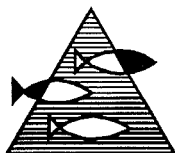


PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesgt. 50 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.:

1002.2-96

Oppdragsgiver(e):

Statens

Forurensningstilsyn

Oppdragsgivers referanse:

SFT-kontrakt nr. 96249

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 25 - 1996

Tittel:

Numerisk modellering av primærproduksjon og transport av vannmasser og næringssalter langs Norskekysten.

Effekter av regionale og lokale næringstilførsler (NUMPTRAVANN).

Senter:

Marint miljø

Seksjon: Havmiljødata og modellering Fysisk oseanografi og akustikk

Forfatter(e):

Henrik Søiland, Einar Svendsen, Morten Skogen og Gro Eriksrød

Antall sider, vedlegg inkl.:

37

Dato:

17.12. 1996

Sammendrag:

Den koblede fysiske, kjemiske, biologiske numeriske havmodellen NORWECOM er kjørt for 1993 for å beregne hvor langt og i hvilken grad regionale (utenlandske) og lokale (norske) tilførsler av antropogene næringssalter gjør seg gjeldende langs kysten av Sør-Norge. Ved gjentatte kjøring med og uten de ulike tilførsler, og ved å se på differanser i modellresultatene, får vi et kvantitativt bilde av hvordan de ulike nærings- og algekonsentrasjonene, samt primærproduksjonen påvirkes. I denne rapporten diskuteres kun resultater fra områdene vest-Jylland, Skagerrak, Kattegat og kysten av vest-Norge, med hovedvekt på norskekysten fra Sverige til Fedje (60°45'N). Modellert primærproduksjon i overkant av 200 gCm⁻²år⁻¹ (i 1993) langs den nordlige svenske vestkyst, stemmer godt med tilsvarende estimater fra ti års observasjoner fra munningen av Gullmarsfjorden i Sverige.

Emneord - norsk:

1. Eutrofiering
2. Modellering
3. Forvaltningsråd

Emneord - engelsk:

1. Eutrophication
2. Modelling
3. Management advise

Prosjektleder

Senterleder

ke 4904

**Numerisk Modelling av Primærproduksjon og Transport av
Vannmasser og Næringsalter langs Norskekysten.
Effekter av regionale og lokale næringstilførsler.
(NUMPTRAVANN)**

Numerical Modelling of Primary Production and Transport of Water-masses and Nutrients along
the Norwegian Coast.
Effects of Regional and Local Supplies of Nutrients

av

Henrik Søliland, Einar Svendsen, Morten Skogen og Gro Erikrød

SAMMENDRAG/KONKLUSJONER

Den koblede fysiske, kjemiske, biologiske numeriske havmodellen NORWECOM er kjørt for 1993 for å beregne hvor langt og i hvilken grad regionale (utenlandske) og lokale (norske) tilførsler av antropogene næringssalter gjør seg gjeldende langs kysten av Sør-Norge. Ved gjentatte kjøring med og uten de ulike tilførsler, og ved å se på differanser i modellresultatene, får vi et kvantitativt bilde av hvordan de ulike næringssalt- og algekonsentrasjonene, samt primærproduksjonen påvirkes. I denne rapporten diskuteres kun resultater fra områdene vest-Jylland, Skagerrak, Kattegat og kysten av vest-Norge, med hovedvekt på norskekysten fra Sverige til Fedje (60°45'N). Modellert primærproduksjon i overkant av 200 gCm⁻²år⁻¹ (i 1993) langs den nordlige svenske vestkyst, stemmer godt med tilsvarende estimater fra ti års observasjoner fra munningen av Gullmarsfjorden i Sverige.

Ved å redusere de utenlandske antropogene næringstilførslene (N og P) med 100% (80% av totale tilførsler fordelt på 23 kilder fra alle land untatt Norge) får vi i hovedsak redusert primærproduksjonen i kystvannet langs vest-Jylland og i Kattegat (Fig.3). Ettersom silikat (som her ikke reduseres) vanligvis er den begrensende faktor for diatome produksjon, får vi som ventet at det er produksjonen av flagellater som for det meste reduseres. Imidlertid ser vi liten effekt av disse reduksjonene i Skagerrak og langs kysten av Norge, kun noen få prosent mhp. årlig primærproduksjon. Det er tidligere vist at naturlige variasjoner i instrømningen av næringsrikt atlantisk vann gir adskillig større effekter i disse områdene. I 1993 var denne innstrømningen ganske kraftig og nær overflaten. I år med stor atlantisk innstrømning til Skagerrak vil effekten av reduserte elvetilførsler bli mindre enn i år med mindre tilførsler av atlantiske vannmasser.

Reduksjon av de norske antropogene tilførslene med 100% medfører kun signifikante reduksjoner i total årlig primærproduksjon i nordøstre hjørne av Skagerrak (ytre Oslofjordområdet sørvest mot Jomfruland) der vi også har de største elvetilførslene. Dette er også det området av norskekysten som er minst (men likevel sterkt) påvirket av de atlantiske vannmasser.

Ved å redusere de utenlandske antropogene næringstilførslene kun med 50% får vi grovt sett en halvert effekt (i forhold til 100% reduksjon) vest av Jylland, i Kattegat og i Skagerrak, men liten forskjell utenfor vest-Norge. Ved kun å redusere de utenlandske fosfortilførslene (ikke nitrogen), får vi enda mindre effekter, og spesielt liten effekt i Kattegat, noe som kan indikere at den modellerte produksjonen i Kattegat i større grad er nitrogen begrenset enn fosfor begrenset.

NORWECOM representerer en sterk forenkling av komplekse og tildels ukjente naturlige prosesser. Dette arbeidet har påvist at en svakhet ved modellen sannsynligvis er knyttet til for svak utsynking og fjerning av organisk materiale, noe som gjennom remineraliserings-prosessen skaper et overskudd i hele vannsøylen av uorganiske næringssalter ved slutten av året. Ettersom vi i hovedsak studerer differanser mellom ulike kjøring, vil mulige effekter av disse svakhetene i stor grad bli kansellert. I tillegg får vi de unaturlig høye konsentrasjonene først etter at produksjonsfasen er over. Alle parametre som inngår i de kjemisk-biologiske prosessene er hentet fra litteraturen. Ingen kalibrering/manipulering er gjort for å tilpasse resultatene til spesielle data, da siktemålet med utviklingsarbeidet er å fremskaffe et generelt modellsystem. Etter det vi kjenner til er NORWECOM det første og sannsynligvis eneste modellsystem som med en viss realisme kan simulere de varierende alge- og næringssalt- forekomster og transporter i hele Nordsjøen og ikke minst i Skagerrak med sin komplekse sirkulasjon og vannmassefordeling.

SUMMARY/CONCLUSIONS

The coupled physical, chemical, biological numerical ocean model NORWECOM was run for 1993 to estimate how far and to what degree regional (foreign) and local (Norwegian) supplies of anthropogenic nutrients effect the waters along the coast of southern Norway. By studying the differences in the model results from repeated runs with and without different supplies, a quantitative view is obtained of how the different nutrient and algae concentrations and the primary production are effected. In this report only results from the areas west of Jutland, the Skagerrak, the Kattegat and the coast of western Norway is discussed, with focus on the Norwegian coast from Sweden to Fedje (60°45' N). Modelled primary production just above 200 gCm⁻²y⁻¹ (in 1993) along the Swedish west coast, is in good agreement with similar estimates from 10 years of observations from the mouth of the Gullmarsfjord in Sweden.

By reducing the foreign anthropogenic nutrient supplies (N and P) with 100% (80% of total supplies distributed on 23 sources from all countries except Norway) the main reduction in primary production is found in the coastal water along western Jutland and in the Kattegat (Fig.3). Since silicate (which here is not reduced) usually is the limiting factor for diatom production, it is (as expected) mainly the production of flagellates which is reduced. However, little effects of these reductions are seen in the Skagerrak and along the coast of Norway., only a few percent in relation to the annual production. Earlier it has been shown that natural variabilities in the inflow of nutrient rich Atlantic Water gives a much stronger effect in these areas. In 1993 this inflow was quite strong and near the surface. In years with strong atlantic inflow to the Skagerrak the effect of reduced river supplies will be less than in years with weak inflow of Atlantic Water.

100% reduction in the Norwegian anthropogenic nutrient supplies only results in significantly reduced total annual primary production in the northeastern corner of the Skagerrak (outer Oslofjord area south west to Jomfruland) where we also have the largest river supplies. This is also the area of the Norwegian coast which is least (but still strongly) affected by the Atlantic watermasses.

