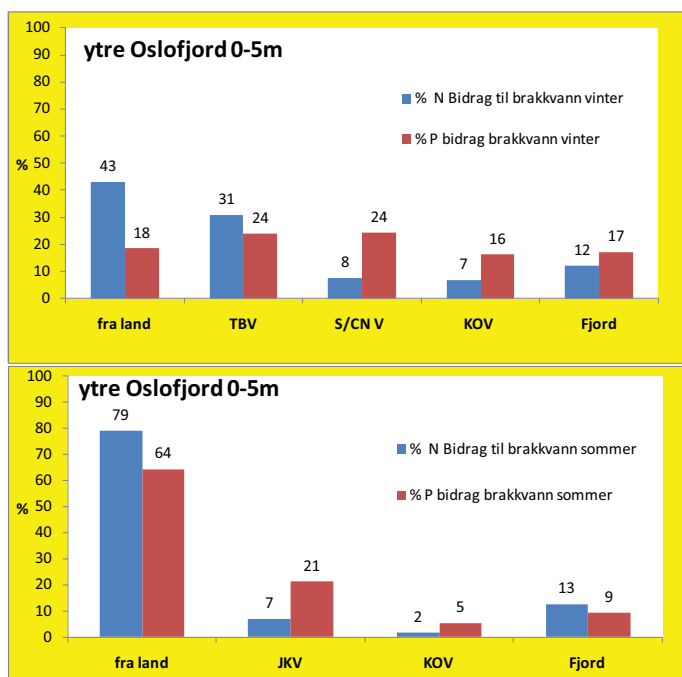
For sommerperioden var midlere bidrag betydelig større fra land, med ca. 80 % for nitrat og 64 % for fosfat (Figur 14). Da midlere bidrag av kystvann er omlag det samme i 10 m dyp som for middelet 5-30 m, kan vi beregne bidraget av Tyskebukt vann (TBV), Kattegat overflatevann (KOV) og sørlig/sentralt Nordsjøvann (S/SNV) i brakkvannet for en vintersituasjon og bidraget fra Jylland kystvann (JKV) og KOV i en sommersituasjon (Figur 15). JKV er en blanding av TBV, S/SNV og resirkulert overflatevann i ytre Skagerak. Om vinteren er bidraget til nitrat fra TBV i 0-5 m ca. 30 % mens bidraget fra S/SNV og KOV er 7- 8 %. Om sommeren er, som vist foran, tilførslene dominert av næringssalter fra land, mens de lave næringssaltvediene på denne årstiden fører til at bidraget fra KOV og JKV er bare 2 - 7 %, med unntak av fosfat hvor bidraget fra JKV er noe større (ca. 20 %).



Figur 14. Midlere prosent bidrag av nitrat (N) og fosfat (P) til 0-5 m laget fra land og 10 meter dyp for ytre Oslofjord (OF2-7) om vinteren (desember - februar) og sommeren (juni-august) for perioden 1996 – 2006.

6.3 Effekt av redusert langtransportert tilførsel etter 1995

Som følge av de lavere nitratverdiene i kystvannet (og Tyskebukta) etter 1995 er midlere nitratverdier i 0-5m i ytre Oslofjord i vinterperioden fra desember til februar beregnet redusert fra ca. 10.4 til ca. 8.8 mmol/m³, dvs. med ca. 15 %.



Figur 15. Midlere prosent bidrag av nitrat (N) og fosfat (P) til 0-5 m fra Kattegat overflatevann (KOV), Jylland kystvann (JKV), sørlige/sentrale Nordsjøen (S/SNV), Tyskebukt vann (TBV), fjorden (Fjord) og fra land om vinteren (desember - februar) og sommeren (juni - august) i Ytre Oslofjord for perioden 1996 - 2006.

6.4 Midlere næringssaltverdier og primærproduksjon.

Basert på midlere vanntransport og tilførslene av næringssalter til 0-5 m-laget (Tabell 1 og 2) kan vi også beregne midlere konsentrasjoner av nitrat og fosfat (N, P):

$$N, P = Q_{N, P} / Q_{0-5m}$$

Tabell 3 viser at beregnede nitrat og fosfatverdier om vinteren stemmer bra overens med observerte middelverdier. Dette tilsier at de beregnede vann - og næringssalttransporter er rimelig realistiske. For en sommersituasjon blir næringssaltverdiene selvsagt for høye når vi ikke tar hensyn til primærproduksjonen. Ved å benytte det relative forholdet mellom beregnet ($5,5 \text{ mmol/m}^3$) og observert nitratverdier (1 mmol/m^3) får vi at ca. 80 % av tilførte næringssalter til 0-5 m-laget i sommersituasjonen benyttes til primærproduksjon (PROD).

