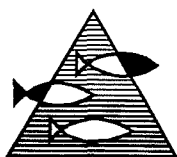


PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesparken 2 Postboks 1870 5024 Bergen

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

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 05 90 00

Faks: 37 05 90 01

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Faks: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5198 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Faks: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

92.04.7

Oppdragsgiver(e):

Statens

Forurensningstilsyn

Oppdragsgivers referanse:

SFT nr. 96/92

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 2 - 1997

Tittel:

NÆRINGSSALTER OG KLOOROFYLL -a FRA SKAGERRAK TIL
VESTLANDET*Nutrients and Chlorophyll-a from Skagerrak to the Norwegian west coast..*

Senter:

Marint miljø

Seksjon: Fysisk oseanografi
og akustikk

Forfatter(e):

Jan Aure og Tore Johannesen

Antall sider, vedlegg inkl.:

45

Dato:

17.01. 1997

Sammendrag:

En sammenligning mellom observasjoner av næringsalter ved Arendal i perioden 1975-80 og 1990-95 viser at konsentrasjonene av uorganisk nitrogen og N:P forholdet i middel for vinter /vårperioden i 0-30 m har økt med 80-100 % og økningen må betegnes som "markert" i henhold til SFTs kriterier for avvik fra "naturlig tilstand". Mars og april hadde størst avvik med henholdsvis ca 160 og 140 % økning for uorganisk nitrogen mens økningen i N:P lå mellom 100 og 140 %. For fosfat var midlere økning for vinter - vår perioden betydelig mindre (ca 10 %), mens årsmiddel i Tot P og Tot N økte med henholdsvis 20 og 35 %. Økningene i fosfat og Tot P ved Skagerrakkysten inntraff trolig i stor grad før målingene startet i 1975 pga den ulike utvikling i fosfor og nitrogen i bla Tyskebukta fra 1960-årene og utover. Den regionale påvirkning i form av forhøyete konsentrasjoner av uorganisk nitrogen og unormalt høye N:P forhold (økning >25 %) strakk seg i middel for vinter/vår perioden opp til kysten utenfor Jæren, men er beregnet å kunne rekke opp til Karmøy i månedene med største avvik (mars og april). I perioder med innstrømming av Jylland kystvann til Skagerrak var midlere bidrag av "Tyskebukt vann" i en vinter/vår situasjon ca 77 % for uorganisk nitrogen, ca 42 % for fosfat og mellom 57 og 33 % for silikat, mens Kattegat overflatevann bidro med mellom 6 og 15 % til nitrogenkonsentrasjonene mens bidraget til fosfat og silikat var større og lå mellom 20 og 27 %.

Emneord - norsk:

1. Næringsalter
2. Hydrografi
3. Eutrofiering

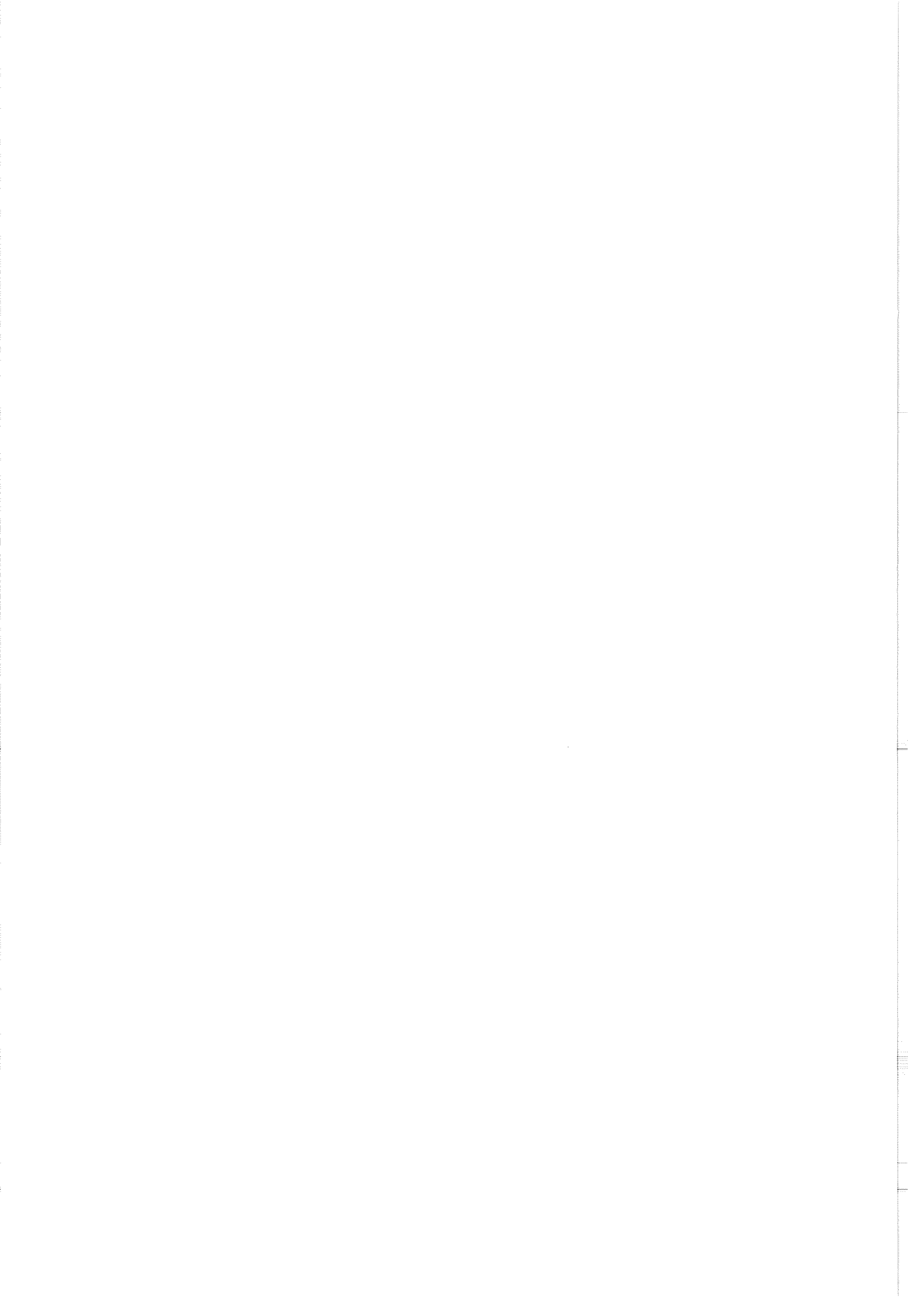
Emneord - engelsk:

1. Nutrients
2. Hydrography
3. Eutrophication

Prosjektleder

Seksjonsleder

K 5006



NÆRINGSSALTER OG KLOROFYLL -*a* FRA SKAGERRAK TIL VESTLANDET

*NUTRIENTS AND CHLOROPHYLL- a FROM SKAGERRAK
TO THE NORWEGIAN WEST COAST*

Av

Jan Aure og Tore Johannesen

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	3
SUMMARY	4
1. INNLEDNING	5
2. OBSERVASJONER	7
3. RESULTATER	9
3.1 Torungen - Hirtshals og Kattegat (1980-95)	9
3.2 Kysten Skagerrak/Vestlandet (1988-95)	16
3.3 Tidsvariasjoner og langtidsutvikling	25
4. DISKUSJON	33
4.1 Regional påvirkning	33
4.2 Blandingsforhold og vannmasser	36
4.3 Konklusjoner	43
5. LITTERATUR	44

SAMMENDRAG

Økt innstrømninger av menneskeskapt næringsmatter fra Tyskebukta og Kattegat har de siste 20-30 åra forårsaket tildels store endringer i næringsstoffforholdene langs den norske Skagerakkysten.

Observasjonene viser at midlere avvik i NO_2+NO_3 og N:P i kystvannet ved Arendal fra januar til mai etter 1990 relativt perioden 1975-80 må betegnes som "markert" (ca 100% økning) i henhold til SFTs klassifisering av miljøkvalitet. For Tot N var midlere årlig avvik "moderat" (ca 35% økning), mens økningen i Tot P og PO_4 må betegnes som "lite" (10-20% økning). Ved Lista var påvirkningsgraden redusert og avviket i NO_2+NO_3 og N:P var "moderat", mens PO_4 , Tot P og Tot N var "lite" påvirket. De største endringene i PO_4 og Tot P inntraff trolig før 1975 pga av den ulike tidsutvikling i konsentrasjonene av PO_4 og NO_{2+3} i Tyskebukta. I middel for perioden januar - mai (1993) er det beregnet at grensen for "lite" påvirket mhp NO_2+NO_3 ligger mellom Egersund og Jærens rev, for N:P omlag ved Egersund og for Tot N (årsmiddel) like før Kristiansand. I månedene med størst avvik (mars og april) kan grensen for "lite" avvik strekke seg opp mot Karmøy for NO_2+NO_3 og N:P mens grensen for "lite" avvik for Tot N kan strekke seg til Lista - Egersund.

Næringsstoffforholdene i de øvre 30 meter av kystvannet ved Arendal var i hovedsak en blanding mellom innstrømmende vann fra Kattegat/Østersjøen og Hirtshals- området. Særlig i mars måned, under vårblomstringen i indre Skagerak, ble næringsstoffkonsentrasjonene redusert på veien fra Kattegat/Hirtshals til Arendal. Fra august til oktober var det også en viss reduksjon i PO_4 og SiO_4 grunnet økt primærproduksjon utover sensommeren og høsten. I perioden mai-juli, trolig i tilknytning til vårflommen fra bla norske elver, var det en mindre økning i $\text{NO}_2 +\text{NO}_3$ og PO_4 .

I vinter - vår perioden med innstrømning av Jylland kystvann til Skagerrak viser beregninger at kystvannet ved Arendal inneholdt ca 24 % Kattegatvann, ca 20 % Tyskebukt vann og ca 56 % sørlig Nordsjøvann. Det midlere bidrag fra Tyskebukt vann var ca 77 % for nitrat (NO_2+NO_3), ca 42 % for fosfat (PO_4) og mellom 57 og 33 % for silikat (SiO_4). Kattegat overflatevann bidro med mellom 6 og 15 % til nitratkonsentrasjonene, mens bidraget til fosfat og silikat var større og lå mellom 20 og 27 %.

Siden slutten av 1970-årene viser både observasjoner og beregninger at nitratkonsentrasjonene og N:P i middel for vinter/vår perioden i kystvannet ved Arendal har økt med en faktor på 1.8-2.0 (80-100 %), mens beregningene viser at fosfat (PO_4) trolig har økt med en faktor på ca 1.3 (30 %) allerede i begynnelsen av 1970-årene. Beregninger viser også at 50% reduksjon i konsentrasjonene av antropogent nitrat og fosfat i Tyskebukta medførte ca 20 % reduksjon i konsentrasjonene av i nitrat og i N:P, mens fosfat ble redusert med ca 8 %.

SUMMARY

In the German Bight the nitrate concentrations have increased after 1980/81 and reached three times the former concentrations in 1987. The phosphate concentrations increased in the sixties and seventies leveling off to about twice the former concentrations and then, in contrary to nitrate concentrations, seems to have decreased after about 1982. The different development of phosphorus and nitrogen eutrophication led to increased $NO_{2,3}:P$ ratios after about 1980 in the German Bight water. Due to the general cyclonic water circulation in the North Sea, anthropogenic nutrients in the German Bight are transported into the Skagerrak by the Jutland Current, changing the nutrient conditions in the Skagerrak.

Observations in the coastal water outside Arendal show that in the mean winter/spring concentration of inorganic nitrogen (NO_2+NO_3) and $NO_{2,3}:P$ ratio after 1990 have increased 80 - 100 % compared to the 1975 - 80 period, while the mean increase of phosphate was considerably less, about 10 %. The yearly mean increase of total phosphorus (Tot P) and total nitrogen (Tot N) was 20 % og 35 % respectively. The relative small increase in phosphate and Tot P after 1975-80 is most likely related to the different development of antropogenic phosphorus and nitrogen in the German Bight

In a mean winter/spring situation the regional impact of antropogenic inorganic nitrogen (NO_2+NO_3) and $NO_{2,3}:P$ ratio (> 25% increase relative 1975-80) is calculated to have its border outside Jæren at the southwest coast of Norway. The mean contribution of German Bight water to inorganic nitrogen (NO_2+NO_3), phosphate and silicate in the coastal water outside Arendal (0-30 meter) in the winter/spring period is calculated to about 77 %, about 42% and 33% - 57% respectively. The mean contribution of Kattegat surface water to nitrate (NO_2+NO_3) varied between 6 % og 15 % and to phosphate/silicate between 20% and 27%.

1. INNLEDNING

Som et bidrag til vurdering av eutrofiforholdene i kystområdene ønsket «Ekspertgruppe for vurdering av eutrofiforhold i fjorder og kystfarvann» en kartlegging og analyse av næringssalter og klorfyll-*a* i kystvannet fra Skagerrak til Vestlandet. Målsettingen med undersøkelsen er å gi en oversikt over nåværende miljøtilstand og evt tidsutvikling mhp næringssalter og klorofyll-*a* i kystområdet fra Ytre Oslofjord til Vestlandet basert på eksisterende data. Herunder vurdere hvor langt vestover en regional påvirkning har betydning.

Kystvannet i Skagerrak er betydelig påvirket av ferskvannstilførsler fra Østersjøen/Kattegat, fra sørlige Nordsjøen og lokalt i Skagerrak. De lokale ferskvannstilførslene er størst i flomperioden om våren mens tilførslene fra Østersjøen/Kattegat er størst i vinter-vår perioden og fra sørlige Nordsjøen i vinterhalvåret (Anon,1993). Midlere ferskvannstilførsel fra Østersjøen/Kattegat til Skagerrak er omlag $15.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ og fra lokale elver i indre Skagerrak ca $2.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Det er usikkert hvor mye av den totale ferskvannstilførsel til sørlige Nordsjøen, på omlag $4500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, som tilføres Skagerrak. Totale midlere ferskvannstilførsel til Skagerrak antas imidlertid å være i størrelsesorden $20.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Den lokale ferskvannstilførsel til Skagerrak på ca $2.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ utgjør dermed i størrelsesorden 10% av midlere total ferskvannstilførsel til Skagerrak. Midlere ferskvannsinfluert volumtransport knyttet til øvre lag langs Skagerrakkysten antas å ligge mellom 0.2 og 0.4 mill. $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ og er omlag 15 ganger større enn den totale ferskvannstilførsel.

Jyllandstrømmen er hovedtransportåren for eutrofiert kystvann fra sørlige Nordsjøen til Skagerrak. Økte nitrogentilførsler fra land etter ca 1980 har medført at nitratkonsentrasjonene i Tyskebukta har økt 2-3 ganger i forhold til langtidsmiddelet (1962-80) og midlere nitratkonsentrasjon i perioden januar-mars er nå ca $40 \mu\text{mol}$ (Hickel, Mangelsdorf og Berg, 1993, Kørner og Weichart 1991). Midlere fosfatkonsentrasjon i perioden januar-mars i Tyskebukta økte også utover i 1960 og 1970-årene til omlag den doble konsentrasjon i begynnelsen av 1980-årene. I motsetning til nitrat var det imidlertid en nedadgående tendens etter ca 1982. Midlere vinterkonsentrasjon av fosfat (januar-mars) i Tyskebukta etter 1982 var omlag $0.8 \mu\text{mol}$. Den ulike utviklingen av nitrat og fosfatkonsentrasjonene og tilnærmet konstante silikatkonsentrasjoner medførte betydelig forhøyete N:P og N:Si forhold i Tyskebukta etter 1980/81 med et forløpig maksimum i midlere N:P nær 50 i perioden januar-mars i 1990. Næringssaltkonsentrasjonene i Tyskebukta har også en årlig syklus med maksimale fosfat og silikatkonsentrasjoner rundt årskiftet og maksimale nitratkonsentrasjoner i vinter-vårperioden. Dette medfører at N:P og N:Si - forholdene varierer mye gjennom året med tilnærmet normale forhold rundt årskiftet og markert økning i N:P og N:Si utover vinteren og

våren (Hickel et al 1993,1995). Innstrømning av Jylland kystvann, med saltholdigheter mellom 32 og 34.5, til Skagerrak er bestemt av vindforholdene i Nordsjøen/Skagerrak og inntreffer som periodiske innstrømninger under "gunstige" vindforhold, dvs ved framherskende sørlige vinder (høst/vinter). Ut fra dagens næringsstoffforhold i Tyskebukta og den årlige variasjon i vind og ferskvannsavrenning vil en utover vinteren og tidlig vår forvente høye nitratkonsentrasjoner og økende N:P og N:Si i innstrømmende Jyllandvann kystvann (Tyskebukt vann) til Skagerrak. Etter mai/juni vil planktonproduksjonen i Tyskebukta og langs vestkysten av Jylland normalt ha redusert næringsstoffkonsentrasjonene betydelig og det skjer samtidig en normalisering av N:P og N:Si- forholdene i innstrømmende vannmasser. Økt hyppighet av nordlige vinder i Nordsjøen og sørvestlige vinder i Skagerrak utover våren og sommeren medfører transport av Skagerrak kystvann på tvers av Skagerrak som reduserer/blokkerer innstrømning av Jyllandvann til Skagerrak (Aure og Sætre, 1981). Innstrømning av vannmasser fra sentrale og nordlige Nordsjø, med saltholdigheter over 34.75, kan også i perioder blokkere/ redusere innstrømning av Jylland kystvann.(Aure et al 1989).

I Kattegat overflatelag, som er betydelig påvirket av utstrømning fra Østersjøen, har det i perioden 1970-90 vært en økende trend vinterstid for alle næringsstoffer, unntatt for silikat. I sommerhalvåret har det vært en økende trend for totalnitrogen og totalfosfor, mens silikat har vist en nedadgående tendens (Andersson og Rydberg 1988,1993 og Andersson, 1996). Hovedårsaken til de økende næringsstoffkonsentrasjonene er utviklingen i Østersjøen hvor næringsstoffkonsentrasjonene er nær doblet fra 1950 til 1982. Økning i lokale utslipp til Kattegat og innstrømning av næringsrikt vann fra sørlige Nordsjøen har også bidratt til endrete næringsstoffforhold i Kattegat. Næringsstofftilførselene lokalt i Skagerrak har også økt i samme periode.

2. OBSERVASJONER

Datamaterialet for Skagerrak, Kattegat og Raunefjorden sør for Bergen dekker perioden 1980-1995. I tillegg har prosjektet tilrettelagt data fra perioden 1975-80 i kystvannet ved Arendal. For alle dataserier er det beregnet månedsmidler og fortløpende midler for 0-30 meter, 0-10 meter og for saltholdigheter under 34.5.