By reducing the foreign anthropogenic nutrient supplies with 50% the effect is roughly half (in comparison with the 100% reduction) west of Jutland, in the Kattegat and in the Skagerrak, but only small differences are seen outside western Norway. With a 50% reduction of phosphorous (not nitrogen) the effect is even smaller. Especially in the Kattegat the effects are small, which indicate that the modelled production here to a larger extent is nitrogen limited than phosphorous limited.

NORWECOM represents a strong simplification of complex and partly unknown natural processes. This work has shown that a weakness in the model probably is connected to a too slow sinking and a too weak removal of organic material, which through the remineralization process create a surplus in the total water column of inorganic nutrients by the end of the year. Since we mainly study the differences between several model results, the possible effects of these weaknesses to a large extent cancel out. In addition the unusually high concentrations mainly become present after the primary production phase. All parameters included in the chemical-biological process formulations are taken from published literature. No calibration/ manipulation is performed to fit the results to certain data, since the goal of the model development has been to create a general model system. To our knowledge NORWECOM is the first and probably the only model system which with some realism can simulate the varying amounts of algae and nutrients and transports throughout the North Sea and not least within the Skagerrak with its very complex circulation and watermass distribution.

INNLEDNING

Det er fremdeles store usikkerheter omkring de miljømessige effektene av reduserte næringstilførsler til Skagerrak. Statens Forurensningstilsyn (SFT) har i denne sammenheng fått utført prosjektet "Vannutskiftning og næringssaltbudsjetter i ytre Oslofjord". Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI) og Havforskningsinstituttet (HI) har utredet ulike aspekter av prosjektet. I denne sammenheng har HI (Svendsen et al. 1995a) og DNMI (Hackett et al., 1995) modellert/ kvantifisert tilførslene av de langtransporterte (og tildels forurensede) vannmassene fra Tyskebukta og Østersjøen. Dette ble benyttet som bakgrunnsmateriale for "å fremskaffe næringssaltbudsjetter for ulike deler av ytre Oslofjord med så stor presisjon som mulig innenfor den aktuelle prosjektrammen basert på dagens kunnskapsnivå og tilgjengelig modellverktøy". Som en videreføring av dette arbeidet kjørte HI det fullt koblede modellsystemet NORWECOM for å beregne primærproduksjon og transport av næringssalter til ytre Oslofjord (Svendsen et al. 1995b).

I dette arbeidet vil vi fokusere på effektene langs norskekysten av utenlandske antropogene næringstilførsler sammenliknet med effektene av norske tilførsler. 1993 er valgt som eksperiment år, vel vitende at det er store naturlige variasjoner fra år til år og at 1993 hadde (unormal) stor innstrømning av næringsrikt atlantisk vann til Skagerrak nær overflaten og relativt liten innstrømning av vann fra Tyskebukten (Anon. 1994, Svendsen et al. 1995 a og b, Skogen et al., 1996). Imidlertid tillater ikke de tilgjengelige ressurser og tidsrammer å studere flere ulike år.

HI, DNMI og Universitetet i Bergen (Institutt for Fiskeri- og Marinbiologi (IFM) og Matematisk Institutt) har et utstrakt samarbeide innen numerisk havmodellering. Felles for dette samarbeidet er den hydrodynamiske havmodellen POM (Princeton Ocean Model, også kalt ECOM3D). Ved DNMI blir modellen benyttet rutinemessig for varsler av stormflo og strøm. DNMI har også benyttet modellen i en rekke simuleringer av historiske situasjoner (Martinsen, 1995). HI har i samarbeid med Institutt for Fiskeri- og Marinbiologi (IFM) ved Universitetet i Bergen vært hovedentreprenør for utviklingen av "the NORwegian ECOlogical Model system" NORWECOM som også var benyttet i utarbeidelsen av North Sea Quality Status Report (Anon., 1993). Likeledes har instituttet vært aktiv deltager i forskningsprogrammet SKAGEX (Dybern et al., 1994), som er det største oseanografiske eksperiment gjort i Skagerrak/Kattegat. NORWECOM er under stadig utvikling/ forbedring, og etter utredningsarbeidet av Svendsen et al. (1995b), har vi lagt inn nye rutiner for beregning av oksygenforbruk, remineralisering av silikat (i tillegg til fosfor og nitrogen), samt sedimentering og resuspensjon av partikulært materiale.

MATERIALE OG METODER

NORWECOM er et koblet fysisk-kjemisk-biologisk modellsystem (Skogen, 1993) som er operasjonell for Nordsjøen og Skagerrak med en horisontal oppløsning i Skagerrak på 4*4 km² og 11 lag fra overflaten til bunnen. Av det vi kjenner til er dette det eneste modellsystem av denne art som dekker (og tildels er validert) hele Nordsjøen (og omliggende områder). De kjemisk/biologiske prognostiske variablene er:

- inorganisk nitrogen (nitrat, ammonium, etc.)
- inorganisk fosfor (fosfat)
- inorganisk silisium (silikat)
- detritus (dødt organisk materiale)
- diatoméer
- flagellater

- lys/turbiditet
- oksygen
- partikulært uorganisk materiale
- partikulært silikat (organisk)

Modellsystemet drives med realistisk (hver sjette time) vindpådrag og atmosfærisk trykk stilt til rådighet fra DNMI (Eide et al., 1985, Reistad og Iden, 1995), modellerte bølgefelt (hver sjette time) fra DNMI's bølgemodell WINCH, realistisk månedsmidlet ferskvanns- og næringssalttilførsler fra Elben, Ems og Weser, klimatologisk månedsmidlet ferskvanns- og næringssalttilførsler fra de øvrige største europeiske elvene (Baliño, 1993), og modellert tetthetsfordeling og utstrømning fra Østersjøen. Tilførsler av nitrogen fra atmosfæren (basert på EMEP data) er konstant og jevnt fordelt over modellområdet ($0.1 \text{ kgm}^{-2}\text{år}^{-1}$), men med doble verdier langs land (Anon. 1992b).

I tillegg er ekstra ferskvanns- og næringstilførsler sluppet ut fra svenskegrensen og langs norskekysten til Fedje i henhold til nyere beregninger fra NIVA (Tjomsland et al. 1996. NB!, de norske tilførslerne er korrigert etter at modellkjøringene var utført, slik at tilførslerne benyttet i kjøringene og gitt i tabellen er noe høyere enn verdiene i Tjomsland et al.). En del danske tilførsler er også inkludert i henhold til OSPARCOM (Anon.1995). Totale utslipp til Nordsjøen (kTonn/år) benyttet for 1993 fra de ulike land er:

	uorg. N	uorg. P	Silikat	Tot N
Norge	37	1.1	138	75
Sverige	15	0.6	22	25
Danmark	52	1.9	0	59
Tyskland	149	6.6	48	
Nederland	335	31	189	
England	246	25	243	

(Ingen retensjon av næringssalter i fjorder. Organisk P i detritus beregnes som "Redfield ratio" i henhold til organisk N (Tot N - uorg. N). Desverre hadde vi ikke tilgjengelig Tot N fra Tyskland, Nederland og England).

Lysinnstråling ved overflaten er gitt som funksjon av tid på døgnet og året og breddegrad i henhold til Skartveit og Olseth (1986, 1987). I tillegg har vi i dette arbeidet justert lyset i henhold til målinger ved Taastrup, Danmark (Anon, 1991). En del anvendelsesområder og validering er beskrevet av: Berntsen et al., (1994), Skogen et al., (1995), Aksnes et al., (1995), Svendsen et al., (1995 a og b), Skogen et al., (1996), Danielssen et al. (1996b). På den åpne grenseflaten som er lagt noe utenfor Skagerrak og vestlandet i den østlige Nordsjøen, får modellen input fra et tilsvarende storskala modellsystem som er kjørt for hele Nordsjøen og omliggende områder. Dette for å sikre relativt realistisk transportutveksling med Nordsjøen, som er den viktigste drivkraft for sirkulasjonen i Skagerrak.

Den fullstendige storskala NORWECOM for Nordsjøen og Skagerrak er kjørt fra 1. oktober 1992 til 31. desember 1993, mens finskalamodellen for østlige Nordsjøen/ Skagerrak/Kattegat er kjørt fra 1. desember. Dette systemet er kjørt 5 ganger (uten å forandre tilførsler av silikat som antas å være lite påvirket av menneskelig aktivitet, og uten å forandre de atmosfæriske tilførslerne).

Exp.1) Alle næringssalttilførsler inkludert.

Exp.2) Fjerne alle norske antropogene tilførsler, beholde utenlandske.

Exp.3) Fjerne alle utenlandske antropogene tilførsler, beholde norske.

Exp.4) Fjerne 50% av utenlandske antropogene tilførsler, beholde norske.