Tabell 3. Beregnet (ber) og observerte (obs) midlere verdier av nitrat (N) og fosfat (P) i 0-5m laget for ytre Oslofjord i en vinter- og sommersituasjon (1996-2006), med og uten forbruk av næringssalter om sommeren (Sommer - PROD).

mmol/m ³	N 0-5m obs	N 0-5m ber	P 0-5m obs	P 0-5m ber
Vinter (des-febr)	8.6	8.8	0.44	0.40
Sommer(juni-aug)	1	5.5	0.05	0.11
Sommer - PROD	1	0.9	0.05	0.05

Basert på at ca. 80 % av nitrattilførslene til 0-5m om sommeren (Q_{N0-5m}) blir benyttet til produksjon, kan produksjonen i 0-5m beregnes som følger:

$$PROD = Q_{N0-5m} * (C/N) / Af \quad \text{gC/m}^2/\text{måned}$$

hvor C/N er forholdet mellom carbon (C) og nitrogen (N) og Af er fjordarealet.

Den såkalte nye produksjonen er beregnet til ca. 8 gC/m²/måned, mens den totale planktonproduksjonen i 0 – 5 m innbefatter også produksjon basert på remineralisering av organisk planktonmateriale (såkalt resirkulert produksjon). Den totale planktonproduksjonen i våre farvann er vanligvis omlag 2,5 ganger større enn ny produksjon (Wassmann, 1990). Totalproduksjonen i 0 – 5 m om sommeren blir da ca. 20 gC/m²/måned (Tabell 4).

Tabell 4. Beregnet midlere totalproduksjon (ny produksjon) (PROD_{0-5m} gC/m²/måned (ber)), karbon (C_{0-5m} mg/m³ (ber)), klorofyll *a* (chl-*a*_{0-5m} mg/m³ (ber)) og observert klorofyll *a* (chl-*a*_{0-5m} mg/m³ (obs)) om sommeren (juni - august) i 0 - 5m i ytre Oslofjord for perioden 1996-2006.

PROD _{0-5m} gC/m ² /måned (ber)	C _{0-5m} mg/m ³ (ber)	C _{0-5m} mg/m ³ (obsv)	chl- <i>a</i> _{0-5m} mg/m ³ (ber)	chl- <i>a</i> _{0-5m} mg/m ³ (obsv)
20	352	311 (få observ.)	3.5	3.4

Midlere karbonverdi i 0 – 5 m om sommeren er beregnet til ca. 350 mg/m³, mens observert verdi er ca. 311 mg/m³ (få observasjoner). Midlere forhold mellom karbon og chl-*a* om sommeren er vanligvis ca. 100 og midlere beregnet chl-*a* blir da ca. 3,5 mg/m³. Dette er tilnærmet likt midlere observert chl-*a* i 0-5 m om sommeren i Ytre Oslofjord (3,4 mg/m³) (Tabell 4).

De relativt store lokale tilførslene av næringssalter fra land fører dermed til at midlere primærproduksjon og chl - *a* i 0-5 m i Ytre Oslofjord om sommeren er omlag dobbel så stor som i upåvirkete norske fjorder på Vestlandet (9 g C/m²/måned og 1,65 mg m⁻³) (Erga 1998b , Erga et. al. 2005, Aure et. al. 2007).

7 Referanser

- Anon, 1996. Ytre Oslofjord: Eutrofitilstand, utvikling og forventete effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra Ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystvann. Pp 147 (trykket på NIVA).
- Aure, J., Molvær, J. and Stigebrandt, A. 1996: Observations of inshore water exchange forced by fluctuating offshore density field. Marine Pollution Bulletin. Vol 333, Nos 1-6. Pp 112-119. 1996.
- Aure, J. og Johannessen, T. 1997. Næringssalter og klorofyll-*a* fra Skagerrak til vestlandet. Fisken og Havet nr 2 - 1997. Havforskningsinstituttet 1997. Pp 45.
- 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. og Danielssen, D. 1999. Ytre Oslofjord - Hydrografi og næringssalter over terskeldyp 1995-1998. Rapport 785/99. Statlig program for forurensingsovervåking.TA 1696/1999.
- Aure, J., Strand, Ø., Erga, S.R., and Strohmeier, T. 2007. Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord. Mar Ecol Prog Ser Vol.352:39-52, 2007.
- Aure, J. og Magnusson, J. 2008. Mindre tilførsel av næringssalter til Skagerrak. Kyst og Havbruk 2008. I Fisken og Havet, særnummer 2 -2008. Pp 28-30.
- Erga S.R. (1989b). Ecological studies on the phytoplankton of Boknafjorden, Western Norway. II. Environmental control of photosynthesis. J. Plankton Res. 6:67-90.
- Erga, S.R., Aursland, K., Frette, Ø., Hamre, B., Lotsberg, J.K., Stamnes, J.J., Aure, J., Rey, F. 2005. UV transmission in Norwegian waters: Controlling factors, and possible effects on primary production and vertical distribution of phytoplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser. 305:79-100. 2005.

- Magnusson, J. og Aure, J. 2007. Endringer i langtransporterte tilførsler til vår kyststrøm. I årsrapport for 2006: Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Statlig program for forurensingsovervåkning, rapport 991/2007. Pp 72-78.
- Wassmann, P. 1990. Relationship between primary and export production in boreal coastal zone of the North Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 35: 464-471.

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



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