I foreliggende rapport er det valgt å benytte midler for 0-30 meter, med unntak for stasjonen i Kattegat (Anholt) hvor dataene er midlet i de øverste 10 meter. Lokalisering av målestasjonene er vist i fig.1 og stasjonsnavn, stasjonsnummer, måleperioder, måleparametre og datakilder angitt i tabell 1.

Tabell 1 Oversikt over stasjonsnavn, stasjonsnr, måleperioder, måleparametre og datakilder benyttet i rapporten (se fig 1). (SMHI: Sveriges Meteorologiske ock Hydrologiska Institut, DMU: Danmarks Miljøundersøgelser). (*Stations (name and number), observation periods, observation parameters and data sources*)

Stasjonsnavn	Stasjonsnr	Måleperiode	Måleparametre	Kilde
Anholt	-	1981-1995	T,S,N,P,Si,TotP, TotN, kl-a	SMHI,DMU
Smøgen	996	1988-1994	T,S,N,P,Si,TotP, TotN	SMHI
Jomfruland	998	1990-1995	T,S,N,P,Si,TotP, TotN, kl-a	Kystovervåkning. SFT,NIVA,HI
Arendal	201, 205	1990-1995	T,S,N,P,Si,TotP, TotN, kl-a, part C	Kystovervåkning. SFT,NIVA,HI
Arendal	200-257	1980-1996	T,S,N,P,Si, kl-a	HI Torungen-Hirtshals
Arendal	512-514	1975-80	T,S,N,P,TotP, TotN	HI
Lista	999	1990-1995	T,S,N,P,Si,TotP, TotN, kl-a,	Kystovervåkning. SFT,NIVA,HI
Raunefjorden	980	1980-94	T,S,N,P,Si,TotP	Universt i Bergen

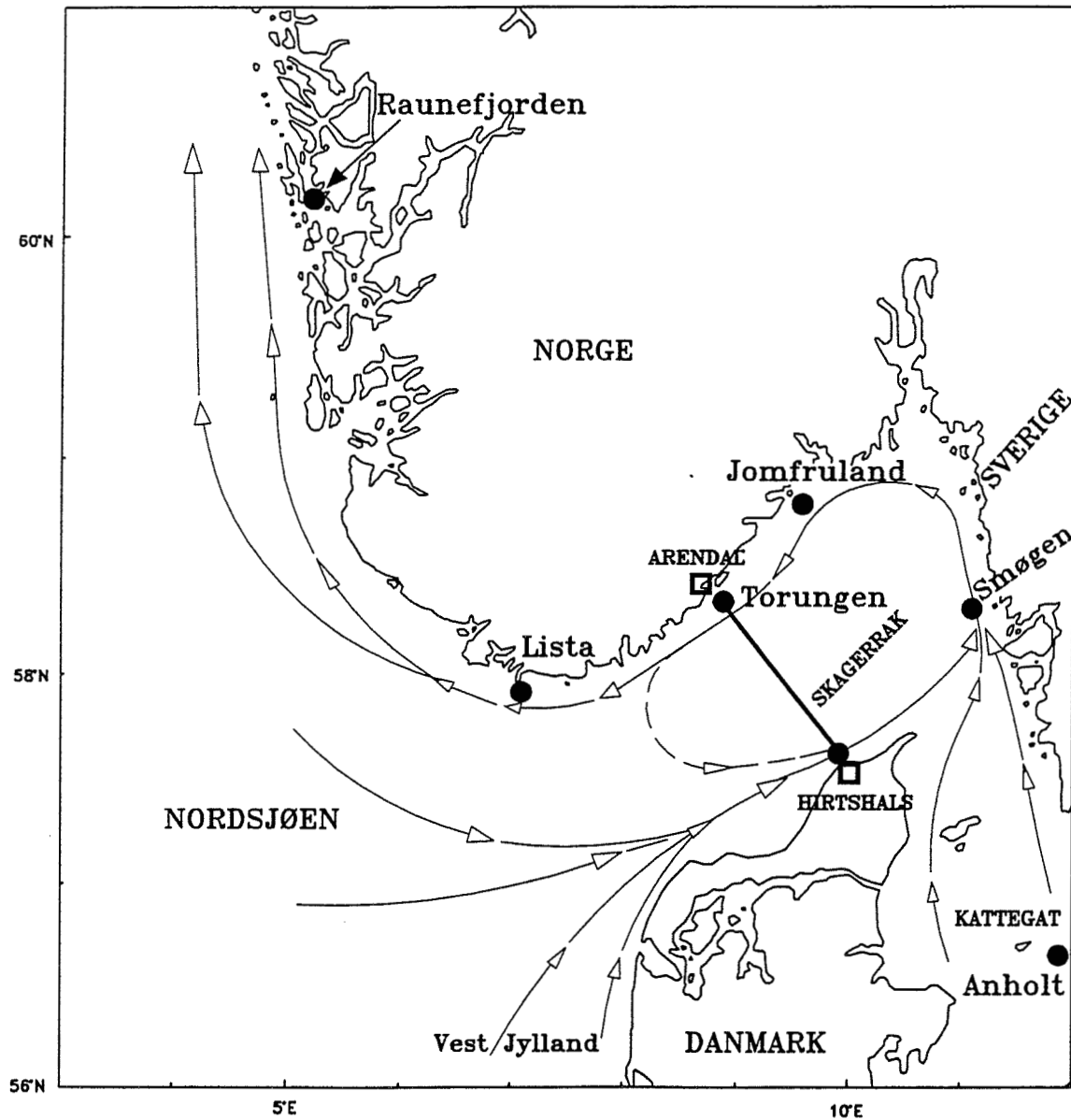


Fig.1 Lokalisering av målestasjoner, snittet Torungen-Hirtshals og forenklet strømbilde for øvre lag i Skagerrak og tilgrensende områder.
 (Location of sampling stations, Torungen-Hirtshals section and the recidual circulation pattern for the Sklagerrak/Kattegat upper layer).

3. RESULTATER

3.1 Torungen - Hirtshals og Kattegat (1980-1995)

Saltholdighet (fig 2 og 3)

Saltholdigheten i de øverste 30m i Skagerrak er bestemt av innstrømning og blanding mellom vann fra Nordsjøen, Kattegat/Østersjøen og lokal ferskvannsavrenning. I den såkalte Skagerrakfronten nördøst av Skagen foregår en betydelig blanding mellom innstrømmende Nordsjøvann og utstrømmende "brakkvann" fra Kattegat (Poulsen,1993) (fig.1). I tillegg medfører vindblanding økende saltholdigheter fra øst mot vest i Skagerrak. Sesongmessige vindforhold påvirker også fordelingen av saltholdighet i Skagerrak. I et middelår vil feks økende vest/sørvestlige vinder utover våren og sommeren medføre økt transport av "ferskt" overflatevann på tvers av Skagerrak (resirkulering). Fig.2 og 3 viser at i normalåret, fra desember til april, er forholdene i de øverste 30m ved Hirtshals dominert av Jyllandvann kystvann, med saltholdigheter mellom 33.0 og 34.0. Langs norskekysten ved Arendal var det gradvis avtagende saltholdighet utover vinteren og våren fra ca 32.0 i januar til et minimum på 28.0-29.0 i mai og juni og saltholdighetene økte deretter utover sommeren og høsten til ca 32.0 i desember. De lave saltholdighetene i norsk kystvann i mai og juni hadde sammenheng både med lavere saltholdigheter i innstrømmende vann fra Kattegat (fig 2) og årsmaksimum i tilførsler av ferskvann lokalt i Skagerrak. Fig 3 viser at spredningen av kystvann på tvers av Skagerrak (resirkulering) starter ut på våren og har sin største utbredelse i perioden fra mai til juli.

Nitrat+nitrit (fig 2 og 3)

I vintermånedene fra januar til april var det høyest konsentrasjoner ved Hirtshals, med maksimalkonsentrasjon i de øverste 30m nærmest Hirtshals på omlag 20 μM i mars (st 257) og ca 16 μM i middel for stasjonene 252-257. Fra mai til september/oktober lå konsentrasjonene av nitrat+nitrit under ca 2 μM , for deretter å øke gradvis til nær 5 μM i desember. I Kattegat overflatelag (Anholt) var maksimal nitrat+nitrit konsentrasjon ca 7.0 μM i februar. Fra mars til desember varierte konsentrasjonene ved Anholt mellom 0 og 2.0 μM . Langs norskekysten ved Torungen var det årsmaksimum i februar på 9.0-10.0 μM i middel for stasjonene 200-215 og konsentrasjonene falt deretter gradvis til under 2.0 μM i juni måned. Fra juni til oktober/november lå midlere konsentrasjon under ca 2.0 μM , for deretter å øke til omlag 5.0 μM i desember.

Fosfat (fig 2 og 3)

De høyeste fosfatkonsentrasjonene gjennom året (ca 0.7 μM) ble observert nærmest Hirtshals i perioden fra januar til mars. Det var deretter et markert fall i konsentrasjonene fra mars til mai og i perioden fra juni til august lå fosfatkonsentrasjonene ved Hirtshals under 0.1 μM . Utover høsten var det en jevn økning og midlere konsentrasjon i desember var ca 0.6 μM . I Kattegat overflatevann (0-10m) var det årsmaksimum i januar/februar på 0.6-0.7 μM og konsentrasjonene falt raskt utover vinteren og våren til under 0.1 μM i april. De lave konsentrasjonene varte fram til september, for deretter å øke jevnt til ca 0.4 μM i desember.

Langs norskekysten ved Arendal var det høyest konsentrasjoner i januar/februar på ca 0.65 μM . Fra mai til oktober lå konsentrasjonene mellom 0.1 og 0.2 μM , for deretter å øke til ca 0.45 μM i desember.

Silikat (fig 2 og 4)

Ved Hirtshals var det høyest silikatkonsentrasjoner (ca 9 μM) i mars måned og konsentrasjonene falt til under 2 μM i løpet av april. Silikatkonsentrasjonene holdt seg under 1-2 μM fram til september/oktober, for deretter å øke til ca 3 μM i desember. I Kattegat var det et årsmaksimum i januar og februar på ca 9 μM . Deretter falt konsentrasjonene til under 2 μM i løpet av mars måned og varierte mellom 1 og 2 μM fram til oktober. I desember økte konsentrasjonene igjen til 4-5 μM . Langs norskekysten ved Arendal var det høyest konsentrasjoner nær kysten i februar og mars på 7-8 μM og konsentrasjonene avtok i løpet av mars til under 2 μM . Konsentrasjonene holdt seg under dette nivå fram til oktober måned, for deretter å øke til ca 3 μM i desember.

N/Si (fig 2 og 4)

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

N/P (fig 2 og 4)

De høyeste N:P verdiene (ca 30) ved Hirtshals inntraff nær kysten (st 257) i mars -april, mens midlere N:P for stasjonene 252-257 var ca 24. Med unntak for juli måned lå N:P

fra mai og ut året mellom 5 og 10. I Kattegat var N:P høyest i perioden fra januar til mars med maksimal verdi i mars på ca 13. Fra april og ut året var N:P mindre enn 5. Ved norskekysten var midlere N:P høyest fra mars til mai med maksimumsverdier over 20. Fra juni til oktober falt N:P gradvis til ca 6 , for deretter å øke igjen til ca 10 i desember.

Nitrit (fig 5)

Utenfor Hirtshals var det et årsmaksimum i nitrit fra november til ut i februar mellom 0.5 og 0.8 μM . Fra april til oktober lå nitritkonsentrasjonene under 0.1-0.2 μM . I Kattegat varierte nitritkonsentrasjonene mellom 0.2 og 0.3 μM fra desember til mars og resten av året mellom 0,05 og 0,1 μM . Ved norskekysten var det høyest konsentrasjoner fra november til mars mellom 0.4 og 0.6 μM . Resten av året lå nitritkonsentrasjonene under 0.1-0.2 μM .

Klorofyll-a (fig 2 og 5)

Utenfor Hirtshals var det et vårmaksimum i april på 5-6 $\mu\text{g/l}$. Fra mai til september lå konsentrasjonene mellom 2 og 3 $\mu\text{g/l}$, med et lokalt høstmaksimum i august måned. Resten av året var klorofyll-*a* under omlag 1 $\mu\text{g/l}$. Langs norskekysten og i Kattegat inntraff vårblomstringen i mars måned, ca 1 måned før Hirtshals. Klorofyll-*a* konsentrasjonene i mars var høyere (7 $\mu\text{g/l}$) i Kattegat enn langs norskekysten ved Arendal (5 $\mu\text{g/l}$). Langs norskekysten lå klorofyll-*a* mellom 1 og 2 $\mu\text{g/l}$ fra mai til november, med unntak for et lokalt maksimum i august på ca 3 $\mu\text{g/l}$. I desember og januar lå klorofyll-*a* under 1 $\mu\text{g/l}$. I Kattegat varierte konsentrasjonene mellom 1 og 2 $\mu\text{g/l}$ fra april og ut året, med unntak av november med et lokalt klorofyll-*a* maksimum på omlag 3 $\mu\text{g/l}$. Klorofyll-*a* var både under vårblomstringen og ellers i året høyere i de innstrømmende vannmasser fra Nordsjøen og langs norskekysten enn i sentrale deler av Skagerrak.

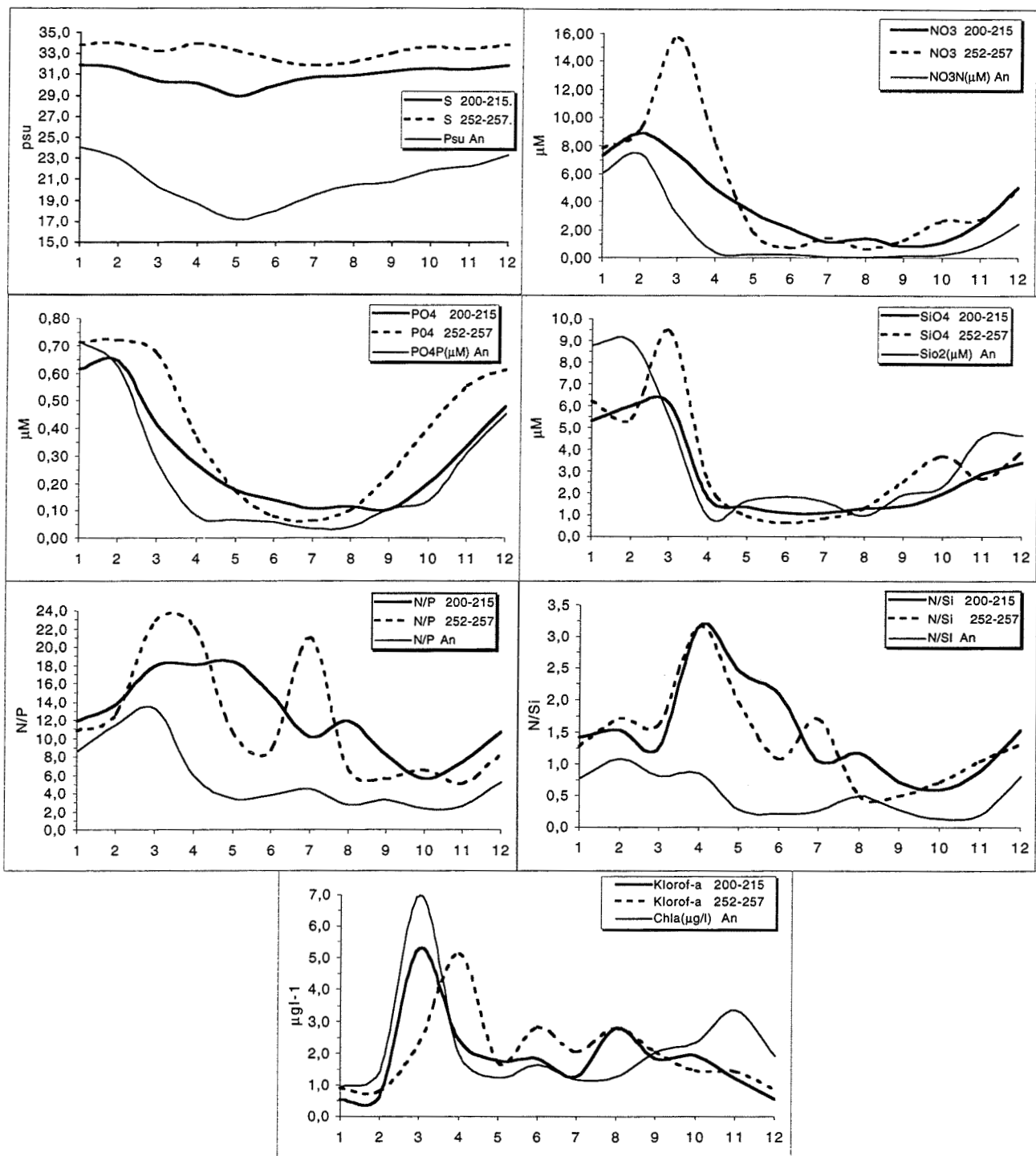


Fig.2 Månedsmidler for saltholdighet, NO₃+NO₂, PO₄, SiO₄, N:P, N:Si og klorofyll-a i 0-30m for stasjonene 200-215 (kystvann- Arendal), 252-257 (Hirtshals) og Anholt (An - Kattegat) 1980-95. (Monthly means of salinity, NO₃+NO₂, PO₄, SiO₄, N:P and Chlorophyll-a at Stn 200-215 (Coastal water- Arendal), 252-257 (coast-Hirtshals) and Anholt (An-Kattegat) 1980-95)