Exp.5) Fjerne 50% av utenlandske antropogene tilførsler av fosfor, beholde alle andre tilførsler.

Det er benyttet identiske lysforhold (justert i forhold til målinger i 1990) for alle kjøringene. De

antropogene næringstilførslene er i de utenlandske tilførslene antatt å være 80% av de totale tilførslene av N og P. For de norske antropogene utslippene benyttes beregninger gjort av NIVA der antropogene og naturlige tilførsler er adskilt (Tjomsland et al., 1996). I snitt utgjør de norske antropogene tilførslene av N og P henholdsvis ca. 60% og 90% av de totale tilførslene.

Fysiske initialfelt og grenseflateverdier i storskala modellen er basert på koblet data/modell klimatologi (Engedal et al., 1995, Martinsen, 1995). Initialfelt for næringssalter er basert på ICES vinter data fra februar 1988, anvendt for 1. oktober 1992, mens typisk årlig variasjon på de åpne grenseflatene er laget ut fra stasjon M data. Alle initialfelt (1. desember) for finskala modellen samt åpne grenseflateverdier er basert på resultatene fra storskalamodellen.

I dette arbeidet er NORWECOM utvidet med en variabel (som også var inkludert i de relaterte arbeidene av Svendsen et al. 1995 a og b) som separerer vannmassen knyttet til avrenning fra kontinentet til Nordsjøen. På den sørlige grenseflaten (mot Tyskebukta), har vi merket det innstrømmende vannet i henhold til modellert saltinnhold. Vann med saltinnhold på 31 psu karakteriseres som 100 % Tyskebukt vann med en lineær reduksjon til 0 % ved saltinnhold på 34.5 psu og høyere. Fra denne grenseflaten og nordover inn i Skagerrak blir konsentrasjonen av Tyskebukt vannet (C_{TB}) betraktet om en passiv "tracer" som spres og uttynnes på grunn av den modellerte sirkulasjon og horisontal og vertikal diffusjon. (Underveis har vi altså ingen videre kobling mellom saltinnhold og C_{TB}).

Før modellresultatene diskuteres kan det være nyttig å gjøre et grovt overslag over hvor store endringer i primærproduksjon i Skagerrak f.eks. en reduksjon i de tyske elvetilførslene kan maksimalt forårsake under svært forenklede forutsetninger. Hvis det antas at alt nitrogen som kommer fra de tyske elvene i den produktive sesongen (ca. 6 måneder) benyttes til produksjon i Skagerrak, vil en 80% reduksjon i tilførslene medføre en redusert primærproduksjon på ca. $10\text{gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$.

RESULTATER

Hovedresultatene er knyttet til ukemidlede vertikalmidler over øverste 10 m og øverste 30 m, og horisontalmidlet 2-3 modell-bokser (4x4 km) ut fra kysten langs følgende snitt:

S1: Smøgen-vest, S2: Jomfruland-Skagen, S3: Torungen-Hirtshals, S4: Oksøy-Hanstholm, S5: Lindesnes-SSW, S6: Lista-SW, S7: Egerøy-SW, S8: Jærens Rev-SW, S9: Utsira-Orknøy, S10: Slåttery-Shetland, S11: Fedje-Shetland, S12: Jomfruland-Koster. I tillegg taes ut resultater fra kontrollsnittene K1: Fredrikshavn-Gøteborg, K2: Tyborøn-W, K3: Hanstholm-Oksøy.

Grafisk er prioritert presentasjon av den totale ukentlige variasjonen langs hele kysten i isopletdiagram med "distansen" langs kystene fra Tyborøn (vest Jylland) via Fredrikshavn og Smøgen i Sverige til Fedje langs ene akse og tid langs andre akse. Disse plottene inneholder all den vesentlige informasjon som man i utgangspunktet trenger for å gi svar og underbygge målet med denne oppgaven. Detaljer i dette eksemplifiseres i tidsserier fra Smøgen, Koster, Jomfruland, Torungen, Lista og Slåttery. Parametrene som presenteres er: N, P, Si, tot N, S, T, Dia, Fla, tot alge, N/P, N/Si, Produksjon.

Effektene av reduserte tilførsler er presentert grafisk som beskrevet over, men basert på differansen mellom kjøring med alle tilførsler og de ulike eksperimentene med reduksjoner.

Som en ekstra leveranse for å gi et klarere bilde av den horisontale fordeling, plottes horisontalkart

av total, diatomé og flagellat produksjon, samt redusert produksjon av flagellater knyttet til de ulike eksperimentene.

Horisontalkart primærproduksjon

Den totale årlige primærproduksjonen og fordeling av produksjonen i diatomeer og flagellater, er vist i Fig. 1 (Exp.1). Totalproduksjonen i Skagerrak er rundt 200 gCm⁻²år⁻¹, økende til 350-400 gCm⁻²år⁻¹ i ytre Oslofjord (max. 460 gCm⁻²år⁻¹ i gridpunkt med elvekilde) og avtar ned mot 100 gCm⁻²år⁻¹ ut mot den sentrale Nordsjøen. Disse resultatene er noe høyere enn modellert av Svendsen et al. (1995 b). Dette skyldes hovedsaklig innføring av en prosess for remineralisering av silikat som har gitt økt produksjon av diatomeer tildels på bekostning av flagellater. Silikat regenereres her kun i bunnsedimentene, og i relativt grunne områder vil regenerering av silikat kunne skje like raskt som for N og P (Van Rappenhorst et al., 1990). Lindahl (1995) har utført intensive målinger og estimert den årlige primærproduksjonen ved munningen av Gullmarsfjorden (svenskekysten) i perioden 1985 til 1994. Han fant år til år variasjoner fra 180 til 340 gCm⁻²år⁻¹ med en median årlig produksjon på 230 gCm⁻²år⁻¹. Dette passer svært godt med våre modellresultater for svenskekysten. Vår oppmåling i perioden februar-april sto for nærmere 20% av den årlige produksjonen, mens sommerproduksjonen (mai-september) bidrog med nærmere 70%. Primærproduksjonen i august alene var 18% av den årlige produksjonen. Eldre målinger og årlige produksjonsestimat på ulike steder langs den svenske vestkysten viser en variasjonsbredde på 80 - 230 gCm⁻²år⁻¹ (Olsson, pers. kom.)

Den årlige modellerte produksjonen av diatomeer og flagellater fordeler seg grovt sett med henholdsvis rundt 120 og 80 gCm⁻²år⁻¹ i Skagerrak.

Forandringene i den årlige primærproduksjonen grunnet 100% reduksjon i norske antropogene tilførsler av nitrogen og fosfor (Exp.1, Exp.2) viser i hovedsak en reduksjon i ytre Oslofjord området med 30-40 gCm⁻²år⁻¹ (ca. 10 % reduksjon) innenfor strekningen Koster-Jomfruland. (I utslippspunktet for Glomma er reduksjonen ca. 100 gCm⁻²år⁻¹ (ca. 25 % reduksjon)). Det er nærmest ingen effekt (< 2 gCm⁻²år⁻¹) andre steder (Fig.2). Dette er i god overensstemmelse med notat fra SFT og HI fra 1989. I dette området finner man de største norske utlippene, og dette er også den del av norskekysten som er minst påvirket av Atlantisk vann. Resten av kysten er vanligvis så sterkt påvirket av næringsrikt Atlantisk vann gjennom bl.a. perioder med oppstrømning, virvler, tubulent blanding etc. at fjerningen av de relativt lave norske tilførsle av antropogene næringsstoffer gir tilnærmet null effekt. Det bør presiseres at dette ikke gjelder inne i fjorder og delvis lukkede områder som ikke er tilstrekkelig oppløst i modellen.

Noe uventet er det at reduksjonen av de norske utlippene ikke gir særlig redusert flagellatproduksjon. Tvert imot får vi at nærmest all den totale reduksjonen (som er begrenset til ytre Oslofjord området) skyldes diatomeer. Ut fra modellresultatene kan dette bare bety at man i dette området i stor grad har tilstrekkelig med silikat (fra de lokale elvene) og at diatomeproduksjonen som vanligvis begrenses av silikatmangel, her begrenses av nitrogen og/eller fosfor. Dette er tildels i samsvar med den økte produksjon hovedsaklig av diatomeer under flommen i dette området sommeren 1995 (Danielssen et al., 1996), men det kan også være knyttet til for hurtig omsetning av silisium i modellen.

100% reduserte utlipp av utenlandske antropogene tilførsler av nitrogen og fosfor (Exp.1, Exp.3) forårsaker store reduksjoner i primærproduksjonen vest av Jylland og i Kattegat bl.a. fordi disse områdene er relativt lite påvirket av næringsrikt atlantisk vann (Fig.3) og ligger nær kildene. I

Skagerrak og langs norskekysten ligger den totale reduksjonen rundt $5 \text{ gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$. Dette er ganske lite (2-3% av totalproduksjonen), men signifikant mer enn det de norske reduserte utslipp forårsaker med unntak av området rundt ytre Oslofjord.