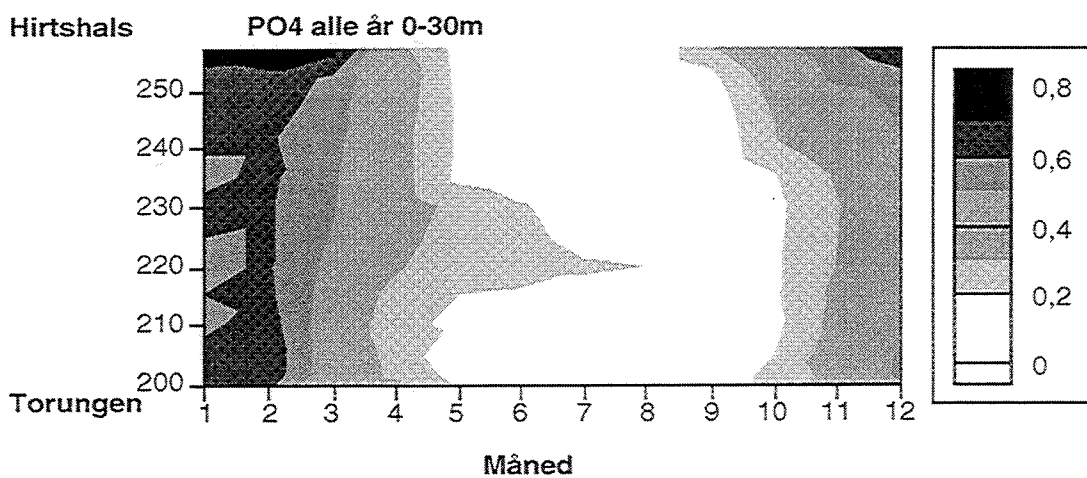
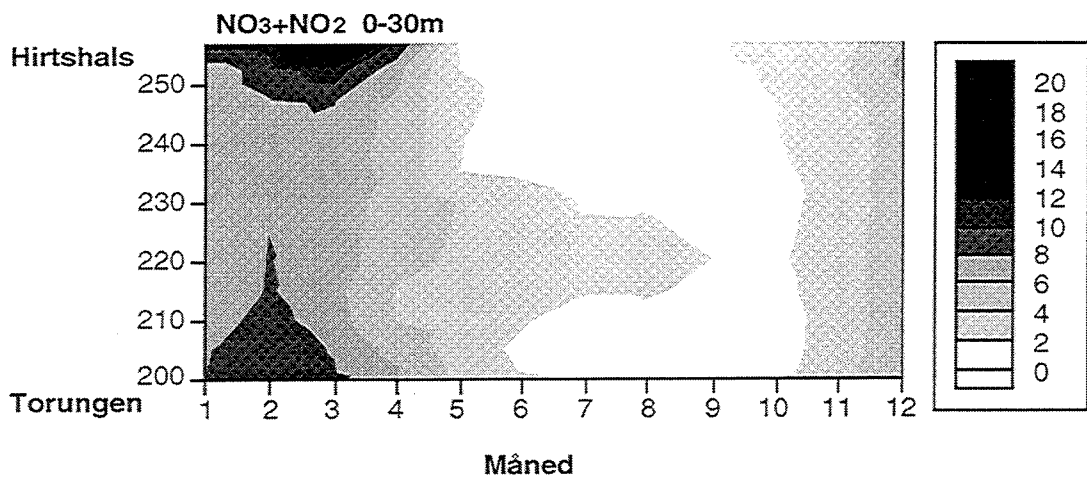
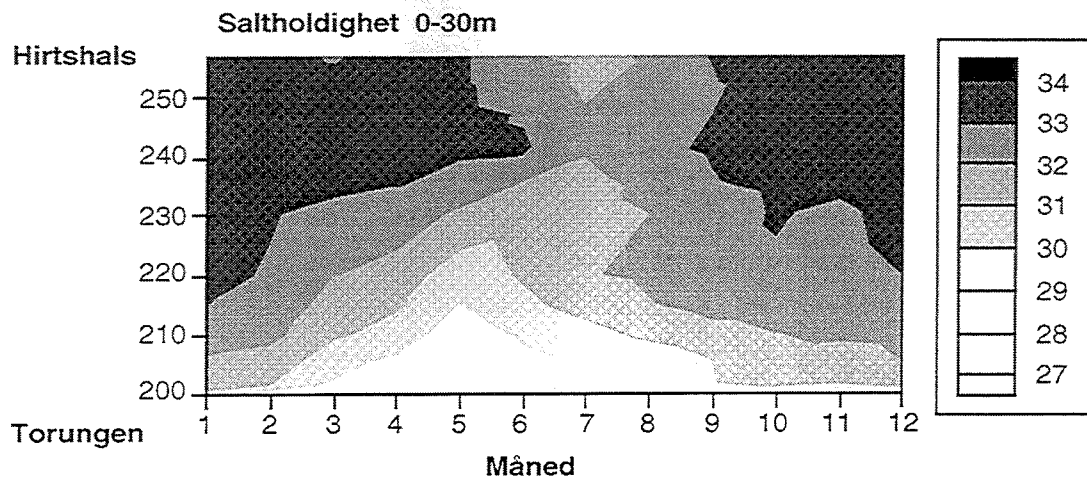


Fig.3 Saltholdighet, NO₂+NO₃ og PO₄ mellom Torungen og Hirtshals 0-30 m i middeleåret 1980-95 (Salinity, NO₂+NO₃ and PO₄ 0-30 meter between Torungen and Hirtshals in the mean year 1980-95).

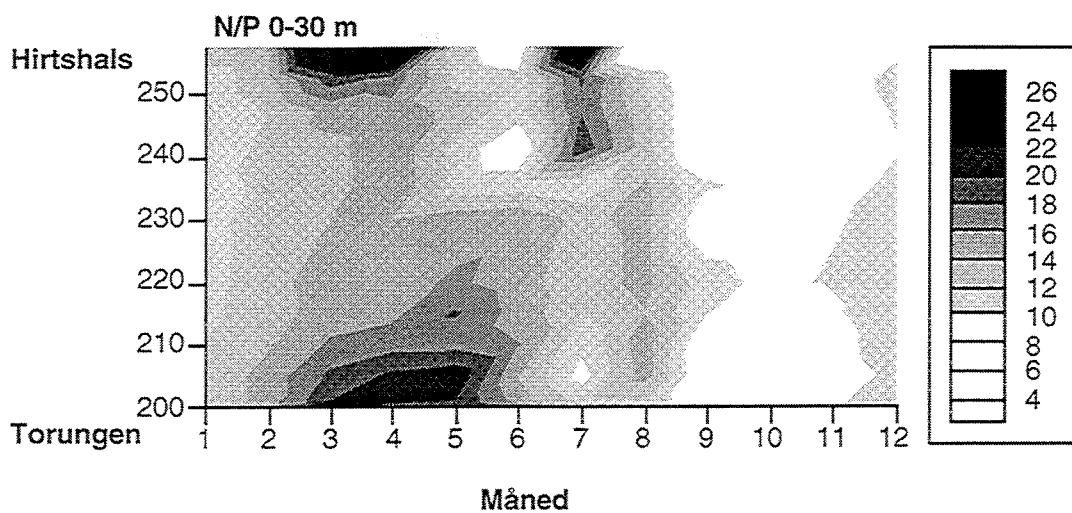
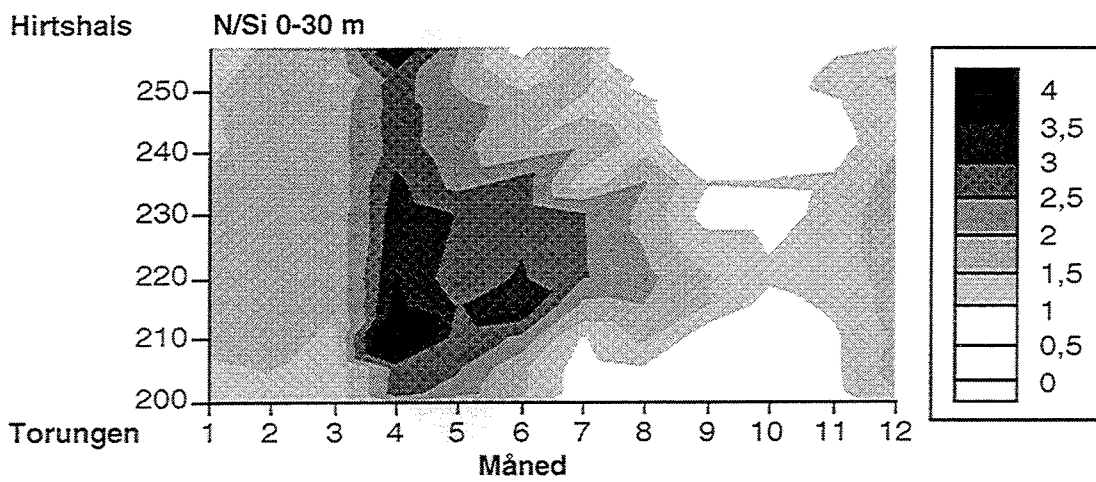
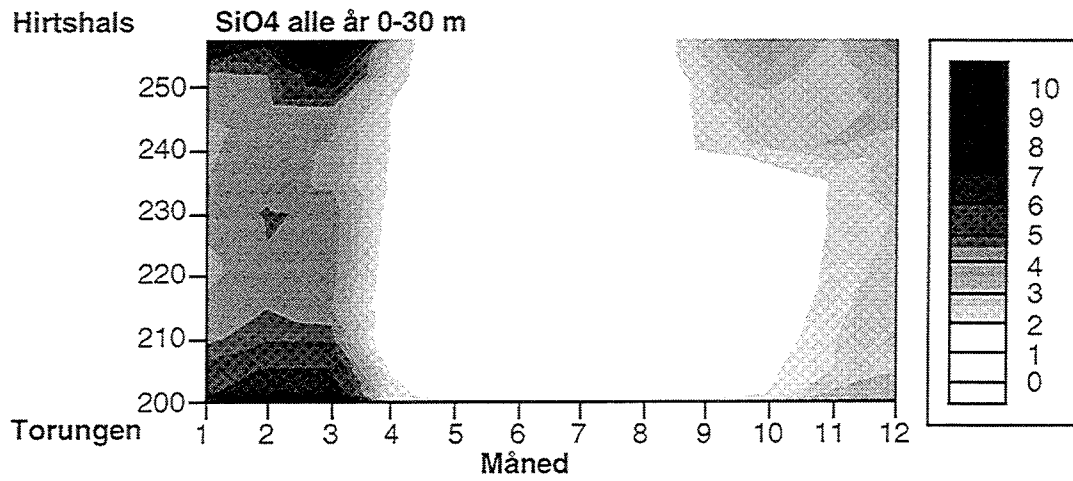


Fig.4 SiO₄, N:Si and N:P mellom Torungen og Hirtshals 0-30 m i middeleåret 1980-95 (*SiO₄, N:Si and N:P 0-30 meter between Torungen and Hirtshals in the mean year 1980-95*).

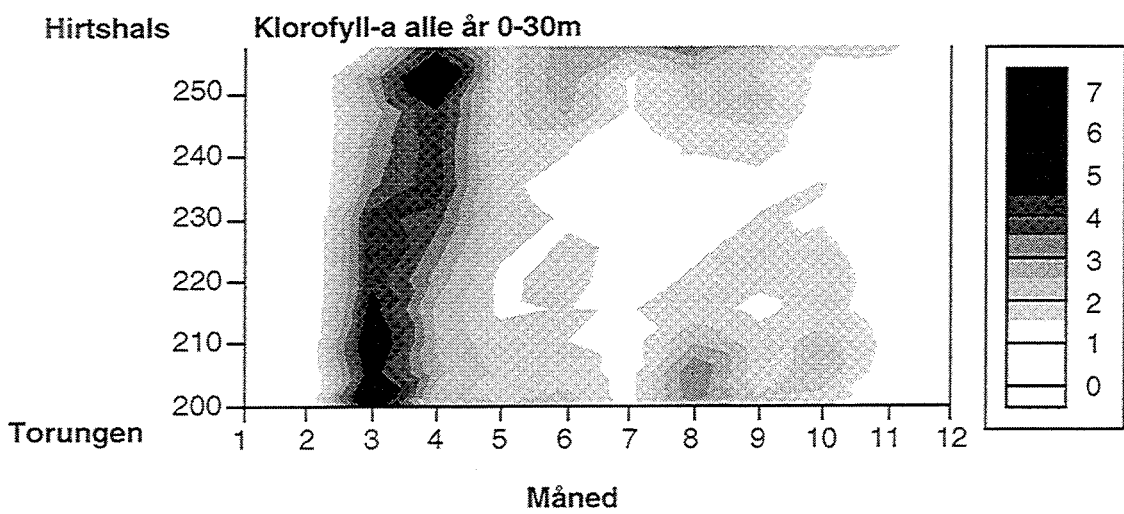
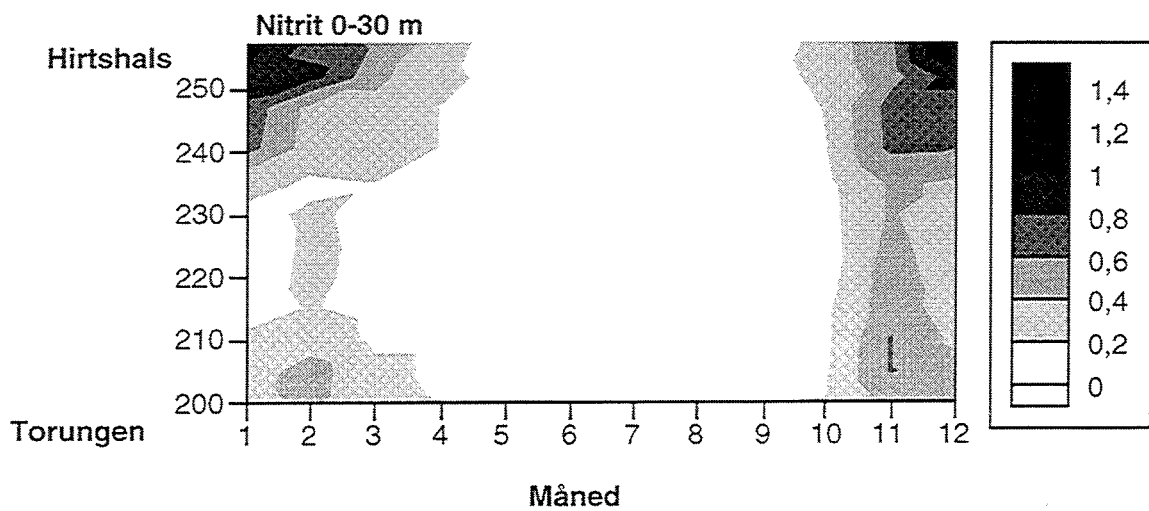


Fig.5 NO₂ (nitrit) og Klorofyll-a mellom Torungen og Hirtshals 0-30 m i middeleåret 1980-95.
(NO₂ (nitrit) and Chlorophyll-a between Torungen and Hirtshals in the mean year 1980-95).

3.2 Kysten Skagerrak/Vestlandet (1988-1995)

Saltholdighet (fig 6 og 7)

I et middelår avtok saltholdighetene langs Skagerrakysten markert utover vinteren og våren som følge av redusert saltholdighet i innstrømmende vann fra Kattegat og økende lokale ferskvannstilførsler. Laveste saltholdighet på 28.5-29.0 inntraff ved Arendal og Lista i juni, mens det var årsminimum ved Jomfruland både i juni og juli på ca 28.0. Utover sommeren og høsten økte saltholdighetene og særlig i juli og august lå saltholdighetene ved Lista betydelig høyere enn ved Arendal og Jomfruland. I Raunefjorden var saltholdighetene høyere enn ved Arendal og Jomfruland med betydelig mindre årsvariasjon. Det var et minimum i juni og oktober på ca 31.0 og et maksimum i februar på ca 32.5. Saltholdighetene ved Lista var høyere enn i Raunefjorden fra juli til januar.

Nitrogen (Nitrat+nitrit) (fig 6 og 7)

Innstrømningen av nitrogenrikt fra sørlige Nordsjøen til Skagerrak gjorde seg gjeldende fra januar til mai (se også kap 3.1) og bidro til forhøyete konsentrasjoner langs Skagerrakkysten. I innstrømmende overflatevann fra Kattegat var nitrogen konsentrasjonene markert lavere og konsentrasjonene lå etter februar under 5.0 μM . Midlere maksimumskonsentrasjon avtok fra Jomfruland/Arendal til Lista fra ca 10.0 til ca 7.5 μM . I Raunefjorden var årsmaksimum 5.0-6.0 μM . Mellom Jomfruland/Arendal og Raunefjorden var det dermed en reduksjon i midlere maksimumskonsentrasjon på omlag 4.0 μM . I perioden fra mai til november lå derimot nitrogenkonsentrasjonene 0-1.5 μM høyere i Raunefjorden enn langs Skagerrakkysten.

Fosfat (fig 6 og 7)

Innstrømning av fosfatrikt vann (0.5-0.7 μM) ved Hirtshals gjorde seg gjeldende fra januar til mai (se også kap 3.1) og bidro til forhøyete konsentrasjoner langs Skagerrakkysten i perioden. Innstrømmende overflatevann fra Kattegat hadde også høye fosfatkonsentrasjoner i januar og februar (0.6-0.7 μM). Utover høsten økte igjen fosfatkonsentrasjonene både i Kattegat og i innstrømmende vann fra Nordsjøen med fosfatkonsentrasjoner på henholdsvis 0.45 og 0.6 μM i desember måned. Mellom Jomfruland og Lista var det små forskjeller i fosfatkonsentrasjonen gjennom året, med årsmaksimum i januar/februar på ca 0.65 μM og konsentrasjoner under 0.15 μM fra mai til oktober. I Raunefjorden lå fosfatkonsentrasjonene i vintermånedene 0.15-0.2 μM lavere enn langs Skagerrakkysten, mens konsentrasjonene fra mai til oktober lå ca 0.2 μM over Skagerrakkysten .

Silikat (fig 6 og 8)

Konsentrasjonene av silikat i innstrømmende vann fra Kattegat og Nordsjøen var høyest i perioden fra januar til mars. I Kattegat var det årsmaksimum i januar/februar på ca 9.0 μM , mens Hirtshals hadde årsmaksimum i mars på ca 9.0 μM . I Kattegat og ved Hirtshals lå silikatkonsentrasjonene under ca 2.0 μM fra april til september, for deretter igjen å øke til ca 4 μM i desember. I januar-februar var det et fall i silikat-konsentrasjonene fra 7.0-8.0 μM ved Jomfruland/Arendal til ca 4.5 μM ved Lista og ca 2.5 μM i Raunefjorden. I perioden fra april til september lå silikatkonsentrasjonene under 2.0 μM i hele kystområdet, for utover høsten å øke raskere langs Skagerakkysten enn i Raunefjorden.

N:P (fig 6 og 8)

I innstrømmende overflatevann fra Kattegat lå N:P mellom 10 og 12 i årets tre første måneder, mens N:P resten av året var lavere enn 5.0. Ved Hirtshals var det et årsmaksimum i mars og april mellom 20 og 30. Det var også et lokalt maksimum i juli på ca 20. Fra august og ut året var N:P ved Hirtshals under 10. Ved Jomfruland og Arendal var det et årsmaksimum i april på 26-28, mens N:P ved Lista var betydelig redusert, med et årsmaksimum i april-mai på ca 18. Ved Arendal og Lista falt N:P under 10.0 i løpet av juni-juli, mens Jomfruland hadde en betydelig forlenget periode med relativt høye N:P, som først i september gikk under 10.0. I Raunefjorden lå N:P betydelig lavere enn langs Skagerakkysten i perioden fra mars til mai med betydelig mindre årsvariasjon. Fra juni til oktober/november lå N:P høyere i Raunefjorden enn ved Arendal og Lista. Fra november til februar var det tilnærmet samme N:P forhold i hele kystområdet.

N:Si (fig 6 og 8)

Ved Hirtshals var det et markert årsmaksimum på ca 3.0 i april og mai. Resten av året varierte N:Si mellom 0.5 og 1.5. I Kattegat var N:Si markert lavere med maksimumsverdi i løpet av vinteren på omlag 1.0 og lå under 0.5 fra mai til november. Langs Skagerrakkysten, ved årsmaksimum i april, økte N:Si fra 2 til ca 3 mellom Jomfruland og Arendal/Lista og økte deretter til ca 6.0 i Raunefjorden. N:Si lå høyere i Raunefjorden enn langs Skagerrakkysten gjennom hele året. Fra juli og ut året var det tilnærmet samme N:Si forhold langs Skagerrakkysten.

Nitrit (fig 6 og 9)

I vintermånedene fra januar til mars var det markert høyere nitritkonsentrasjoner i innstrømmende vann fra sørlige Nordsjøen (0.5-1.0 μM) og langs Skagerrakkysten til

Arendal (0.5-1.2 μM) i forhold til Kattegat (0.35 μM), Lista og Raunefjorden (0.1-0.15 μM). Fra oktober til desember, var det også relativt høye konsentrasjoner i innstrømmende overflatevann fra Kattegat (0.5-1.2 μM) og ved Lista (0.5 μM). I Raunefjorden var det et årsmaksimum i oktober på ca 0.2 μM .

Tot N (fig 6 og 9)

Tot N hadde sitt maksimum i Kattegat og langs Skagerrakkysten i perioden fra januar til april, med et fall i konsentrasjonene fra Kattegat til Lista. Maksimumskonsentrasjonene langs Skagerrakkysten, fra Kattegat til Jomfruland, lå mellom 22.0 og 25.0 μM mens de ved Arendal og Lista var redusert til henholdsvis ca 20.0 og 16.0 μM . Gjennom resten av året var det også markert høyere Tot N i Kattegat og indre kystområder av Skagerrak i forhold til Lista.

Tot P (fig 6 og 9)

I Kattegat og langs Skagerrakkysten var det høyest konsentrasjoner i perioden fra november til mars, med et fall i konsentrasjonene fra Kattegat til Lista. Maksimum i Kattegat var ca 1.0 μM , ved Jomfruland og Arendal ca 0.85 μM og ved Lista ca 0.75 μM . I Raunefjorden var vintermaksimum redusert til ca 0.6 μM . Fra april til september var det mindre forskjeller mellom Kattegat, Skagerrakysten og Raunefjorden, med konsentrasjoner mellom 0.3 og 0.5 μM .

Klorofyll-*a* (fig 6 og 10)

I Kattegat og langs Skagerrakkysten fram til Arendal var det et markert vårmaksimum i april. Maksimum klorofyll-*a* var høyest i Kattegat (ca 7 $\mu\text{g/l}$) og avtok til mellom 3.0 og 5.0 $\mu\text{g/l}$ i kystvannet utenfor Arendal. Ved Jomfruland var vårmaksimum markert lavere, ca 2.0 $\mu\text{g/l}$. Ved Hirtshals og Lista inntraff vårmaksimum i april, ca en måned senere enn i Kattegat og indre del av Skagerrak, med maksimumskonsentrasjoner på henholdsvis 5-6 $\mu\text{g/l}$ og 4.5 $\mu\text{g/l}$. Langs Skagerrakysten var det et markert høstmaksimum fra august til oktober med konsentrasjoner mellom 2.0 og 3.5 μM . Et tilsvarende høstmaksimum inntraff også i Kattegat i november med klorofyll-*a* på ca 3.0 $\mu\text{g/l}$.

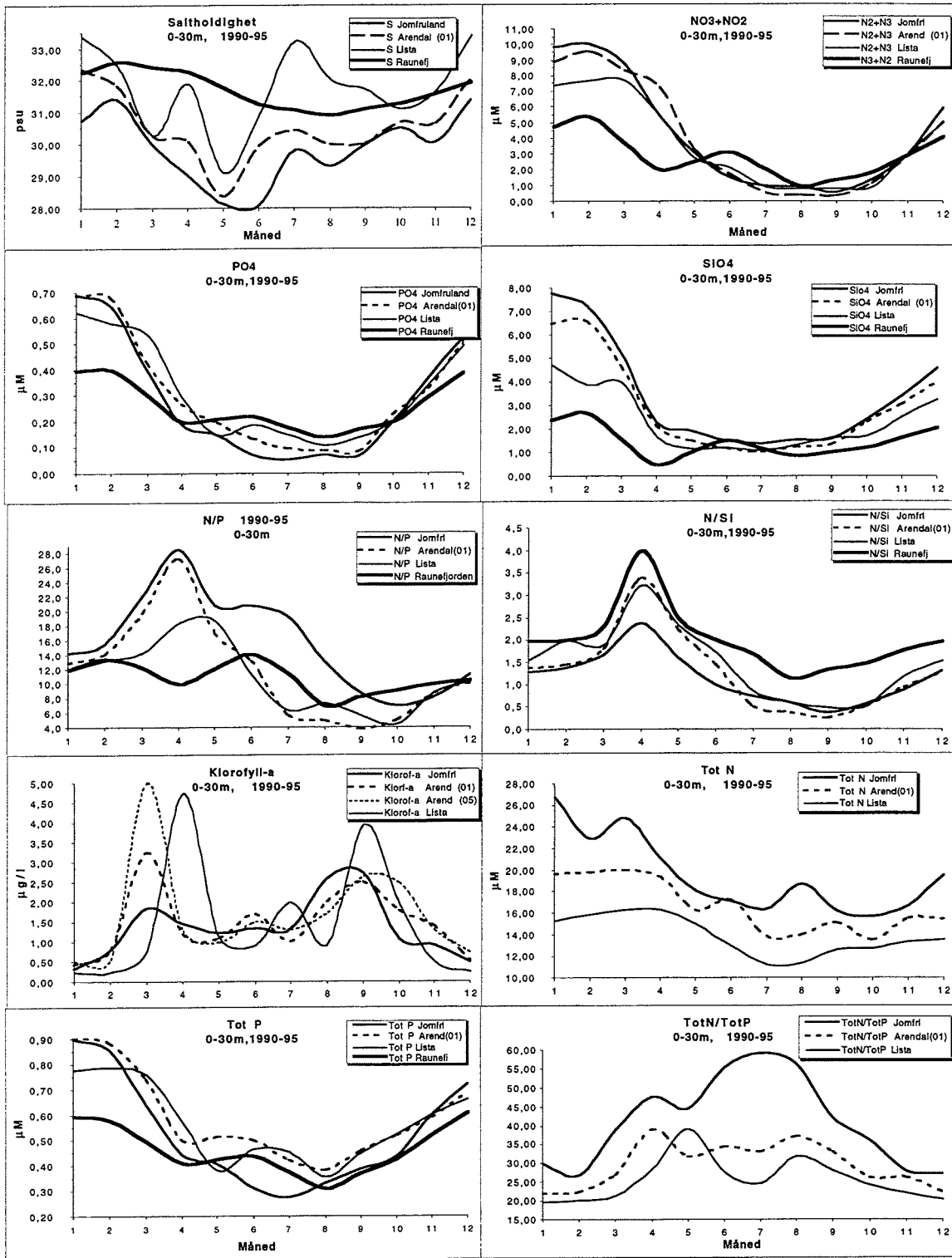


Fig.6 Månedsmidler for saltholdighet, NO₃+NO₂, PO₄, SiO₄, N:P, N:Si og klorofyll-a, Tot N og Tot P i 0-30m for Jomfruland, Arendal (201), Lista og Raunefjorden (1990-95). (Monthly means of salinity, NO₃+NO₂, PO₄, SiO₄, N:P, N:Si and Chlorophyll-a, Tot N og Tot P i 0-30 m Jomfruland, Arendal (201), Lista and Raunefjorden (1990-95)).

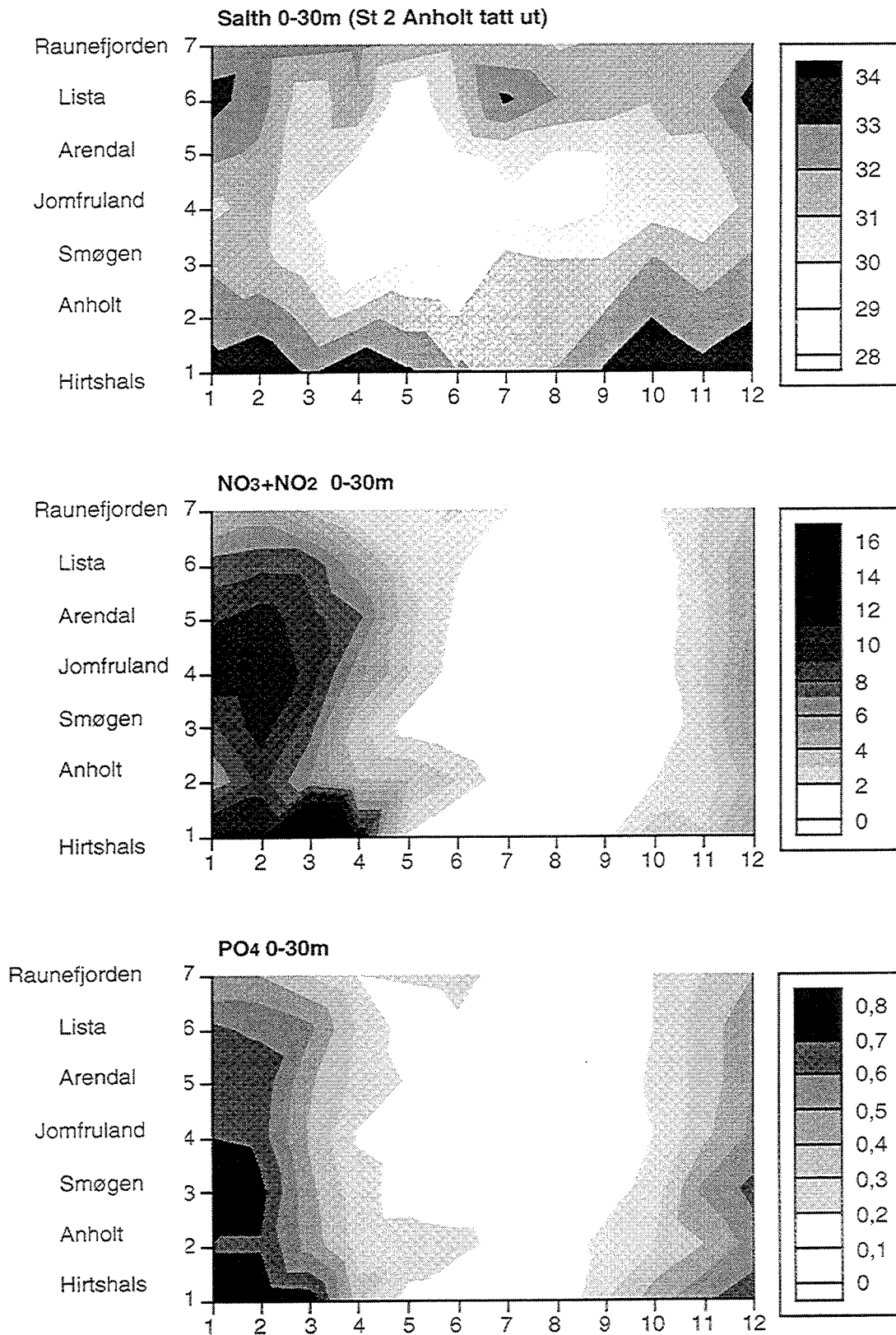


Fig.7 Saltholdighet, $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ og PO_4 0-30m langs kysten fra Hirtshals til Raunefjorden i middelåret 1988-95. (Mean Salinity, $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ og PO_4 0-30 meter along the coast from Hirtshals to Raunefjorden 1988-95)

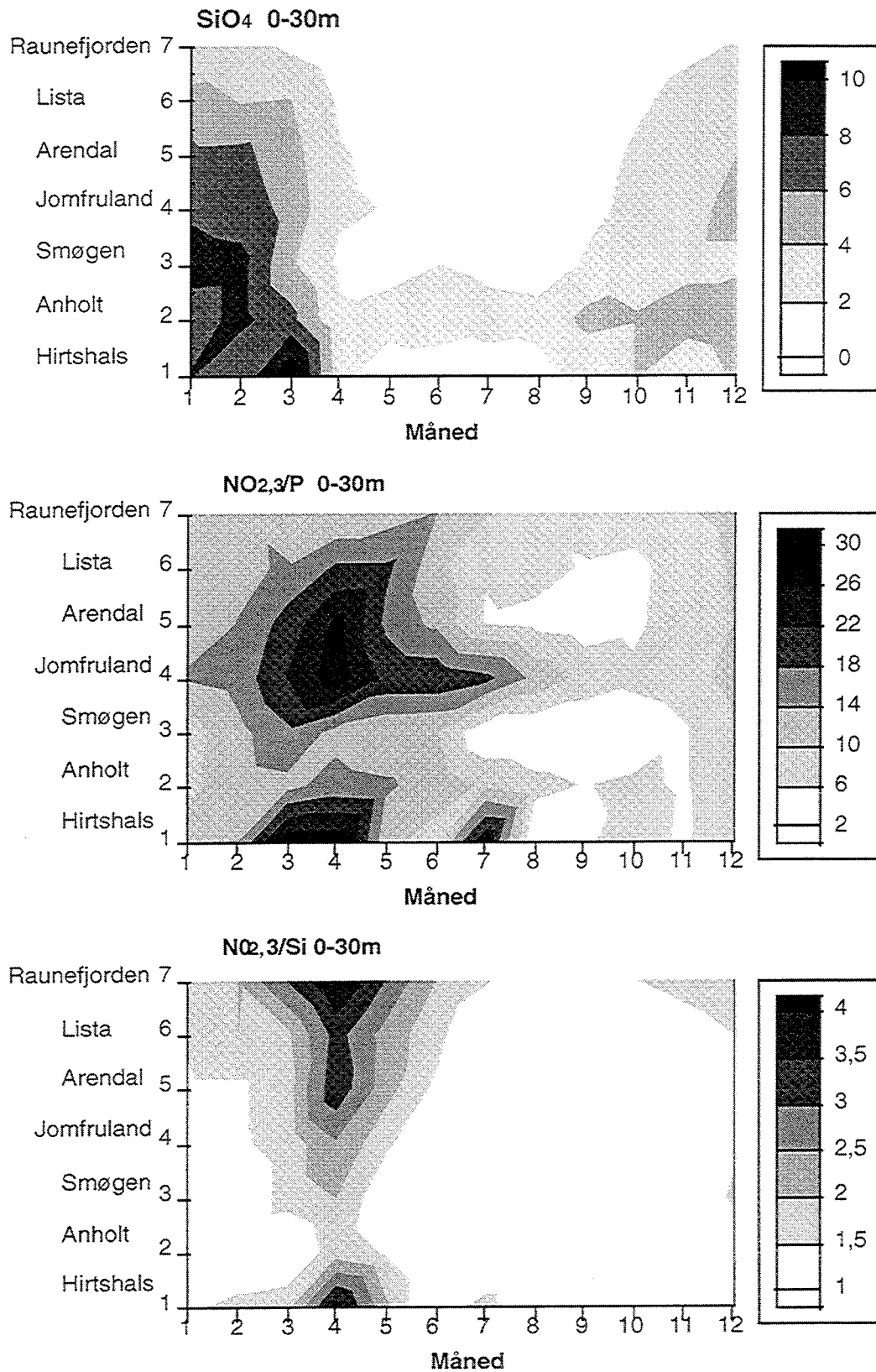


Fig.8 SiO_4 , N:P og N:Si 0-30m langs kysten fra Hirtshals til Raunefjorden i middelåret 1988-95.
 (Mean SiO_4 , N:P and N:Si 0-30 meter along the coast from Hirtshals to Raunefjorden 1988-95)

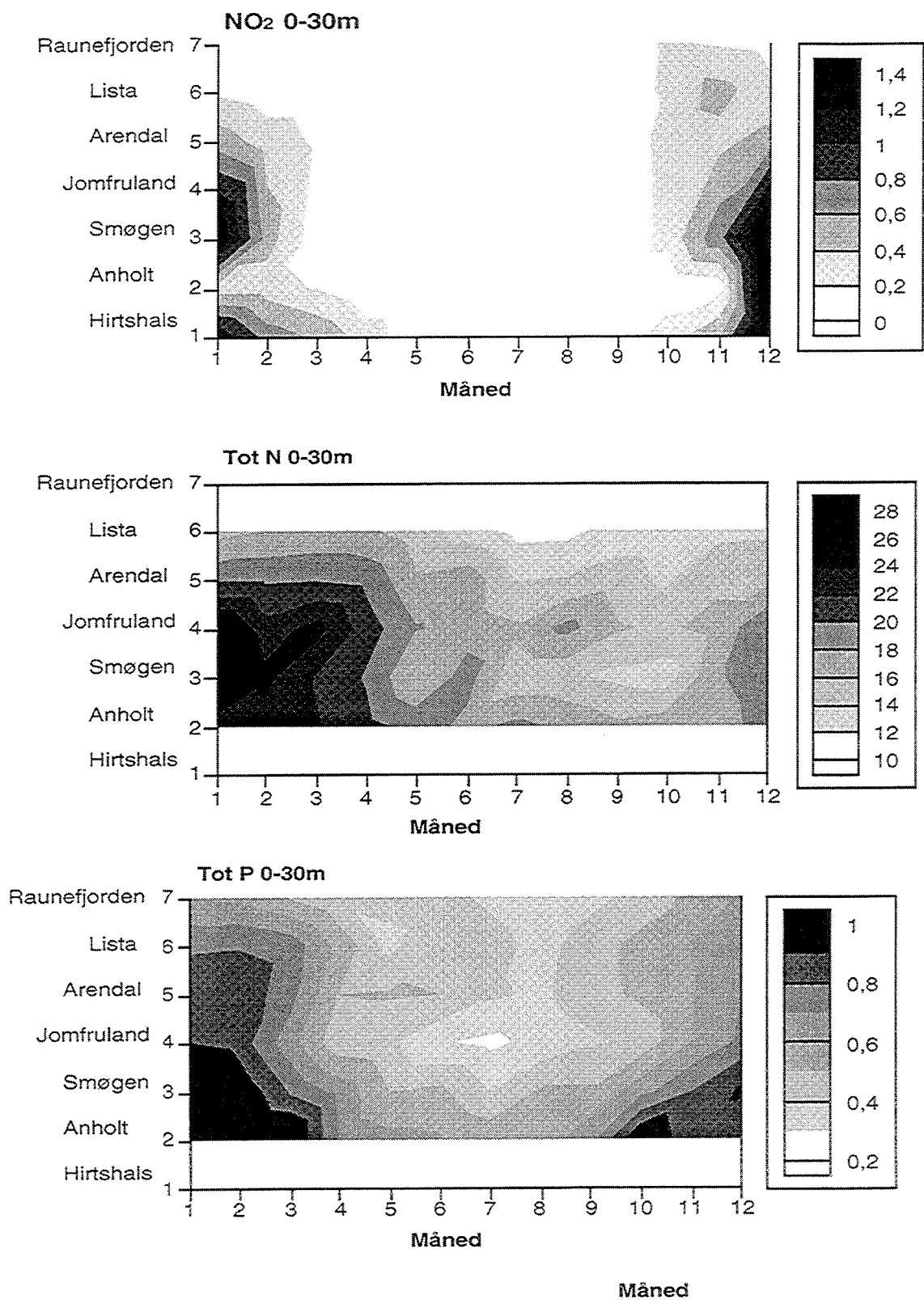


Fig.9 NO₂, Tot N og Tot P 0-30m langs kysten fra Hirtshals til Raunefjorden i middelåret 1988-95.
 (Mean NO₂, Tot N and Tot P 0-30 meter along the coast from Hirtshals to Raunefjorden 1988-95)