De reduserte utenlandske tilførslene av næring gir i hovedsak sterkt redusert produksjon av flagellater vest av Jylland og i Kattegat, samsvarende med den totale reduksjonen. Langs norskekysten i Skagerrak er flagellat-reduksjonen i underkant av $5 \text{ gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$ og nærmest ubetydelig langs vest-Norge. Her ser det ut for at de reduserte utenlandske tilførslene gir en tendens til redusert diatome produksjon.

Modellen er også kjørt med 50% reduksjon av utenlandske antropogene tilførsler av nitrogen og fosfor (Exp.1, Exp.4) (Fig. 4) og 50% reduksjon kun i de utenlandske fosfortilførslene (Exp.1, Exp.5) (Fig.5). Endringene i N og P gir vest av Jylland, i Kattegat og tildels i Skagerrak grovt sett halvparten så stor effekt som 100% reduksjonene (se Fig.3). Utenfor vest-Norge ser vi imidlertid liten forskjell fra 100% reduksjonene. 50% reduksjon kun av fosfor gir enda mindre effekt vest av Jylland og spesielt i Kattegat. Dette er noe overraskende da en i Kattegat og den sørlige del av Nordsjøen der algeproduksjonen i stor grad er fosforbegrenset, ville forvente at en reduksjon i fosfor (Exp.5) ville gi tilnærmet den samme reduksjon som for samme prosentvise reduksjon av både nitrogen og fosfor (Exp.4). Exp.5 gir desverre ikke et korrekt svar på dette spørsmålet ettersom den delen av fosfor tilførselen fra land og fra Østersjøen som kommer som en del av detritus (organisk materiale) ikke er redusert i dette eksperimentet, i motsetning til Exp.4 der de totale tilførslene av både N og P er 50%. Det er noe uklart hvorfor reduksjonen av diatomeer utenfor vest-Norge er noe større i Exp.5 enn i de andre eksperimentene.

Tidsutvikling langs kysten

Alle tilførsler

Som tidligere nevnt var hovedmålsetningen med dette prosjektet å: Beregne hvor langt og i hvilken grad den regionale (utenlandske) og lokale (norske) eutrofieringspåvirkningen gjør seg gjeldende langs kysten av Sør-Norge. Vi har derfor tatt ut midlere verdier for de øvre 30 m og innerste 12 km langs kystene fra Tyborøn (vest Jylland) via Fredrikshavn og Smøgen i Sverige til Fedje langs ene akse (se Fig.2) og tid langs andre akse. Resultatene fra kjøringen med alle tilførsler (Exp.1) er gitt i figurene 6 og 7. Figur 6 viser som ventet at diatome-produksjonen starter allerede i februar og blir etterfulgt av flagellatproduksjonen i april. I sør langs kysten av Danmark er det en klar og typisk våroppblomstring av diatomeer i mars, samt en typisk høstoppblomstring. Det er noe forunderlig at diatome-bloomstringen fortsetter nærmest hele sesongen langs norskekysten. Mest sannsynlig skyldes dette en for hurtig og sterk remineraliserings prosess av silisium i modellen (som kun remineraliseres i bunnsedimentene), kanskje kombinert med for liten total utsynking. Et visst bidrag kan også komme fra tidligere nevnt "uvanlig" sterk innstrømning av Atlantisk vann i 1993 (Anon. 1994).

Den modellerte utviklingen av de uorganiske næringssaltene, Tot.N samt N/P og N/Si forholdene er gitt i Figur 7. Her er det tydelig at modellen ikke er "perfekt", ettersom vi tildels ender opp med doble næringssaltverdier i slutten av desember i forhold til begynnelsen av januar. (Økningen skjer heldigvis etter at det meste av produksjonen er over). Noe av denne unormale økningen kunne skyldes at store mengder vann fra Tyskebukten ser ut for å strømme nordover høsten 1993. Imidlertid ser man i Fig. 22 (Tyborøn-Hirtshals) at det var en kraftig utstrømning av Tyskebukt vann i oktober, som ikke var assosiert med høy nitrogentransport. Dette betyr at de modellerte næringssaltkonsentrasjonene må ha vært lave i Tyskebukt vannet, som stemmer godt med HI's feltmålinger i november-desember, 1993 (Anon. 1994) da man fant unormalt lave

konsentrasjoner i dette vannet. Tatt i betraktning disse målingene, var det i motsetning til modellresultatene, sannsynligvis heller ikke stor utstrømning av næring i desember.

De høye næringssalt verdiene mot slutten av året er sannsynligvis knyttet til remineraliserings- og kanskje også resuspensjons-prosessen som er implementert i modellen. Imidlertid får vi ikke bare økning i silikat, men tildels større relativ økning i fosfor og nitrogen. Det er da nærliggende å tro at modellen gir for liten begravning av sedimenter som ikke remineraliseres. I modellen opereres det med konstante og meget lave synkehastigheter på flagellatene, og detritus og partikulært silikat synker konstant med 3 m/døgn. Diatomeene synker med mellom 0.3-3.0 m/døgn som en funksjon av silikatkonsentrasjon (avtagende med økende silikatkonsentrasjon). Dette kan gi en positiv "feedback" som gjør at mindre alger synker ut av eufotisk sone. Noji og Rey (1996) har påvist at utsynking av partikulært organisk materiale kan øke betraktelig gjennom "fecal pellets" fra dyreplankton. En for lav utsynkingshastighet vil medføre en for kraftig remineralisering i den eufotiske sone og derved for høy produksjon og for høye næringssalkonsentrasjoner om vinteren. I følge Weering et al. (1987) akkumuleres det ca. 30 millioner tonn sedimenter i Skagerrak pr. år. Ca. 2% av dette er carbon som omregnet til nitrogen (antatt Redfield) gir et sluk i bunn på ca. 100.000 tonn N/år. Dette er langt høyere enn det som modellen i netto sluk gir idag, bl a. fordi store mengder "lekkes" tilbake til vannmassene. Beregningene til Weering er basert på historiske tall, og med de økte antropogene utslipp er akkumuleringen pr. i dag sannsynligvis betydelig større.

Fra N/P forholdet ser vi de relativt høye verdiene om vinteren og våren langs Jylland og tildels opp langs svenskekysten og opp mot Oslofjorden. De forhøyede verdiene forsvinner i mai-juni i samsvar med at mengden av Tyskebukt vann (Svendsen et al. 1995b) i vannmassene går under ca 10%. De store mengdene Tyskebukt vann som kommer inn i systemet igjen om høsten gir ikke høye N/P forhold i samsvar med midlere observasjoner.

Forandring med 100% fjerning av norske antropogene tilførsler av N og P

Som vist i Fig.2 gir de norske reduserte næringstilførslene kun en årlig total produksjonsreduksjon i området nær ytre Oslofjord og tildels sørvest mot Jomfruland. Videre så vi at reduksjonen i hovedsak var knyttet til diatomeer. Tidsutviklingen langs kysten av disse reduserte produksjonene og algeforekomstene er vist i Fig. 8. Det er svært tydelig at reduksjonene er knyttet til området rundt ytre Oslofjord mellom Koster og Jomfruland i perioden april-september, og det betyr at det gir ingen effekt på den tidlige våroppblomstringen. I Fig. 8 er reduksjonene størst ved Koster, d.v.s. at de norske utslippene påvirker algeproduksjonen et stykke sørover langs svenskekysten. Det samme ser en i Fig. 2. Lengre inne i ytre Oslofjord er effekten større (se Fig.2) enn det som er plukket ut i Fig. 8.