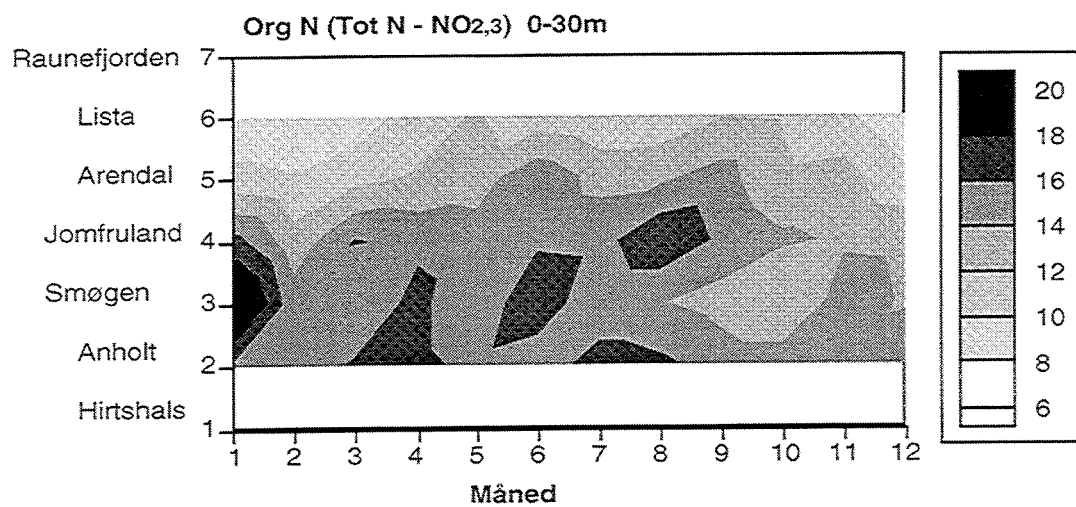
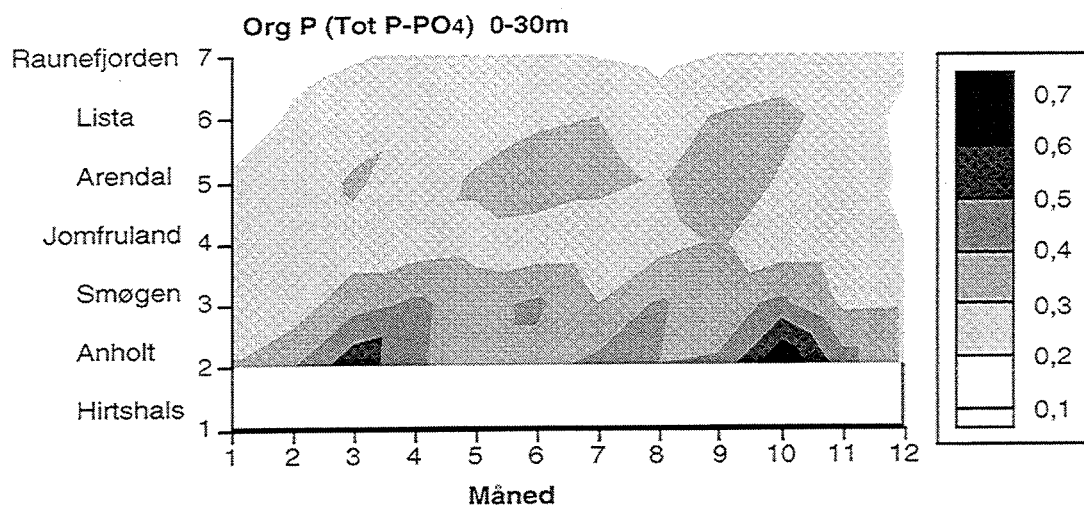
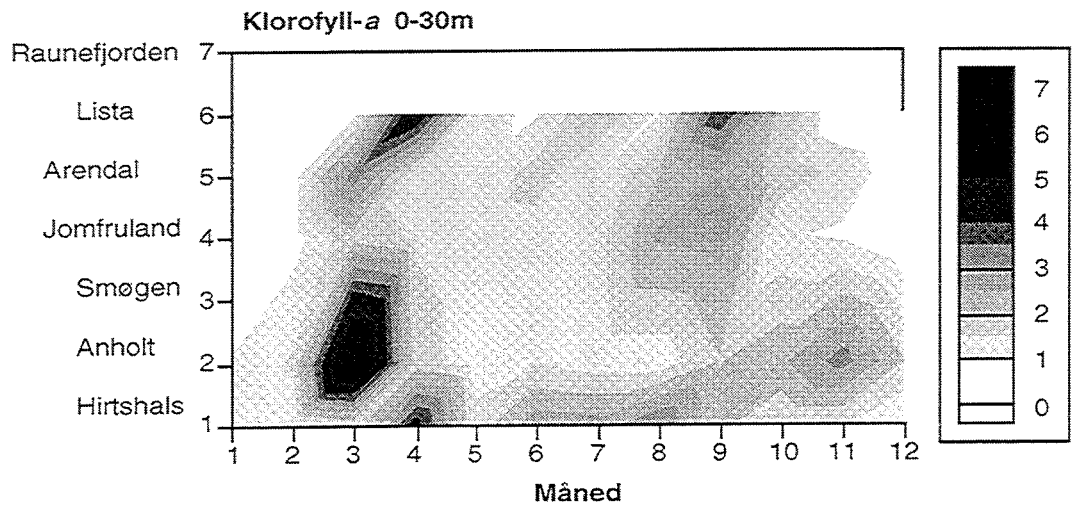


Fig.9 Klorofyll-a, Org P (TotP-PO₄) og Org N (TotN-NO_{2,3}) 0-30m langs kysten fra Hirtshals til Raunefjorden i middelåret 1988-95. (Mean Chlorophyll-a, Org P (TotP-PO₄) and Org N (TotN-NO_{2,3}) 0-30 meter along the coast from Hirtshals to Raunefjorden 1988-95)

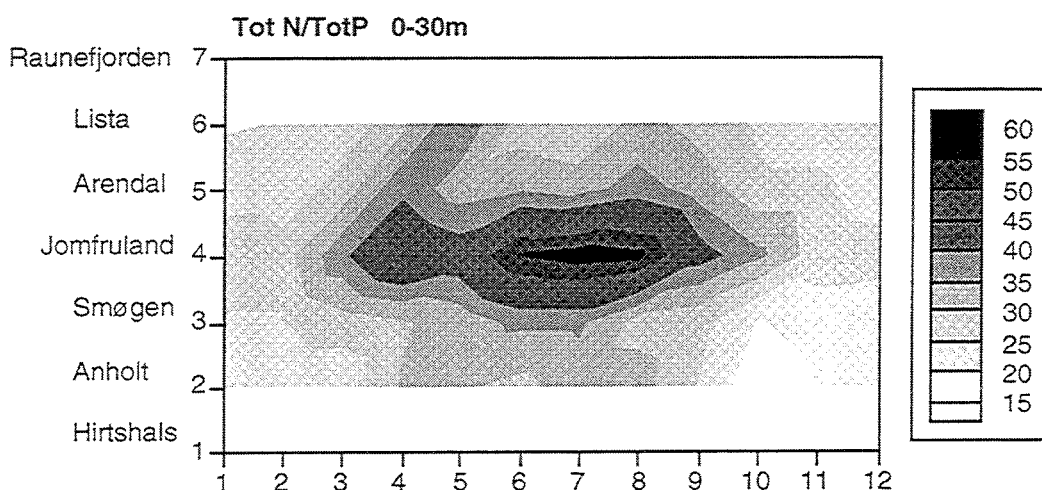


Fig.10 forts TotN/TotP 0-30m langs kysten fra Hirtshals til Raunefjorden i middelåret 1988-95.
 (Mean Tot N/TotP 0-30 meter along the coast from Hirtshals to Raunefjorden 1988-95)

Org P (Tot P-PO₄), Org N (Tot N-NO_{2,3}) og TotN/TotP (fig 6 og 10)

Org P og Org N hadde betydelig mindre årsvariasjoner enn de uorganiske næringssaltene. Reduksjonen i konsentrasjonene fra Kattegat til Sørlandskysten viser imidlertid samme mønster som de uorganiske næringssaltene med høyest konsentrasjoner langs kysten fra Kattegat til omlag Arendal og gradvis lavere konsentrasjoner vest for Arendal.

TotN/TotP i 0-30m hadde maksimale verdier fra juni til september og hadde også relativt høye verdier ved Arendal og Lista i april-mai. Ved Jomfruland varierte TotN/TotP mellom 25 (vinter) og 60 (sommer), mens Arendal og Lista varierte mellom 20 (vinter) og ca 37 (vår).

3.3 Tidsvariasjoner og langtidsutvikling

Hirtshals (st 257) 1988-1996 (fig 11 og 12)

Midlere saltholdighet mellom 0 og 30 meter dyp ved Hirtshals varierte mellom 30.0 og 35.0 med høyeste saltholdigheter om høsten og vinteren og lavest i vår/sommerhalvåret. De høye saltholdighetene om høsten og vinteren viser at det i denne perioden hovedsakelig var innstrømming fra sørlige/sentrale deler av Nordsjøen, mens de lavere saltholdighetene i vår/sommerperioden indikerer resirkulering av Skagerrak kystvann. Innstrømninger av Jylland kystvann, med saltholdigheter mellom 32.0 og 34.0, fra senhøsten til mai, var preget av høye nærings盐konsentrasjoner og unormalt høye N:P og N:Si utover vinteren og våren.

I perioden 1988-96 var det høyest nitrogenkonsentrasjoner i "flomårene" 1994 og 1995 med maksimumkonsentrasjoner i innstrømmende Jylland kystvann på omlag 40 μM . I den "tørre" vinteren 1996, med liten ferskvannsavrenning til sørlige Nordsjø, var det relativt høye saltholdigheter (≈ 34.5) og lave nitrogenkonsentrasjoner (ca 10.0 μM).

Det var mindre mellomårslige variasjoner i maksimale fosfatkonsentrasjoner (0.8-1.1 μM) og konsentrasjonene bygget seg også i større grad opp før årsskiftet. De tildels store variasjonene i tilførsler av ferskvann til sørlige Nordsjø mellom 1988 og 1996 hadde liten innvirkning på maksimumkonsentrasjonene av fosfat. Årsmaksimum for silikat varierte mellom 6 og 20 μM med høyest konsentrasjon i "flomårene" 1994 og 1995 og lavest den "tørre" vinteren 1996. Nitrit hadde høyest konsentrasjon omkring årsskiftet og varierte betydelig fra år til år. I flomårene 1994 og 1995 var maksimale nitritkonsentrasjoner omlag 2.0 μM , mens konsentrasjonen vinteren 1996 var nede i 0.6 μM . Maksimale klorofyll-*a* konsentrasjoner varierte fra år til år mellom 4 og 8 $\mu\text{g/l}$, med høyest konsentrasjoner i 1988 og 1994. I vinter/vår perioden varierte årsmaksimum i N:P mellom 14 og 50-60, med høyeste N:P i "flomårene" 1994-1995 og laveste vinteren 1996. Maksimale N:Si varierte mellom 1.5 og omlag 10.0 med høyeste verdier i 1988 og i 1990. I flomårene 1994/1995 var maksimale N:Si forholdsvis lave (2.0-3.0).

Arendal (st 201) 1990-1996 (fig 13 -15)

Saltholdighetene i 0-30 meter ved Arendal var markert lavere enn ved Hirtshals og varierte mellom 27.0 og 34.0, med høyest saltholdighet rundt årsskiftet. Vi ser også at "nærings盐pulsene" ved Hirtshals i perioden fra senhøst til vår raskt forplantet seg til kystområdet utenfor Arendal. Årsmaksimum i nærings盐 i kystvannet utenfor Arendal inntraff også før den lokale vårflo i Skagerrak i mai-juni. Årsmaksimum for nitrogen inntraff i løpet vinteren og våren og varierte mellom 6 og 16 μM , med høyest årsmaksimum i "flomåret" 1995 og delvis i 1994 og laveste den "tørre" vinteren 1996.

Som ved Hirtshals varierte maksimalkonsentrasjonene av fosfat relativt lite fra år (0.6-0.8 μM) og det var også liten forskjell mellom "ekstremårene" 1994/95 og 1996. Maksimalkonsentrasjonene i silkat varierte mellom 5.5 og 10 μM og var i motsetning til ved Hirtshals tilsynelatende lite påvirket av år til år variasjoner i ferskvannstilførselen til sørlige Nordsjø.

Årsmaksimum i nitrit varierte i perioden mellom 0.4 og 1.4 μM og inntraff, som ved Hirtshals, nær årsskiftet i perioder med relativt høy saltholdighet (33.0-34.0). Høyeste konsentrasjon i perioden ble observert senhøsten 1994. Årsmaksimum i klorofyll-*a* varierte mellom 2-3 og 8-10 $\mu\text{g/l}$ med høyest konsentrasjoner i mars 1994 og 1996.

Maksimal N:P, mellom ca 15 og 40, inntraff vanligvis om våren med høyest maksimum i "flomårene" 1994-1995 og lavest maksimum den "tørre" vinteren 1996. Om våren var det også et markert underskudd på silkat relativt nitrogen, med høyeste N:Si forhold (ca 6.0) i flomårene 1994-1995 og laveste (1.0) vinteren 1996.

Tot N og Tot P hadde vanligvis sitt årsmaksimum i løpet av vinteren. I perioden varierte Tot N mellom ca 20 og 28 μM med høyeste årsmaksimum i de to "flomårene" 1994 og 1995. Tot P hadde betydelig mindre år til år variasjoner (0.8-1.2 μM) og variasjonene i ferskvannstilførsel til sørlige Nordsjø hadde tilsynelatende liten innvirkning på maksimalkonsentrasjonene ved Arendal.

For partikulært karbon varierte maksimale konsentrasjoner i sommerhalvåret mellom 20 og 30 μM med høyest konsentrasjoner i 1995 og 1992.

Langtidsutvikling i kystområdet ved Arendal (fig 16)

Vi har valgt å sammenligne næringssaltobservasjoner for perioden 1975-80 med perioden 1990-95. (Indeks 80 i teksten menes data før 1980 og 90 data etter 1990).

I perioden fra januar til mai var $(\text{NO}_{2,3})_{90}$ 3.0-5.0 μM høyere enn $(\text{NO}_{2,3})_{80}$, med størst avvik i mars/april. Fra mai og ut året lå $(\text{NO}_{2,3})_{90}$ nær eller lavere enn $(\text{NO}_{2,3})_{80}$. PO_4 ₉₀ lå litt over PO_4 ₈₀ fra desember til april, med største avvik i januar på ca 0.12 μM . Resten av året var fosfatkonsentrasjonene lavere etter 1990. N:P₉₀ var klart høyere i perioden fra februar til juni, med maksimum avvik i april på ca 13 N:P enheter. Fra juni og ut året lå N:P₉₀ litt under eller var tilnærmet lik N:P₈₀. Tot N₉₀ var klart høyere gjennom hele året, med største avvik fra januar til april og i august/september på 5.0-7.0 μM . I middel for året hele året lå Tot N₉₀ ca 35 % over Tot N₈₀. Tot P₉₀ lå høyere enn Tot P₈₀ i perioden fra januar til oktober, med størst avvik i januar/februar på ca 0.2 μM . $\text{NO}_{2,3}$ og N:P i Raunefjorden (1980-94) lå nær opp til forholdene i kystvannet ved Arendal i perioden 1975-1980, mens Tot P og særlig PO_4 var markert lavere. Det var også en økning i TotN:Tot P i kystvannet ved Arendal etter ca 1975-80.