Til tross for tildels store reduksjoner i tilført N og P spesielt rundt ytre Oslofjord og signifikante men dog små endringer i algeproduksjon og algeforekomster, ser vi i Figur 9 at forandringene i næringssaltkonsentrasjonene er ytterst små og kun såvidt synlig ved Oslofjorden (Koster). Dette skyldes som tidligere nevnt den store innvirkningen av næringsrikt Atlantisk vann som i stor grad overskygger de norske tilførslene. Det bør nevnes at modellen har en tendens til noe for høy blanding av vannmasser som medføre at innblanding av næringsrikt atlantisk vann til den eufotiske sone sannsynligvis er noe for høy. (Dette er bl.a. et regnekapasitets problem som vil bli løst i nær fremtid)

Forandring med 100% fjerning av utenlandske antropogene tilførsler av N og P

Effektene langs kysten av reduserte utenlandske tilførsler av N og P er klart sterkere og mer

kompleks enn endringene grunnet reduserte norske tilførsler, med unntak av området rundt ytre Oslofjord. Dette går også klart frem av Figur 3. Figur 10 viser at de utenlandske tilførslene har en viss effekt langs hele kyststrekningen. Effektene er størst om våren, og reduksjonen i produksjon (fra svenskegrensen til Feie) er i en kort periode i april-mai mer enn 5 %. I en periode av juni er det langs vestkysten av Norge faktisk en reduksjon i produksjonen på ca. 10 %. Reduksjonen i total algeproduksjon er klart størst knyttet til maksimum flagellat-produksjon (rundt 20%) i april-mai og nærmest Tyskebukten. Ved Gøteborg varer den relativt kraftige reduksjonen til ut i september, og dette ser ut til å være nærmere knyttet til prosesser og reduksjoner i Kattegat enn reduksjoner i de tyske utslipp (se Fig.3). Reduksjonen i flagellat-produksjonen slutter ved Smøgen. Mellom Smøgen og Lista får vi svært små effekter. Fra Lista til Utsira ser man en økende reduksjon av diatomeproduksjon som avtar igjen mot Fedje. Det er utenfor målsetningen for denne rapporten å forklare dette fenomenet. De beskrevne produksjonsendringene gjenspeiles klart i de endrede alge konsentrasjonene som også er vist i Fig.10.

Enkelte steder ser man kortvarige økninger i algeproduksjonen. Dette antas å skyldes en tidsforskyvning i produksjonen som ved adveksjon utvikles til en romlig forskjell som her slår ut i positiv retning

Som ventet får vi minimale endringer i næringssalt-konsentrasjonene langs norskekysten (Fig.11), til tross for meget store reduksjoner i de utenlandske tilførslene og tildels signifikante endringer i produksjon og algemengder. Igjen skyldes dette de meget store tilførsler av næringsrikt Atlantisk vann (Anon. 1994) (kanskje også grunnet for stor diffusjon i modellen) som overskygger de antropogene næringssaltkonsentrasjonene. Det er noe usikkert om de store endringene i N og P i november-desember knyttet til vann fra Tyskebukten er reell eller knyttet til tidligere diskuterte mulige svakheter med modellen.

Tidsserier fra utvalgte punkter langs kysten

Det som er beskrevet foran gir i prinsippet klart svar på hovedoppgaven: Å beregne hvor langt og i hvilken grad den regionale (utenlandske) og lokale (norske) eutrofieringspåvirkningen gjør seg gjeldene langs kysten av Sør-Norge, med bakgrunn i tilgjengelig modellverktøy. I midlertid kan det være interessant å se i mer detalj hvordan næringssaltene og primærproduksjonen varierer over tid. Denne informasjonen ligger innebygget i de tidligere figurene for hele kysten, men disse kan (for noen) være vanskelig å tolke. I Figur 12 har vi plukket ut tidsserier av primærproduksjonen fra 6 av snittene langs kysten, og for ikke å dublisere informasjonen fra Figur 6 som er basert på middel over de øvre 30 m og 12 km ut, har vi her valgt å midle kun over de øvre 10 m og 6 km ut fra kysten. Det ser ut for at vår oppblomstringen med diatomeer startet litt tidligere ved Smøgen, Koster og tildels Jomfruland enn på Sørlandet og Vestlandet.

Store variasjoner skjer på kort tidsskala, og for å få med den fulle variabilitet må resultatene presenteres med tidsoppløsning ned mot én dag. (Alle figurer fra og med Fig. 6 er i denne rapporten basert på glidende midler over en uke (7 dager)). Dette sier også noe om hvor ofte man må måle dersom realistiske gjennomsnitt skal kunne beregnes.

Den noe overraskende høye produksjonen av diatomeer gjennom sommeren er sannsynligvis knyttet til tidligere nevnt for høy remineralisering/resuspensjon, og økt tilgjengelighet av næring knyttet til den kraftige innstrømningen av Atlantisk vann i 1993, mens ved Koster er det knyttet til store silikatmengder i norske elvetilførsler.

I Figur 13 har vi plukket ut de uorganiske næringssalt-konsentrasjonene ved de samme 6

posisjonene fra kysten og midlet kun over de øvre 10 m og 6 km ut fra kysten. Vi ser at det store forbruket av næringssalter begynte de fleste steder først i slutten av mars, selv om vi så i Fig. 6 og 12 at våroppblomstringen hadde tendens til å starte i begynnelsen av mars. Hurtige økninger i næringssalt konsentrasjoner om sommeren er gjerne forårsaket av raske oppstrømnings-fenomener og koblet til økninger i produksjon (sammenlign Fig. 12).

Målinger viser at nitratkonsentrasjoner ofte går helt ned mod null om sommeren, mens i Figur 13 ser en at nitrogen i modellen faller kun til 1-2 μ molar som minimumsverdi. Dette skyldes bl.a. at i modellen inngår alle de uorganiske næringssaltene ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) i variabelen "uorganisk nitrogen".

Figur 13 viser tydelig de tidligere nevnte problemer med at næringssalt-konsentrasjonene bygger seg opp fra oktober til desember til nærmest dobbelt så høye verdier som ved begynnelsen av året. Selv om vann fra Tyskebukten hadde bygget seg opp i sørlige Nordsjøen og flommet nordover og inn i Skagerrak i denne perioden, kan dette langt fra forklare denne økningen, og spesielt ikke opp langs kysten av vest-Norge. Vi antar som nevnt at denne svakheten er knyttet til formuleringen av utsynkingsprosessen (og kanskje remineraliserings prosessen) i modellen, en prosess som tildels er knyttet til interaksjoner med høyere trofiske nivåer som ikke er modellert. Det bør presiseres at modellen ikke er kalibrert eller "tunet" for å tilpasse spesielle måledata. Som nevnt ser det ikke ut til at overskuddet av næring ved slutten av året har effekt på produksjonsforskjellene og dermed konklusjonene i rapporten.

Tilsvarende som Figur 12, vises tidserier av modellert forandring i algeproduksjon fra de ulike eksperimentene i figurene 14-17. I Figur 14 med 100% reduserte norske tilførsler ser vi en signifikant reduksjon spesielt i diatome produksjonen ved Koster (NB! utvidet akse), og en viss men liten effekt ved Jomfruland. Effekten ved de andre valgte lokalitetene er minimal. Med de ulike reduksjonene i de utenlandske næringstilførslene (Fig. 15-17) er det spesielt at skalaen på forandringene ikke er forskjellig fra Smøgen til Slotterøy, og at det er store variasjoner og enkelte store økninger over kort tid. Dette skyldes sannsynligvis at "timingene" av blomstringene blir forskjøvet i tid og dermed rom, slik at det gir store utslag lokalt over små arealer.

Tilsvarende som i Figur 13 vises tidsserier av modellert forandring i næringssalt-konsentrasjoner fra de ulike eksperimentene i figurene 18-21. Med 100% reduserte norske næringstilførsler ser man nærmest ingen forandring i næringssalt-konsentrasjonene, med unntak av Koster (Fig. 18). Effektene av de ulike utenlandske reduksjons-eksperimentene (Fig. 19-21) viser at forandringene i næringssalt-konsentrasjoner langs kysten jevnt over er liten, men signifikant større enn tilfellet med de norske reduksjonene (med unntak av Koster).

Andre resultater

Det var i utgangspunktet et ønske om å få presentert transporter av næringssalter langs kysten. Ettersom dette kvantitativt nærmest er lineært avhengig av det arealet (normalt på kysten) man velger og hastigheten på vannet, har vi til slutt valgt å samle en del plott i Figur 22. Denne viser modellert tidsutvikling langs kysten (midlet over øvre 30 m og 12 km ut) hastighet (cm/s), nitrogen transport (kg/s) for valgt midlingsareal, % Tyskebukt vann, og saltholdighet. Som vi ser virker hastighetene svært sannsynlige (positiv med kysten til høyre) med en tendens til sammenhengende "motsatt" (negativ) retning i en periode i (april)-mai. Dette vil i de fleste områder være knyttet til oppstrømning langs kysten og kan delvis forklare den "uvanlig" høye diatome-produksjonen om sommeren. Utenfor Vestlandet er det også en økning i saltholdigheten i forbindelse med reverseringen av strømmen, og dette tyder også på at det er oppstrømning langs land i denne perioden. Nitrogentransporten har et klart lignende mønster som hastigheten, med unntak av de høyeste verdiene i desember knyttet til de økte næringssaltverdiene.

Figuren viser også det tidligere nevnte oppholdet av Tyskebukt vann om sommeren som slippes løs om høsten.