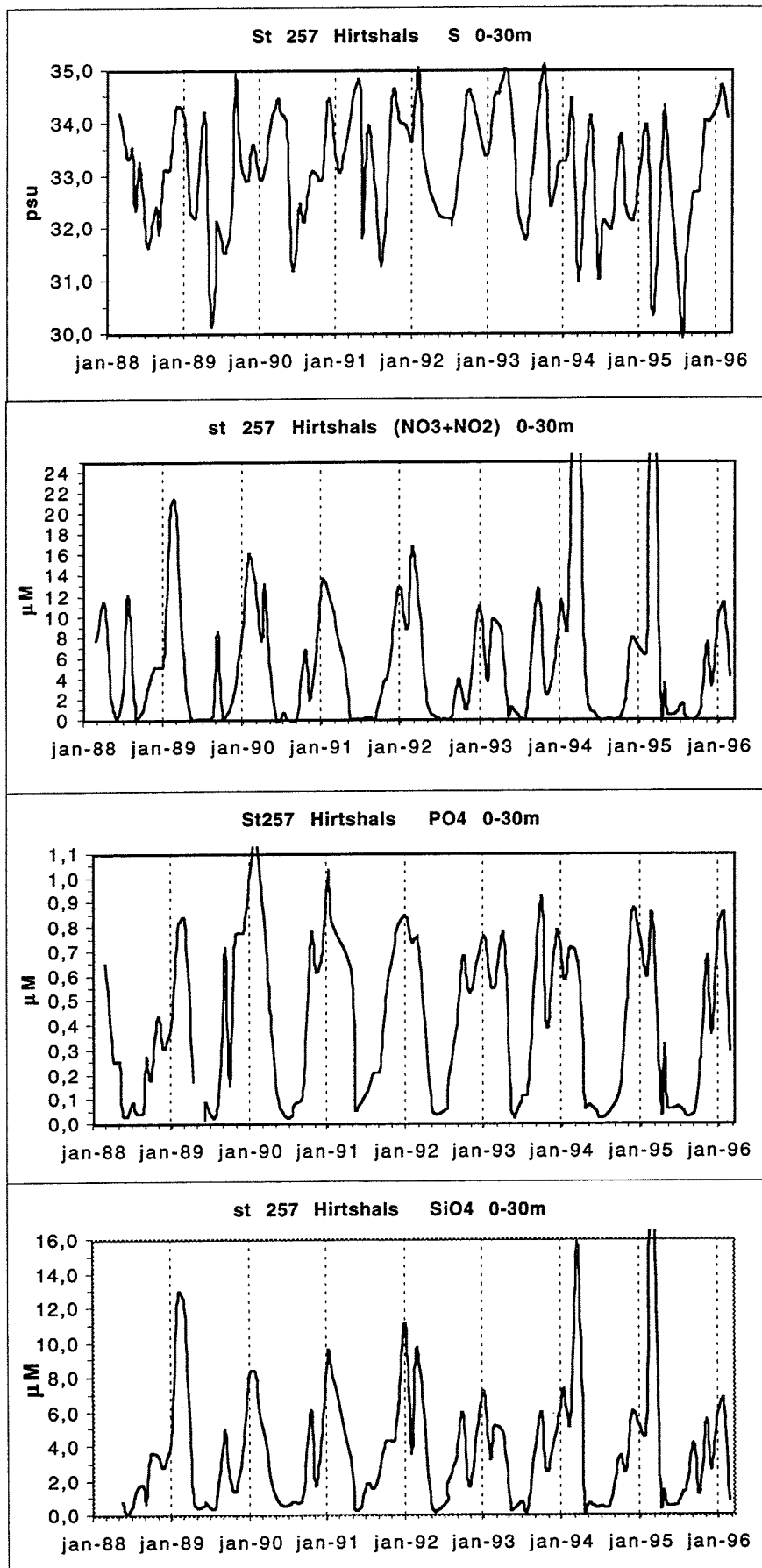


Fig.11 Tidsvariasjoner i saltholdighet, N03+NO2, PO4 og SiO4 0-30m ved Hirtshals st 257 i perioden 1988-1996. (Salinity, N03+NO2, PO4 og SiO4 0-30 meter at Hirtshals st 257 in the period 1988-1996).

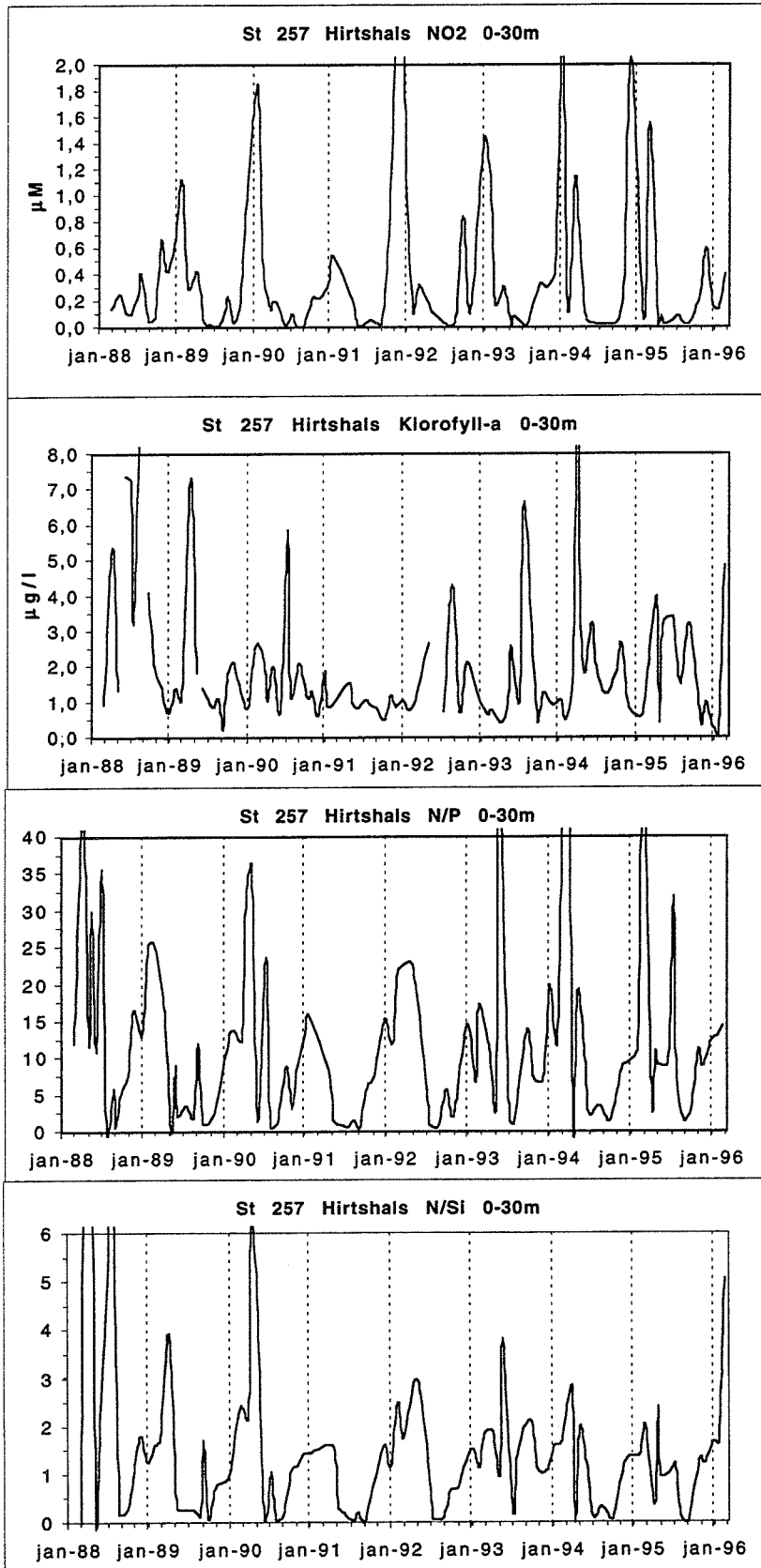


Fig.12 Tidsvariasjoner i NO₂, klorofyll-a og N:P og N:Si 0-30m ved Hirtshals st 257 i perioden 1988-1996. (NO₂, Chlorofyll-a og N:P og N:Si 0-30 meter at Hirtshals st 257 in the period 1988-1996).

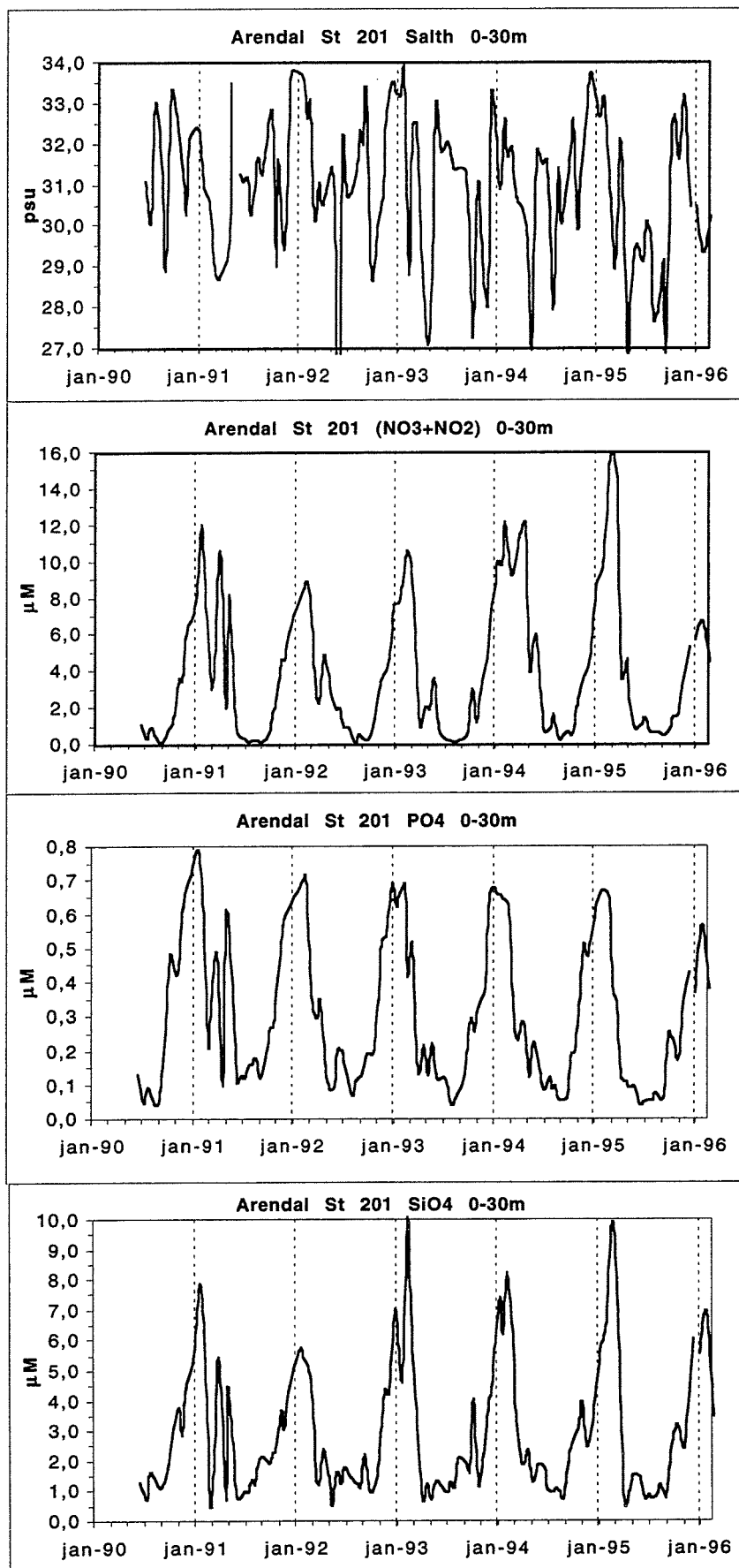


Fig.13 Tidsvariasjoner i saltholdighet, N03+NO2, PO4 og SiO4 0-30m ved Arendal st 201 i perioden 1990-1996. (Salinity, N03+NO2, PO4 and SiO4 0-30m at Stn 201 Arendal 1990-95).

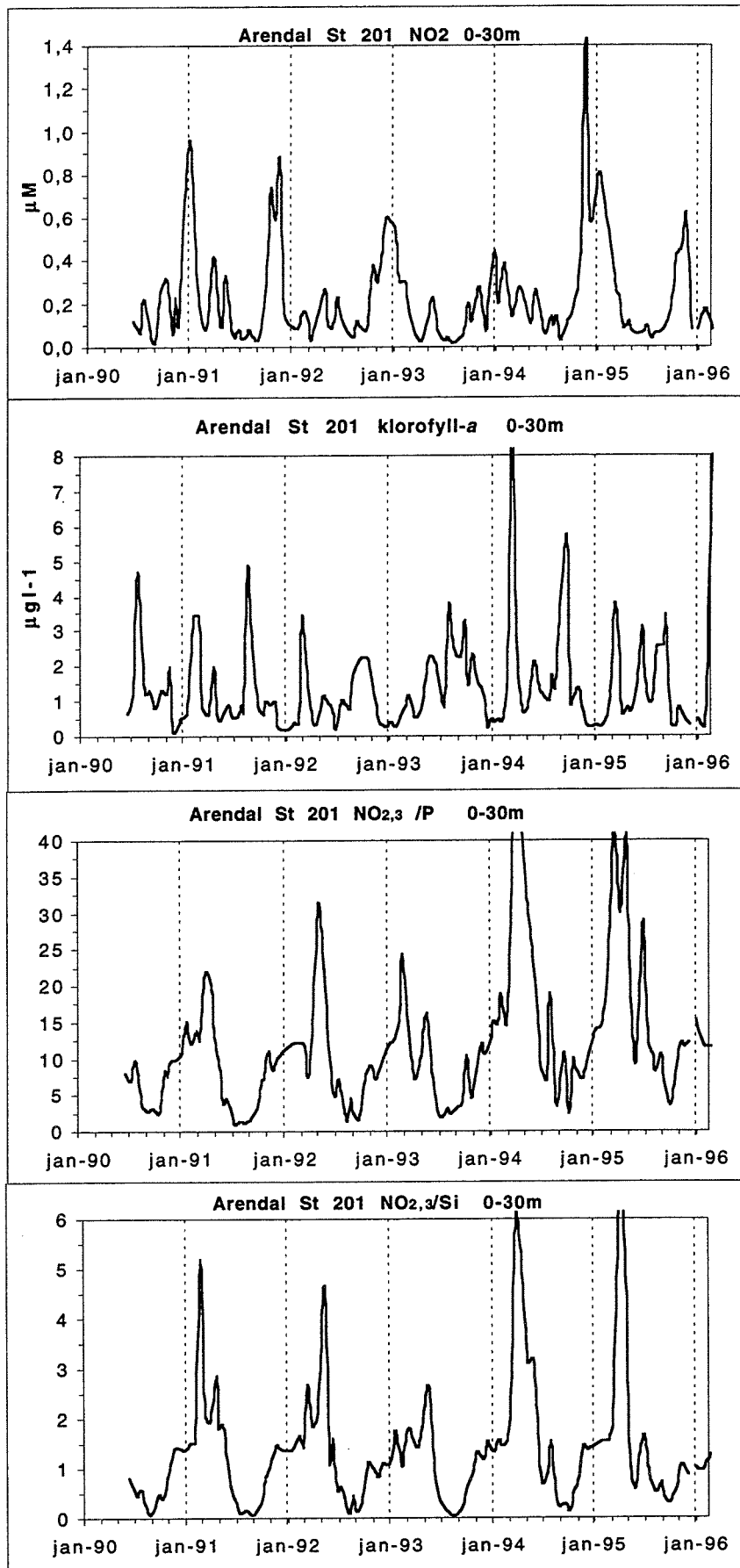


Fig.14 Tidsvariasjoner i NO₂, klorofyll-a, N:P og N:Si 0-30m ved Arendal st 201 i perioden 1990-1996 (NO₂, Chlorophyll-a, N:P og N/Si 0-30m at Stn 201 Arendal 1990-95)

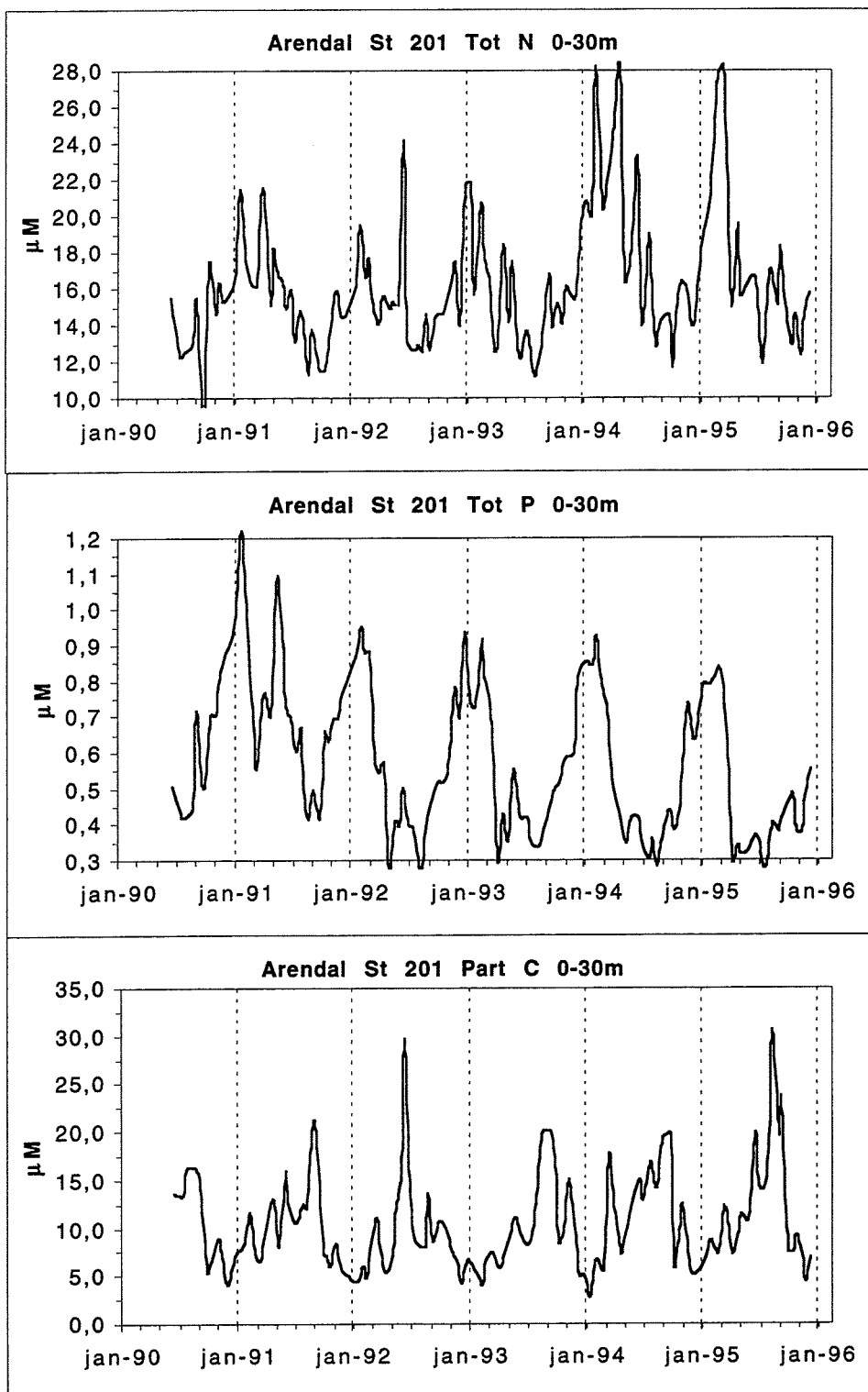


Fig.15 Tidsvariasjoner i Tot N, Tot P og Part C 0-30 m ved Arendal st 201 i perioden 1990-1996.
 (Tot N, Tot P og Part C 0-30 meter at Stn 201 Arendal 1990-95)