RELEVANTE ARTIKLER

- Aksnes, D., Ulvestad, K.B., Baliño, B., Berntsen, J., Egge, J. and Svendsen, E., (1995). *Ecological Modelling in Coastal Waters: Towards Predictive Physical-Chemical-Biological Simulation Models*. OPHELIA 41: 5-36
- Anon. (1991). *Solar radiation and radiation balance data, 1990*. The world radiation data centre
- Anon. (1992). *Guidance Document for the NSTF modelling workshop 6-8 May, 1992, Den Hague*.
- Anon. (1993). *North Sea Quality Status Report*. North Sea Task Force.
- Anon. (1994). *Havforskningsinstituttets MILJØRAPPORT 1994*. Fisken og Havet, særnummer 2-1994. ISSN 0802 0620. 97 pp.
- Anon. (1995). *Data Report on Riverine and Direct Inputs of Contaminants to the Maritime Area of the Paris Convention in 1992*. Oslo and Paris Commissions
- Aure, J., Danielssen, D.S., and Svendsen E. (1995). *The impact of Southern North Sea Water on the nutrient conditions in the Skagerrak in late spring 1988-1994*. In prep.
- Baliño, B. (1993). *Nutrient inputs to the North Sea, Skagerrak and Kattegat. River concentrations and loads from 1980 to 1990*. Tech. rep. HOV senteret, Høytteknologisenteret, Bergen, Norway.
- Berntsen J., D.W. Skagen and E. Svendsen. (1994). *Modeling the transport of particles in the North Sea with reference to Sandeel larvae*. Fish. Oceanogr. 3: 2, 81-89, 1994.
- Danielssen, D.S., Davidsson, L., Edler, L., Fogelquist, E., Fonselius, S.H., Føyn, L., Hernroth, L., Håkansson, B., Olsson, I. and Svendsen, E., (1991). *SKAGEX: Some Preliminary Results*. International Council for the Exploration of the Sea. CM 1991/C:2, 14 pp.
- Danielssen, D.S., Edler, L., Fonselius S, Hernroth, L., Ostrowski, M. and Svendsen, E., (1996a). *Oceanographic variability in Skagerrak/northern Kattegat, May-June 1990*. Accepted in ICES J. Mar. Sci.
- Danielssen, D.S., Skogen, M., Aure, J., Svendsen, E. (1996b). *Flomvann fra Glomma og Miljøforholdene i Skagerrak sommeren 1995. (The Glomma flood and the environmental conditions in the Skagerrak in the summer 1995)*. Fisken og Havet nr.4-1996
- Dybern, B.I., Danielssen, D.S., Hernroth, L. and Svendsen, E. (1994). *The Skagerrak Experiment-Skagex Report 1988-1994*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen. ISBN 92-9120-565-6, ISSN 0908-6692

- Eide, L.I., Reistad, M. and Guddal, J., (1985). *Database for estimated wind and wave parameters for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea.* (in Norwegian). DNMI report.
- Egenberg, B. (1993). *The relationship between hydrographical variability in coastal water and meteorological and hydrological parameters.* M.Phil. thesis, Geophysical inst., Univ. of Bergen, Norway. (in Norwegian).
- Hackett, B., Røed, L.P., Ulstad, C. and Engedahl, H., (1995). *Numerical simulations of the circulation of the outer Oslofjord, with budget calculations for passive tracers.* Research Report No. 26, Det norske meteorologiske institutt, Oslo. 119 pp.
- Lindahl, O. 1995. *Long-term studies of primary phytoplankton production in the Gullmar fjord, Sweden.* In press in proceedings from the MARE NOR symposium; Ecology of Fjords and Coastal Waters, in Tromsø, Norway, Desember 1994.
- Martinsen, E.A. and Engedahl, H., (1987). *Implementation and testing of a lateral boundary scheme as an open boundary condition in a barotropic ocean model.* Coastal Engineering, 11, 603-627.
- Martinsen, E. (1995). *Hindcast of Ocean Currents. Summary Report.* DNMI Research Report No.7. ISSN 0332-9879.
- Noji, T.T. & Rey, F., (1996). *Old and New Perspectives on Zooplankton and Vertical Particle Flux.* ICES CM 1996/O:10
- North Sea Task Force, (1993). *North Sea Subregion 8 Assessment Report.* State Pollution Control Authority, Oslo, Norway. ISBN 82-7655-157-2.
- Reistad, M. And Iden, K.A. (1995). *Updating, correction and evaluation of a hindcast data base of air, pressure, winds and waves for the North Sea, Norwegian Sea and the Barents Sea.* DNMI Research Report No.9.
- Skartveit, A. and Olseth, J.A. (1986). *Modelling slope irradiation at high latitudes.* Solar Energy, 36(4), 333-344.
- Skartveit, A. and Olseth, J.A. (1987). *A model for the diffuse fraction of hourly global radiation.* Solar Energy, 37(4), 271-274.
- Skogen M.D. (1993) *A User's guide to NORWECOM, The Norwegian Ecological Model System.* ISSN 0804-2128. Rep. nr. 6, Center for Marine Environment, Institute of Marine Research, Bergen, Norway
- Skogen M., J. Berntsen, E. Svendsen, D. Aksnes and K. Ulvestad, (1995). *Modeling the primary production in the North Sea using a coupled 3-dimensional physical chemical biological ocean model.* Estuarine, Coastal and Shelf Science, 41, 545-565.
- Skogen, M., Svendsen, E., Ostrowski, M. (1996a). *Quantifying Volume and Nutrient, Transports and Primary Production with the Norwegian Ecological Model system (NORWECOM).* (submitted to Cont. Shelf Res.).
- Skogen, M.D., Eriksrød, G., Svendsen, E. (1996b). *Quantification of Transports to Skagerrak; a*

modelling approach. In press in NATO ASI-series.

Svendsen, Einar (1995). *Havstrømkart og Biologi i Skagerrak.* Rapport fra Havforskningsinstituttet

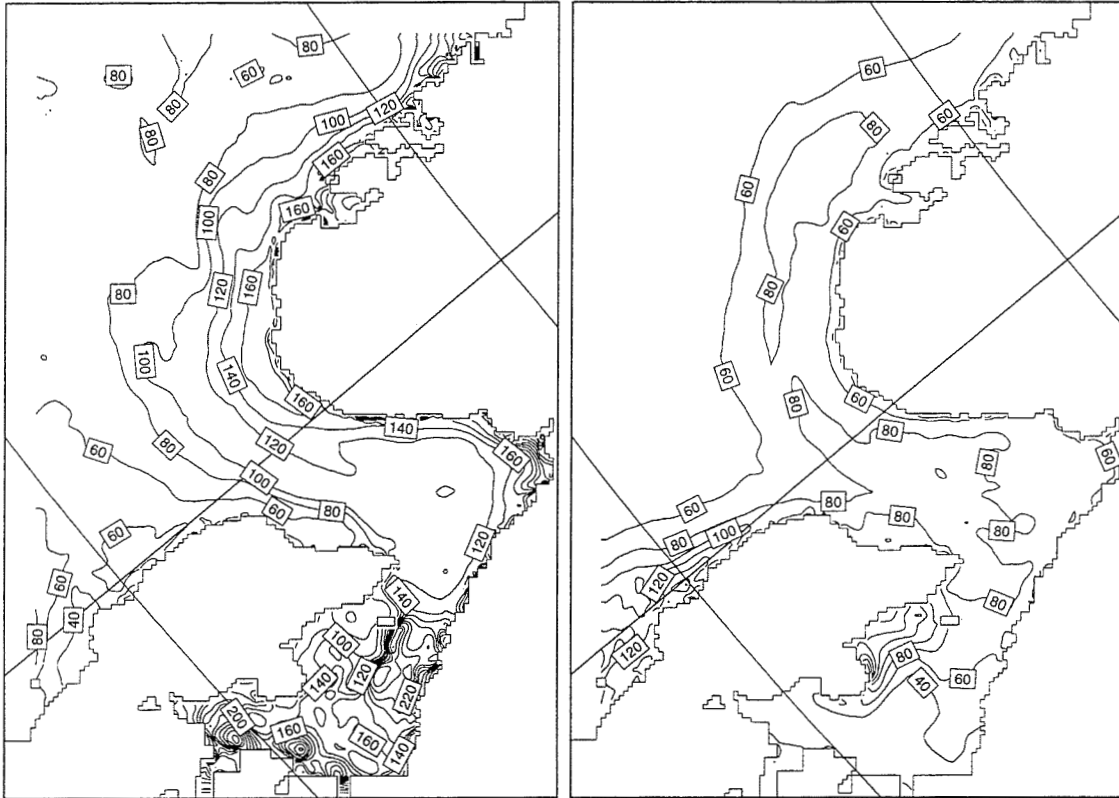
Svendsen, E., Eriksrød G., Skogen M.D. (1995 a). *Kvantifisering av langtransporterte vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til Ytre Oslofjord.* Fisken og Havet, nr. 15. Havforskningsinstituttet.