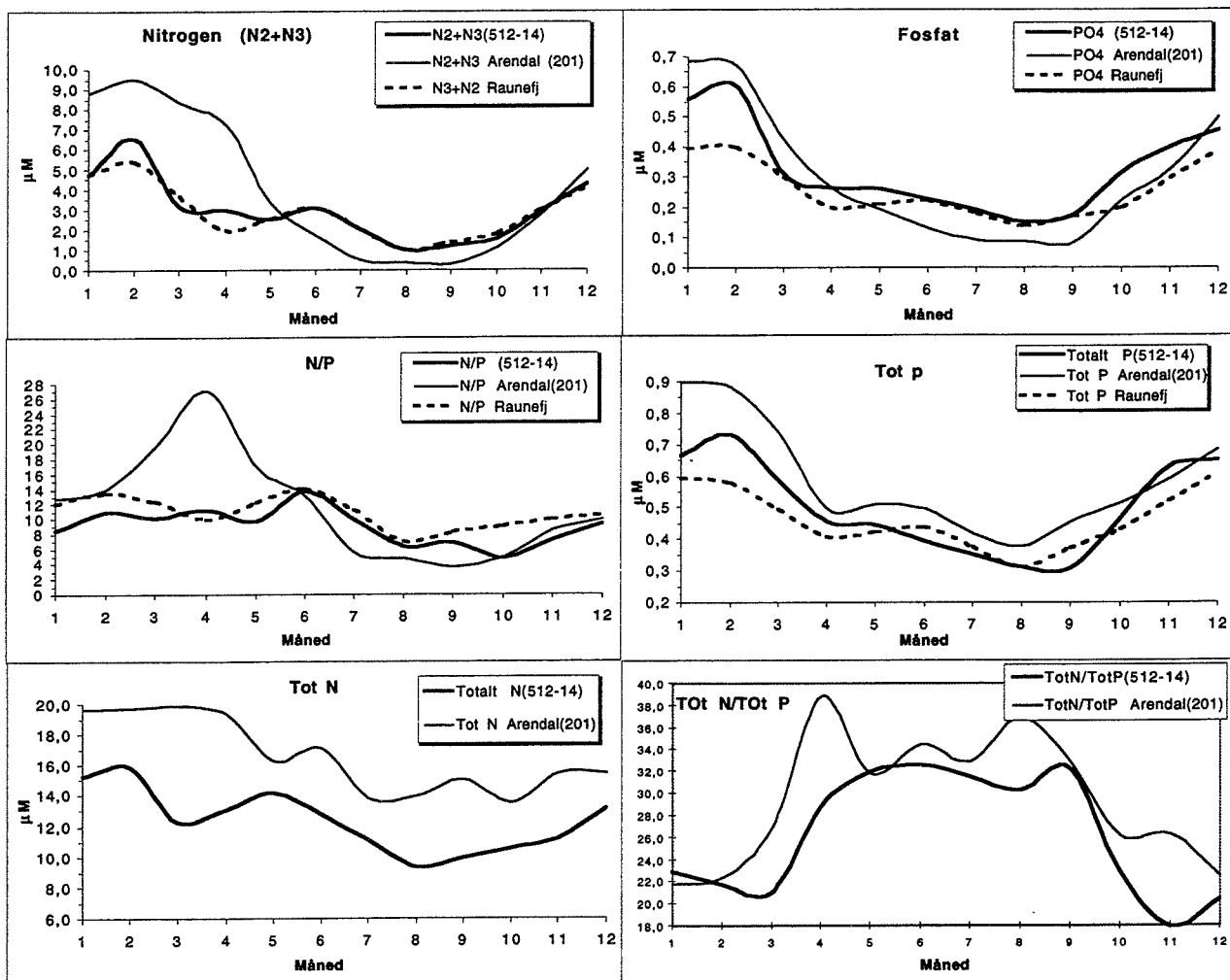


Fig.16 Månedmidler for NO_3+NO_2 , PO_4 , N:P, Tot P og Tot N 0-30m Arendal 1975-80 (st 512-14), Raunefjorden og Arendal (st 201) 1990-1995. (Monthly means NO_3+NO_2 , PO_4 , N:P, Tot P og Tot N 0-30m at Stn 512-514 Arendal (1975-80), Arendal Stn 201 and Raunefjorden 1990-95)

4. DISKUSJON

Ved klassifisering av miljøkvalitet er avvik fra "naturlilstand" definert som forholdet mellom målt tilstand og antatt/observert "naturlilstand" (Rygg og Thelin, 1993). $[(\text{Avvik}-1)*100 \text{ gir } \% \text{ økning/reduksjon relativt en referanseverdi}]$.

- avvik mindre enn 1.25 (< 25 % økning) blir regnet som "lite",
- avvik mellom 1.25 og 1.6 (25-60 % økning) "moderat",
- avvik mellom 1.6 og 2.2 (60-120 % økning) "markert",
- avvik over 2.2 (> 120% økning) "sterkt".

Tabell 2. Avvik Arendal og Lista (1990-95) relativt Arendal (1975-80). (Ratio between measured values Arendal (stn 201), Lista (1990-95) and Arendal (Stn 512-514) (1975-80))

ARENDAI(st 201)

MÅNED	PO4	NO _{2,3}	N/P	TotP	TotN
1	1,22	1,87	1,53	1,35	1,29
2	1,12	1,45	1,30	1,21	1,25
3	1,36	2,66	1,96	1,27	1,62
4	1,00	2,42	2,41	1,10	1,48
5	0,75	1,32	1,77	1,16	1,15
6	0,59	0,56	0,95	1,26	1,34
7	0,49	0,25	0,55	1,19	1,25
8	0,57	0,44	0,76	1,23	1,50
9	0,49	0,27	0,55	1,48	1,51
10	0,72	0,74	1,03	1,12	1,28
11	0,82	0,97	1,19	0,94	1,38
12	1,11	1,18	1,06	1,06	1,17
jan- mai	1,09	1,95	1,79		
året				1,20	1,35

Tabell 2 forts.

LISTA

MÅNED	PO ₄	NO _{2,3}	N/P	TOT P	TOT N
1	1,11	1,56	1,41	1,17	1,00
2	0,97	1,17	1,22	1,08	1,00
3	1,72	2,44	1,42	1,30	1,33
4	1,11	1,82	1,63	1,26	1,25
5	0,57	1,12	1,95	0,86	1,06
6	0,84	0,69	0,82	1,19	1,01
7	0,79	0,46	0,63	1,29	1,01
8	0,72	0,82	1,15	1,15	1,22
9	0,80	0,65	0,81	1,45	1,27
10	0,64	0,59	0,92	1,14	1,20
11	0,86	1,05	1,23	0,96	1,19
12	1,09	1,18	1,09	1,02	1,03
jan-mai	1,10	1,62	1,53		
året				1,16	1,13

Ut fra månedsmidlene for Lista og Arendal har vi beregnet avviket for perioden 1990-95 relativt Arendal (1975-80) (tabell 2). Ved Arendal varierte avviket for uorganisk nitrogen NO_{2,3}) i perioden fra januar til mai mellom 2.6 og 1.3, med største avvik i mars og april. Midlere avvik for januar-mai var omlag 2.0, dvs en omlag dobling av nitrogenkonsentrasjonene i kystvannet etter 1990 relativt perioden 1975-80. For fosfat (PO₄) var avviket markert lavere enn for nitrogen, med største avvik på ca 1.3 i mars og midlere avvik for perioden januar-mai var ca 1.1. Resten av året, med unntak av desember, var fosfatkonsentrasjonene i kystvannet ved Arendal etter 1990 lavere enn i perioden 1975-80. For N:P var det også størst avvik i perioden fra januar til mai, med største avvik i april på ca 2.4 og midlere avvik for perioden var omlag 1.8. Fra juni til desember var N:P etter 1990 lavere eller tilnærmet likt N:P for perioden 1975-80. Etter 1990 var konsentrasjonene av totalnitrogen (TotN) i kystvannet ved

Arendal høyere gjennom hele året relativt perioden 1975-80 og avviket varierte mellom ca 1.2 og 1.6. Midlere årsavvik var ca 1.35, dvs ca 35% økning av Tot N etter 1990 relativt perioden 1975-80. Totalfosfor (Tot P) var også høyere etter 1990 med størst avvik i september på 1.5 i september og midler årsavvik på ca 1.2. Det relativt beskjedne avviket i fosfat og Tot P relativt nitrogen i kystvannet ved Arendal hadde trolig sammenheng med den ulike tidsutviklingen i nitrogen og fosfat i bla Tyskebukta etter ca 1960, hvor fosfat hadde en jevn økning av fram til ca 1982 for deretter å avta, mens nitrogen først økte markert etter ca 1980.

For Lista (1990-95) var det også størst avvik for nitrogen i perioden fra januar til mai, med største avvik på ca 2.4 i mars og midlere avvik for perioden på ca 1.6 (tabell 2). Som ved Arendal var det fra juni og ut året stort sett lavere nitrogenkonsentrasjoner i kystvannet ved Arendal etter 1990. For fosfat var det et avvik på 1.7 i mars men ellers var fosfat etter 1990 likt eller lavere Arendal 1975-80. Midlere avvik i N:P i perioden fra januar til mai var ca 1.6, mens N:P ellers i året var lavere eller tilnærmet likt perioden 1975-80. Avviket for totalnitrogen (TotN) varierte mellom 1.0 og 1.3 gjennom året med midlere årsavvik på 1.13. Midlere årsavvik for Tot P etter 1990 var ca 1.16, med størst avvik i september på ca 1.4.

Midlere relative fortytning av fra Torungen til Utsira er beregnet ved bruk av den numeriske havmodellen NORWECOM (Søiland et al, 1996) basert på forholdene i 1993 og tabell 3 viser at midlere avvik for NO_2+NO_3 i perioden januar-mai reduseres fra ca 2.0 ved Arendal (se tabell 2) til ca 1.6 ved Lista og 1.2 ved Jærens rev. Reduksjonen i avviket til 1.6 ved Lista stemmer godt overens med observerte avvik for NO_2+NO_3 ved Lista (tabell 2) og beregningene i tabell 3 viser at avviket i $\text{NO}_{2,3}$ faller under grensen for "lite" avvik mellom Egersund og Jærens Rev. Det var tilsvarende god overenstemmelse mellom beregnet og observert avvik ved Lista for N:P og Tot N og i middel for perioden januar-mai gikk avviket for N:P under grensen for "lite" påvirket ved omlag Egersund, mens årsmiddel for Tot N nådde denne grensen like før Kristiansand (Oksøy). I månedene med størst avvik (se tabell 2) kan grensen for "lite" avvik strekke seg opp til Karmøy for NO_2+NO_3 og N:P mens grensen for Tot N kan strekke seg til Lista/Egersund. Beregningen foran er basert på en fysisk fortytning av næringssaltene slik at avviket næringssaltkonsentrasjonene, særlig under planktonblomstringen om våren, er noe mindre enn beregnet avvik.

Observasjonene viser at midlere avvik i NO_2+NO_3 og N:P i kystvannet ved Arendal fra januar til mai etter 1990 relativt perioden 1975-80 må betegnes som "markert" i henhold til klassifisering av miljøkvalitet gitt foran. For Tot N var midlere årlig avvik "moderat", mens avviket i Tot P og PO_4 må betegnes som "lite". Ved Lista var påvirkningsgraden redusert og

avviket i NO_2+NO_3 og N:P var “moderat”, mens PO_4 , Tot P og Tot N var “lite” påvirket. De største endringene i PO_4 og Tot P inntraff trolig før målingene startet i 1975 pga av den ulike utvikling i tilførsler av PO_4 og NO_2+NO_3 til bla Tyskebukta (se kap.1). I middel for perioden januar til mai var grensen for “lite” påvirket mellom Egersund og Jærens rev for NO_2+NO_3 omlag Egersund for N:P og for Tot N (årsmiddel) like øst for Kristiansand.

Tabell 3 Beregnet relativ fortykning i kystvannet 0-30m 1993 (NORWECOM), beregnet reduksjon i avvik for NO_2+NO_3 , N:P og Tot N fra Oksøy til Utsira 0-30m (*Calculated relative dilution of coastal water 0-30m 1993 (NORWECOM) and calculated reduction in ratio of $\text{NO}_{2,3}$, N:P and Tot N Arendal (1990-95) relative Arendal (1975-80)*)

Sted	Relativ	Avvik $\text{NO}_{2,3}$	Avvik N:P	Avvik Tot N
Torungen	1.0	2.0	1.8	1.4
Oksøy	0.87	1.74	1.56	1.21
Lindesnes	0.83	1.66	1.49	1.16
Lista	0.82	1.64	1.47	1.14
Egersund	0.71	1.42	1.27	1.0
Jærens rev	0.6	1.20	1.08	
Utsira	0.5	1.0		

4.2 Vannmasser og blandingsforhold

Vannmassene i de øvre 30 meter ved Arendal er hovedsakelig en blanding mellom innstrømmende vann ved Hirtshals og fra Kattegat overflatelag. I flomperioden om våren (mai-juni) er de øvre 10 meter også påvirket av lokal ferskvannsavrenning fra norskekysten. For å vurdere i hvor stor grad næringssaltene i de øvre 30 meter ved Arendal er styrt av blandingen mellom innstrømmende vann fra Kattegat/Østersjøen og Hirtshalsområdet, er månedsmidlene for saltholdighet plottet mot månedsmidler for nitrogen. I middel for hele året var det relativt høy lineær korrelasjon ($R^2 = 0.82$) mellom nitrogen og saltholdighet (tabell 4). Dette viser at kystvannet ved Arendal i stor grad er et fysisk blandingprodukt mellom “Kattegatvann” og “Hirtshalsvann”. I mai og juni var korrelasjonen relativt liten ($R^2 = 0.3-0.5$) men også i månedene mars, august og oktober var den lavere enn årsmiddel ($R^2 = 0.6-0.8$).

Den prosentvise fordeling av “Hirtshalsvann” og “Kattegatvann” gjennom året er beregnet ut fra månedsmidlene for saltholdighet ved Hirtshals, i Kattegat (Anholt) og ved Arendal (st 201). Tabell 4 viser at i middel for året inneholdt kystvannet ved Arendal ca 80 % “Hirtshalsvann” og

ca 20% "Kattegatvann". Månedsmidler for nitrogen, fosfat og silikat ved Arendal (N_{Ar}) kan nå beregnes ut fra den prosentvise fordeling av "Hirtshalsvann" og "Kattegatvann" og observerte

Tabell 4 Lineær korrelasjon (R^2) mellom midlere nitrogen (NO_2+NO_3) og saltholdighet og beregnet % midlere innhold av "Hirtshalsvann" og "Kattegat overflatevann" ved Arendal 0-30m (1980-95). (*Linear correlation (R^2) between mean (NO_2+NO_3) and salinity. Calculated % mean content of "Hirhalswater" and "Kattegat surface water" outside Arendal (Stn 201) 1980-95*)

Måned	R^2	% Hirtsvhv	% Kattgv
1	0,98	83	17
2	0,99	77	23
3	0,79	77	23
4	0,96	75	25
5	0,52	72	28
6	0,33	83	17
7	0,98	91	9
8	0,62	88	12
9	0,94	86	14
10	0,75	83	17
11	0,99	82	18
12	0,95	80	20
Året	0,82	81	19

midlere næringssaltkonsentrasjoner i samme vannmasser (N_{Hirts} og N_{Kattg}).

$$N_{Ar} = (\%Hirtsh * N_{Hirts} + \%Kattg * N_{Kattg}) / 100 \quad (1)$$

Fig.17 viser at beregnete konsentrasjoner av nitrogen, fosfat og silikat i mars måned var høyere enn observerte konsentrasjoner ved Arendal. Forklaringen på avviket er trolig det høye næringssaltforbruket i kystvannet under vårbloomstringen som normalt foregår på denne tiden i østlige deler av Skagerrak (se fig.2 og 6). Fra mai til juli var det derimot noe høyere observerte konsentrasjoner av nitrogen og fosfat ved Arendal i forhold til den rene fysiske blanding mellom "Hirtshalsvann" og "Kattegatvann". Avviket skyldes trolig den økte ferskvannstilførselen (vårflom) til indre Skagerrak i perioden. Utover høsten var det også et visst underskudd på fosfat og silikat som kan ha sammenheng med økt primærproduksjon fra august til oktober i indre Skagerrak (fig.6). Dette viser at næringssaltforholdene i de øvre 30 m av kystvannet ved Arendal i hovedsak var var bestemt av blandingen mellom innstrømmende vann

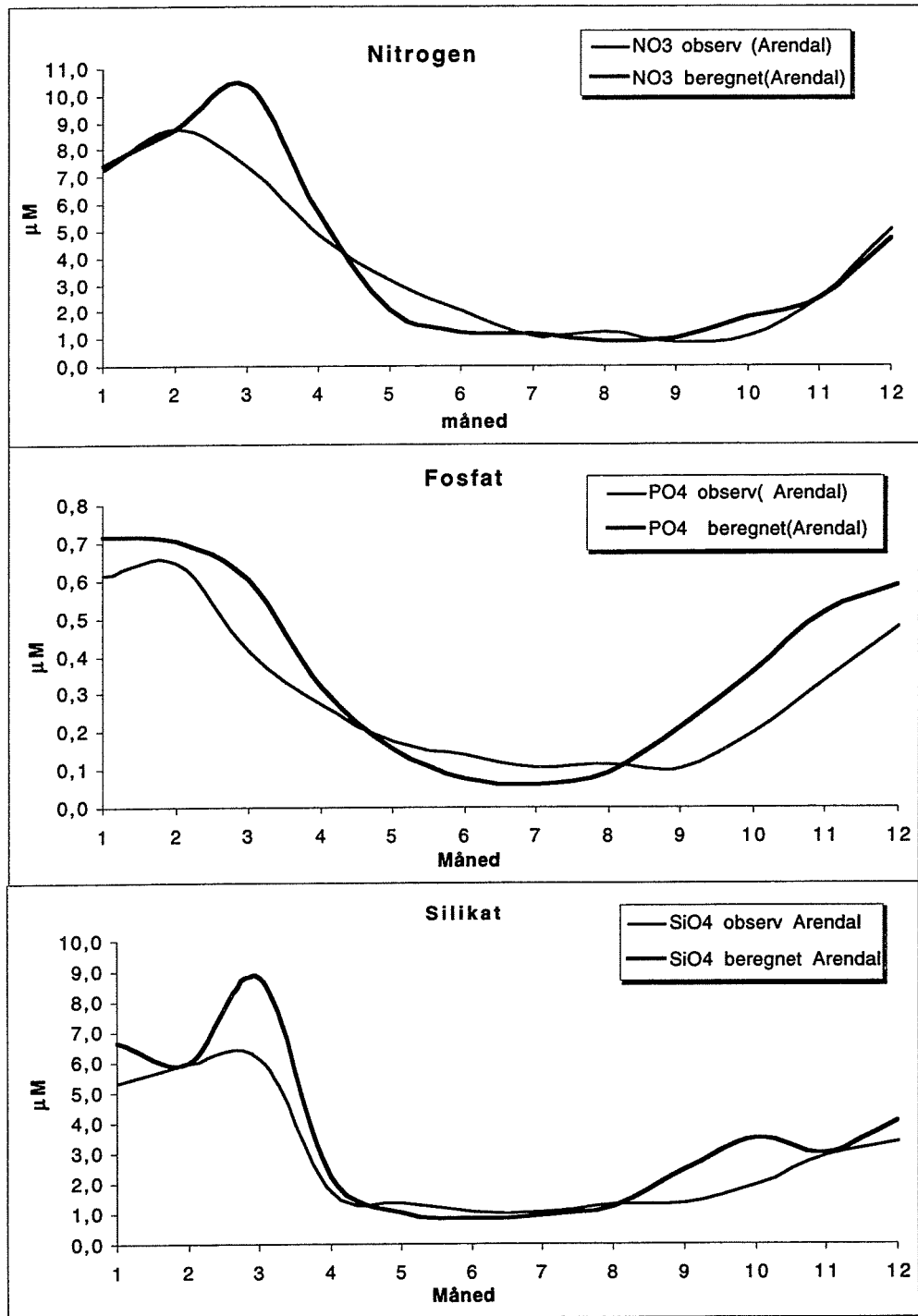


Fig.17 Beregnete og observerte månedsmidler (1980-95) av NO_3+NO_2 , PO_4 og SiO_4 0-30m i kystvannet ved Arendal (st 201). (Observed and calculated monthly means of NO_3+NO_2 , PO_4 og SiO_4 0-30m in the coastal water at Arendal (Stn 201)).

fra Kattegat/Østersjøen og Hirtshals- området. Særlig i mars måned, under vårbloomstringen i indre Skagerak, ble nærings salt- konsentrasjonene redusert på veien fra Kattegat/Hirtshals til Arendal og det var også en viss reduksjon av PO_4 og SiO_4 fra august til oktober grunnet økt primærproduksjon utover sensommeren og høsten. I perioden mai-juli, trolig i tilknytning til vårflommen fra bla norske elver, var det en liten økning i NO_2+NO_3 og PO_4 .