Svendsen, E., Eriksrød, G., Skogen M.D. (1995 b). Numerisk Modellering av Transport av Næringssalter og Primærproduksjon i Skagerrak/ Kattegat og ytre Oslofjord. (Numerical modelling of nutrient transport and primary production in the Skagerrak/ Kattegat and outer Oslofjord.

Svendsen, E., Berntsen, J., Skogen, M., Ådlandsvik, B., Martinsen, E. (1996). *Model Simulation of the Skagerrak Circulation and Hydrography during Skagex.* Journal of Marine Systems 8 (1996) 219-236

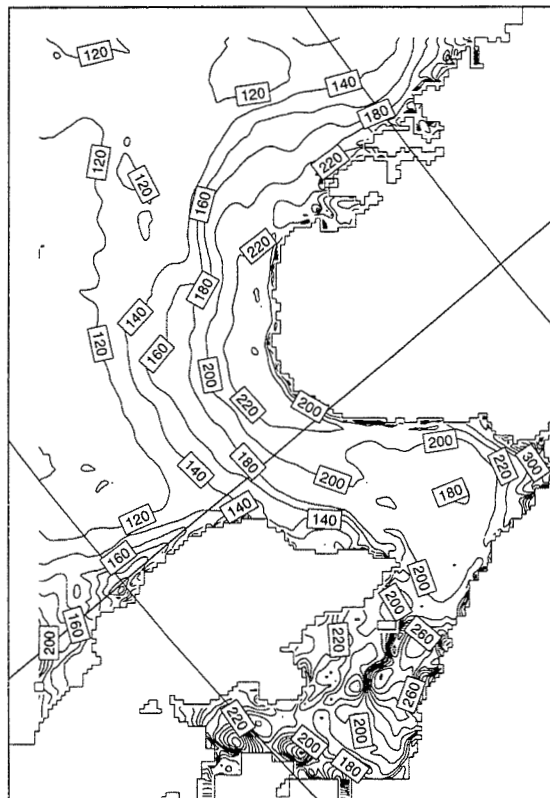
Tjomsland, T., Braaten, B., Holtan, G., Hopen, T. & Aas, J.H. (1996). *Tilførsler av næringsstoffer til kysten mellom svenskegrensa og Stad.* Rapport, Norsk Institutt for Vannforskning, ISBN 82-577-xxxx-x. 41 pp.

Van Raaphorst, W., Kloosterhuis, H.T., Cramer, A., Bakker, K. (1990). *Nutrient early diagenesis in the sandy sediments of the Dogger Bank area, North Sea: pore water results.* Netherlands Journal of Sea Research. 26 (1): 25-52



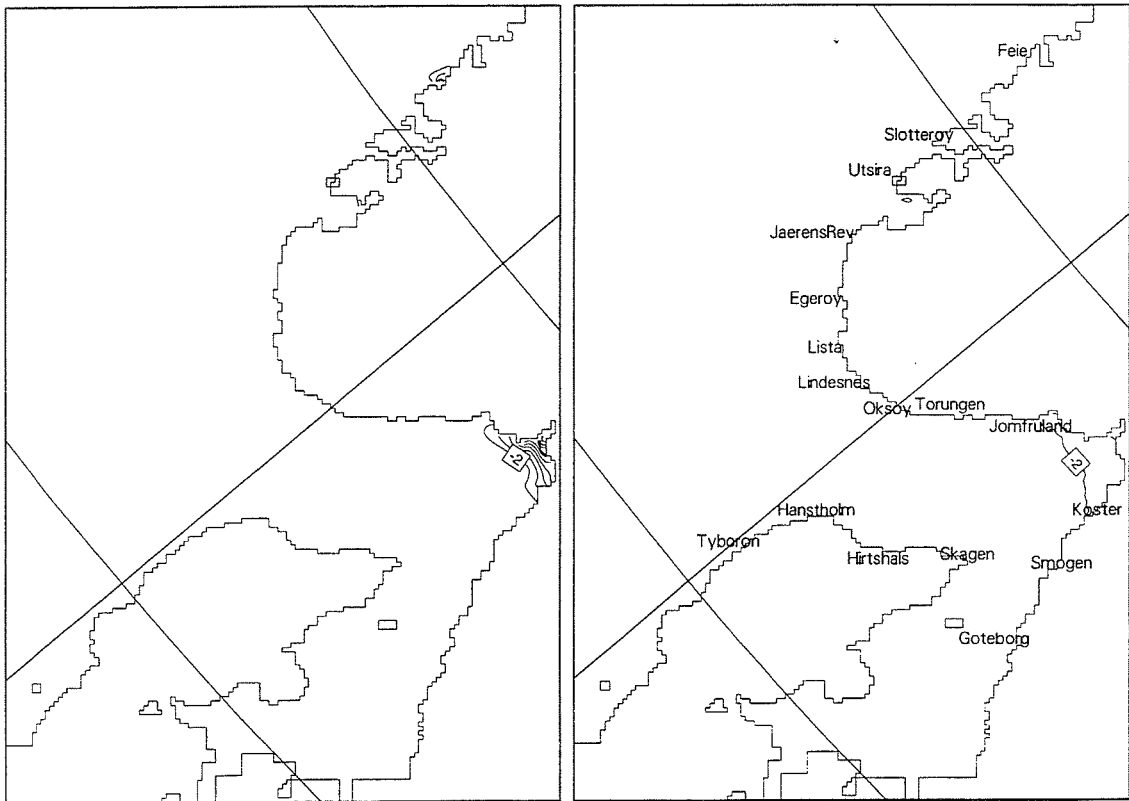
DIATOME PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1)

FLAGELLAT PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1)

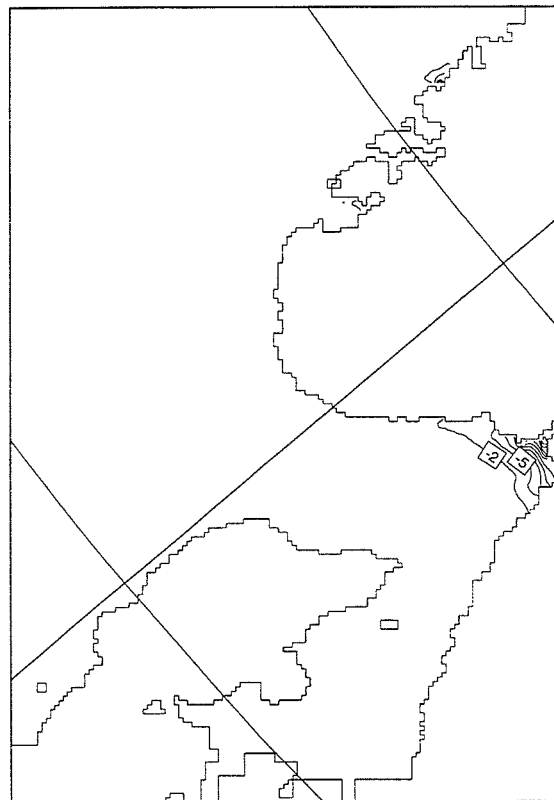


ALGE PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) (EXP1)

FIG. 1. Modellert årlig (1993) diatome, flagellat og total primærproduksjon ($\text{gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$) med alle næringssalt-tilførsler.
 Modeled yearly (1993) diatom, flagellate and total primaryproduction ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) including all inputs of nutrients.