I et normalår er det størst innstrømning av Jylland kystvann til Skagerrak i perioden fra oktober til mai (se kap 1). Jylland kystvann er et blandingsprodukt mellom Tyskebukt vann og vann fra sørlige Nordsjøen. I Skagerrak blander Jylland kystvann seg med utstrømmende brakkvann fra Kattegat og blandingsvannet danner Skagerak kystvann som finnes igjen feks utenfor Arendal (se fig.1) .

Tabell 5 Typiske saltholdigheter i Tyskebukt vann (S_{Tb}), sørlig Nordsjøvann (S_{Sn}), Jylland kystvann (S_{Jv}) og i kystvannet ved Arendal (S_{Ar}) i en vinter og vårsituasjon. (Typical salinity in the "German Bight Water" (S_{Tb}), Southern North Sea Water" (S_{Sn}) and in the coastal water outside Arendal (S_{Ar}) in a winter and spring situation)

	S_{Tb}	S_{Sn}	S_{Jv}	S_k	S_{Ar}
Vår	30	34.7	33.5	20	30
Vinter	30	34.7	33.5	22	31

På samme måte som foran kan vi for situasjoner med innstrømning av Jylland kystvann i vinter og vår perioden beregne det prosentvise innhold av Kattegatvann, Tyskebukt vann og sørlig Nordsjøvann i kystvannet utenfor Arendal ut fra saltholdighetene i de respektive vannmasser (tabell 5).

$$\% \text{ Kattegatvann ved Arendal} = (S_{Jv} - S_{Ar}) / (S_{Jv} - S_k) * 100 \quad (2)$$

Hvor S_{Jv} = saltholdighet i Jylland kystvann S_k = saltholdighet i Kattegat øvre lag (0-10m) og S_{Ar} = saltholdighet Arendal øvre lag (0-30m).

$$\% \text{ Tyskebukt vann ved Arendal} = [1 - (S_{Jv} - S_{Ar}) / (S_{Jv} - S_k)] * (S_{Sn} - S_{Jv}) / (S_{Sn} - S_{Tb}) * 100 \quad (3)$$

Hvor S_{Sn} = saltholdighet sørlig Nordsjøvann og S_{Tb} = saltholdighet Tyskebukt vann.

Beregningene viser at kystvannet i de øvre 30 meter ved Arendal, under innstrømningsperioder av Jylland kystvann vinter og vår, inneholder henholdvis 22 og 26 % Kattegatvann, 20 og 19 % Tyskebukt vann og 58 og 55% sørlig Nordsjøvann (tabell 6). Før mai er det normalt liten

lokal ferskvannstilførsel til Skagerrak, slik at bidrager derfra er ubetydelig.

Ut fra den midlere prosentfordeling av vannmassene i kystvannet ved Arendal og observerte næringsstoffs-konsentrasjoner i Tyskebukt vann, sørlig Nordsjøvann og Kattegatvann kan vi nå beregne % bidrag fra de enkelte vannmasser ved Arendal etter 1980 og midlere konsentrasjoner av nitrat+nitrit, fosfat, silikat, N:P og N:Si ved Arendal for en vinter og vårsituasjon før og etter 1970.

Tabell 6. Typisk % innhold av Kattegatvann, Tyskebukt vann og sørlig Nordsjøvann og % bidrag til nitrogen, fosfat og silikat konsentrasjoner vinter/vår i kystvannet ved Arendal (0-30m) etter 1980 i situasjoner med innstrømming av Jylland kystvann til Skagerrak. (*Typical % content of "Kattegat Water", "German Bight Water" and "Southern North Sea Water" and % contribution to nitrate (NO₂+NO₃), phosphate (PO₄) and silicate (SiO₄) in the coastal water (0-30 meter) outside Arendal (Stn 201) after 1980 in situations with inflow of Jutland Coastal Water (German Bight Water) to the Skagerrak.*)

Vanntype	% vann	% nitrogen	% fosfat	% silikat
Kattegat - vinter	22	15	25	23
Kattegat - vår	26	6	18	27
Tyskebukt-vinter	20	74	40	57
Tyskebukt -vår	19	81	45	33
SN - vinter	58	11	35	20
SN - vår	55	13	37	40

Tabell 6 viser at midlere bidrag av Tyskebukt vann i kystvannet ved Arendal, i innstrømningsperioder vinter og vår etter 1980, var henholdsvis 74 og 81 % for uorganisk nitrogen (NO₂+NO₃), 40 og 45% for fosfat (PO₄) og 57 og 33% for silikat (SiO₄). Vi ser også at Kattegat overflatevann bidro med mellom 6 og 15 % til nitratkonsentrasjonene, mens bidraget til fosfat og silikat var større og lå mellom 20 og 27 %.

Tabell 7 viser at de økte konsentrasjonene av nitrat i Tyskebukta etter ca 1980 medførte en markert økning i nitratkonsentrasjonene og unormalt høye N:P og N:Si i kystvannet ved Arendal i vinter - vår perioden. Beregningene av uorganisk nitrogen, fosfat, silikat, N:P og N:Si i tabell 7 er i rimelig god overenstemmelse med observerte midlere forhold i vinter-vårperioden ved Arendal 1975-80 og 1990-95 (fig 6 og 16). Beregnet midlere avvik i NO₂+NO₃, PO₄ og N:P i vinter/vårperioden før og etter 1970 ut fra tabell 7 og observert avvik gitt i tabell 2, viser god overenstemmelse for NO₂+NO₃ og N:P, mens observerte avvik for PO₄ (relativt 1975-80) var mindre enn beregnet avvik (tabell 8 A). Som nevnt foran kan dette forklares med den ulike tidsutviklingen i nitrogen og fosfat i bla Tyskebukta etter ca 1960, hvor fosfat hadde en jevn økning av fram til ca 1982 for deretter å avta, mens nitrogen først økte markert etter ca 1980.

Tabell 8 B viser at når overkonsentrasjonene av nitrogen og fosfat i Tyskebukta etter 1980 reduseres med 50 % (se tabell 7) er beregnet reduksjon i midlere avvik vinter/vår for NO₂+NO₃ i kystvannet ved Arendal redusert fra 2.1 til 1,7 (ca 20%reduksjon i

Tabell 7 Observerte typiske næringssaltkonsentrasjoner vinter og vår i Tyskebukta, sørlige Nordsjøen og Kattegat overflatevann før 1970 og etter ca 1980. Beregnede typiske konsentrasjoner av næringssalter vinter og vår før 1970 og etter 1980 i kystvannet (0-30m) ved Arendal. (Observed typical nutrient concentrations in the German Bight, Southern North Sea and Kattegat surface water in a winter and spring situation before 1970 and after 1980. Calculated typical nutrient concentrations in the coastal water 0-30m outside Arendal (Stn 201) before 1970 and after 1980)

Vinter etter 1980	Nitrogen (NO₃+NO₂)	Fosfat	Silikat	N/P	N/Si
Tyskebukt	37	1,2	25	30,8	1,5
Sørlig Nordsjø	3	0,35	3	8,6	1,0
Kattegatvann	7	0,7	9	10	0,8
Kystv Arendal	10,6	0,6	8,7	17,9	1,2
Vår etter 1980	Nitrogen (NO₃+NO₂)	Fosfat	Silikat	N/P	N/Si
Tyskebukt	37	0,7	5	57	8
Sørlig Nordsjø	2	0,2	2	10	1
Kattegatvann	2	0,2	3	10	0,7
Kystv Arendal	8,6	0,3	2,8	29,3	3,0

Tabell 6 forts.

Vinter før 1970	Nitrogen (NO₃+NO₂)	Fosfat	Silikat	N/P	N/Si
Tyskebukt	16	0,8	20	20	0,8
Sørlig Nordsjø	2	0,2	2	10	1,0
Kattegatvann	5	0,6	7	8	0,7
Kystv Arendal	5,4	0,41	6,7	13,4	0,8
Vår før 1970	Nitrogen (NO₃+NO₂)	Fosfat	Silikat	N/P	N/Si
Tyskebukt	10	0,5	3	20	3,3
Sørlig Nordsjø	2	0,2	2	10	1,0
Kattegatvann	2	0,2	3	10	0,7
Kystv Arendal	3,5	0,26	2,4	13,7	1,4

konsentrasjonene), N:P fra 1.7 til 1.4 (ca 20% reduksjon i N:P) og PO₄ fra 1.3 til 1.2 (ca 8 % reduksjon i konsentrasjonene). Selv med en antatt ca 50% reduksjon i av uorganisk nitrogen og fosfat i Tyskebukta viser beregningene at det fortsatt vil være et “markert” avvik for NO₂+NO₃, mens N:P forholdet reduseres fra “markert” til “moderat” avvik. For fosfat viser beregningene relativt små endringer, fra 1.3 til 1.2 og avviket vil fortsatt være tilnærmet “lite”.

Tabell 8. Observerte (tabell 2) og beregnet avvik (fra tabell 6) for NO₂+NO₃, PO₄ og N:P i kystvannet ved Arendal (0-30m) i en vinter - vårsituasjon. Beregnet avvik for NO₂+NO₃, PO₄ og N:P i kystvannet ved Arendal (0-30m) i en vinter-vårsituasjon ved 50% reduksjon i overkonsentrasjonene for NO₂+NO₃ og PO₄ i Tyskebukt vann. (*Ratios between observed nutrients at Arendal 1990-95 and Arendal 1975-80 (Table 2) and calculated ratios Arendal after 1980 relative Arendal before 1970 (from Table 6) in a winter and spring situation. Calculated ratios with 50% decrease in anthropogenic NO₂+NO₃ og PO₄ concentrations in the German Bight*)

	Observert (rel. 1975-80)	Beregnet (rel.før1970)	Beregnet (50% reduksjon) (rel.før1970)
Avvik NO ₂₊₃	1,9	2,1	1,7
Avvik PO ₄	1,1	1,3	1,2
Avvik N:P	1,8	1,6	1,4

Konklusjoner:

* Observasjonene viser at midlere avvik i NO_2+NO_3 og N:P i kystvannet ved Arendal fra januar til mai etter 1990 relativt perioden 1975-80 må betegnes som ”markert” (ca 100% økning) i henhold til SFTs klassifisering av miljøkvalitet. For Tot N var midlere årlig avvik ”moderat”(ca 35% økning), mens økningen i Tot P og PO_4 må betegnes som ”lite”(10-20% økning). Ved Lista var påvirkningsgraden redusert og avviket i NO_2+NO_3 og N:P var ”moderat”, mens PO_4 , Tot P og Tot N var ”lite” påvirket. De største endringene i PO_4 og Tot P inntraff trolig før 1975 pga av den ulike tidsutvikling i konsentrasjonene av PO_4 og NO_2+NO_3 i Tyskebukta . I middel for perioden januar - mai (1993) er det beregnet at grensen for ”lite” påvirket mhp NO_2+NO_3 ligger mellom Egersund og Jærens rev, for N:P omlag ved Egersund og for Tot N (årsmiddel) like før Kristiansand. I månedene med størst avvik (mars og april) kan grensen for ”lite” avvik strekke seg opp til Karmøy for NO_2+NO_3 og N:P mens grensen for ”lite” avvik for Tot N kan strekke seg til Lista - Egersund.

* Næringssaltforholdene i de øvre 30 m av kystvannet ved Arendal var i hovedsak bstemt av blandingen mellom innstrømmende vann fra Kattegat/Østersjøen og Hirtshalsområdet. Særlig i mars måned, under vårblomstringen i indre Skagerak, ble næringssaltkonsentrasjonene redusert på veien fra Kattegat/Hirtshals til Arendal. Fra august til oktober var det også en viss reduksjon i PO_4 og SiO_4 grunnet økt primærproduksjon utover sensommeren og høsten. I perioden mai-juli, muligens i tilknytning til vårflommen fra bla norske elver, var det en mindre økning i NO_2+NO_3 og PO_4 .

* I situasjoner med innstrømning av Jylland kystvann til Skagerrak i vinter/vår perioden inneholdt kystvannet ved Arendal ca 24 % Kattegatvann, ca 20 % Tyskebukt vann og ca 56 % sørlig Nordsjøvann. Midlere bidrag fra Tyskebukt vann var ca 77 % for nitrat (NO_2+NO_3), ca 42% for fosfat (PO_4) og mellom 57 og 33 % for silikat (SiO_4). Kattegat overflatevann bidro med mellom 6 og 15 % til nitratkonsentrasjonene, mens bidraget til fosfat og silikat var større og lå mellom 20 og 27 %. Siden slutten av 1970-årene viser både observasjoner og beregninger at har nitratkonsentrasjonene (NO_2+NO_3) og N:P i middel for vinter/vår perioden i kystvannet ved Arendal har økt med en faktor på 1.8-2.0 (80-100 %), mens beregningene viser at fosfat (PO_4) trolig har økt med en faktor på ca 1.3 (30 %) allerede i begynnelsen av 1970-årene.

Beregninger viser også at 50 % reduksjon i konsentrasjonene av antropogent nitrat og fosfat i Tyskebukta medfører ca 20 % reduksjon i konsentrasjonene av nitrat og i N:P i kystvannet ved Arendal (0-30m), mens fosfat reduseres med ca 8 %

5.LITTERATUR

ANON. 1993. North Sea - Subregion 8. Assessment Report 1993. North Sea Task Force. *State Pollution Control Authority (SFT), Norway* . 79 pp.

ANON, 1995. Langtidsoverevåkning av miljøkvalitet i kystområdene i Norge. Fem års undersøkelser 1990-1994. *Statlig program for forurensningsoverevåkning- rapport 624 a/ 95. NIVA-rapport O-900635* .115 s.

Andersson, L. and Rydberg, L. 1988. Trends in nutrients and oxygen conditions within the Kattegat: Effects of local nutrient supply. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1988) 26: 559-579.

Andersson, L. and Rydberg, L. 1993. Exchange of water and nutrients between the Skagerrak and the Kattegat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1993) 36: 159-181.

Andersson, L. 1996. Trends in nutrient and oxygen concentrations in the Skagerrak-Kattegat. *Journal of Sea Research* 35 (1-3):63-71(1996)

Aure,J., Danielssen, D. and Svendsen, E. 1995.The impact of southern North Sea water on the nutrient conditions in Skagerak in late spring 1988-1994. *ICES - symposium on the change in the North Sea Ecosystem and their causes: Århus 1975 revisited*. Juli 1995.

Aure,J., Svendsen,E., Rey, F. and Skjoldal, H.R. 1990. The Jutland Current:Nutrients and physical oceanographic conditions in late autumn 1989.

Aure, J. and Sætre,R. 1981. Wind effects on the Skagerrak outflow. *Proceedings from the Norwegian Coastal Current Symposium*,Geilo 9-12 sept 1980, Ed.Sætre,R. and Mork,M. University of Bergen.Volume I: 263:293

Aure,J., Svendsen,E., Rey,F. & Skjoldal,H.N.1990. The Jutland current: Nutrients and physical oceanographic conditions in late autumn 1989. *ICES , C.M 1990/ c:35*.

Aure, J. 1989. Langtransporterte og lokale næringsstofftilførsler til kystområdene i Skagerak og østlige Nordsjøen. *SFT Fagkonferanse* 12. des 1989.

Poulsen,O. 1991. Skagerrak-frontens dynamik. *Havforskning fra Miljøstyrelsen, Denmark* 7: 1-61

Rygg,B. og Thélin, I. 1993. Klasifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkninger av næringsalter. *SFT Rapp. TA-924/1993*. 15 s.

Søiland, H, Svendsen, E., Skogen, M. og Eriksrød, G. 1996. Numerisk modellering av primærproduksjon og transport av vannmasser og næringsalter langs norskekysten. *Fisken og Havet* NR. 25 - 1996. 37 s.

Hickel, W., Mangelsdorf, P. and Berg, J. 1993. The human impact in the German Bight: Eutrophication during three decades (1962-1991). *Helgolander Meeresuntersuchungen* 47: 243-263.

Hickel, W., Eickhoff, M und Spindler, H. 1995. Langzeit-untersuchungen von nährstoffen und phytoplankton in der Deutschen Bucht. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift. Aktuelle Probleme der Meeresumwelt*. 5. Internationalen Wissenschaftlichen Symposiums 23. und 24. mai 1995 in Hamburg : 197-211

Körner, D and Weichart, G. 1992. Nutrient in the German Bight: Concentrations and trends. *ICES mar.Sci.Symp.*195: 159-176