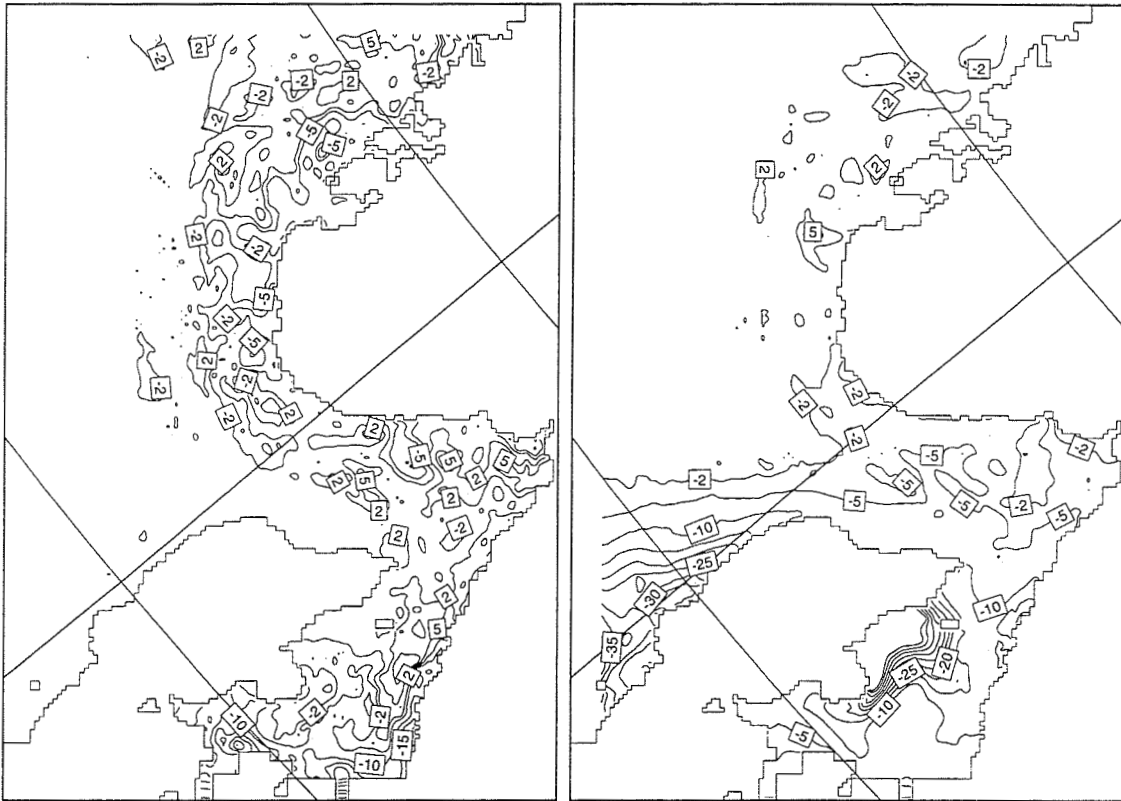


ENDRING I DIA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP2) ENDRING I FLA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP2)

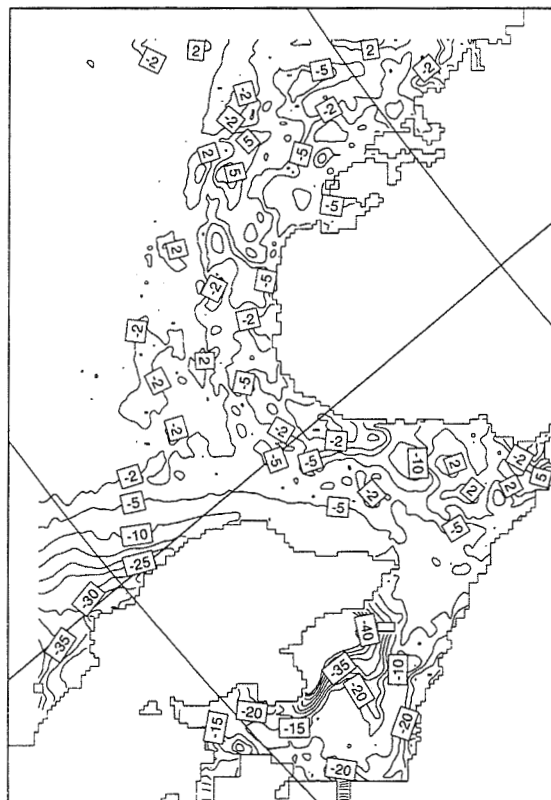


ENDRING I PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) (EXP1,EXP2)

FIG. 2. Modellert årlig (1993) endring i diatome, flagellat og total primærproduksjon ($\text{gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$) med 100 % reduksjon i tilførsler av norske antropogene næringssalter (N og P).
 Modeled yearly (1993) change in diatom, flagellate and total primaryproduction ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) with 100 % reduced inputs of Norwegian anthropogenic nutrients (N and P).



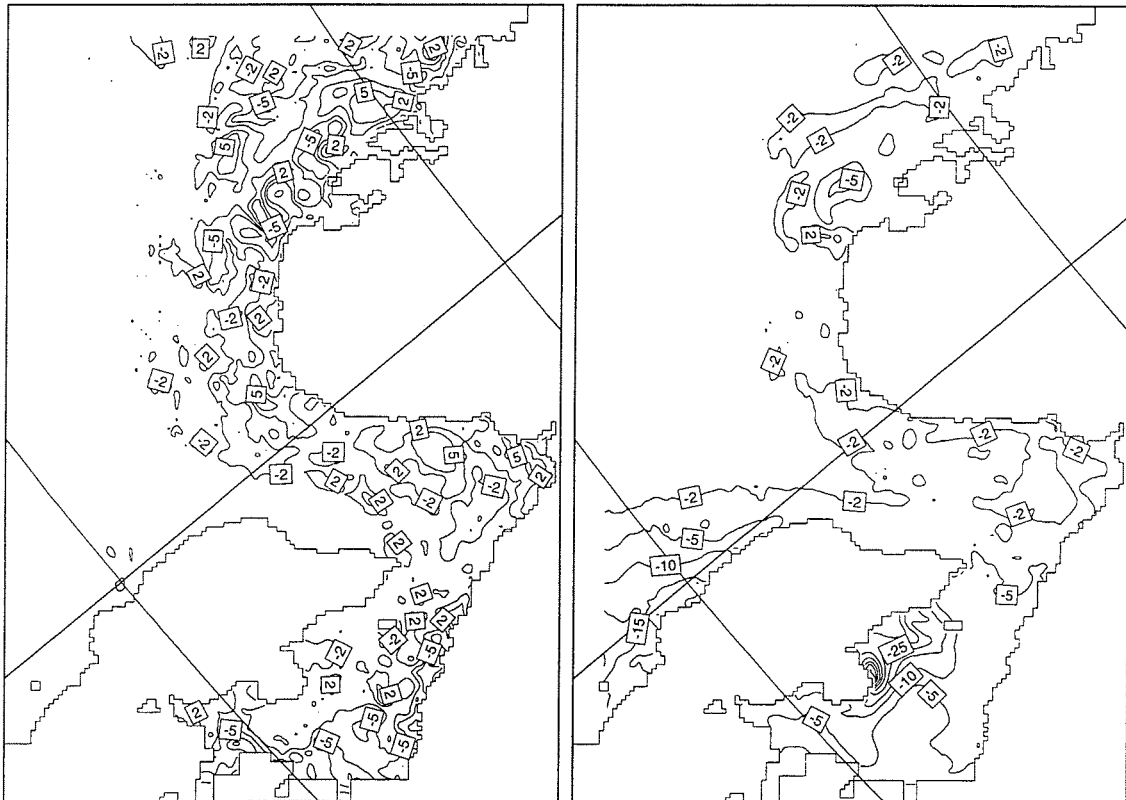
ENDRING I DIA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP3) ENDRING I FLA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP3)



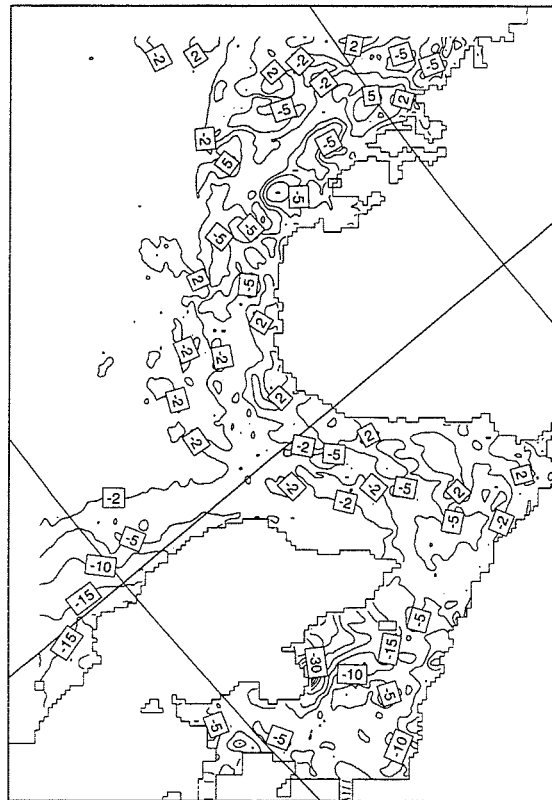
ENDRING I PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) (EXP1,EXP3)

FIG. 3. Modellert årlig (1993) endring i diatome, flagellat og total primærproduksjon ($\text{gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$) med 100 % reduksjon i tilførsler av utenlandske antropogene næringsstoffer (N og P).

Modeled yearly (1993) change in diatom, flagellate and total primary production ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) with 100 % reduced inputs of foreign anthropogenic nutrients (N and P).



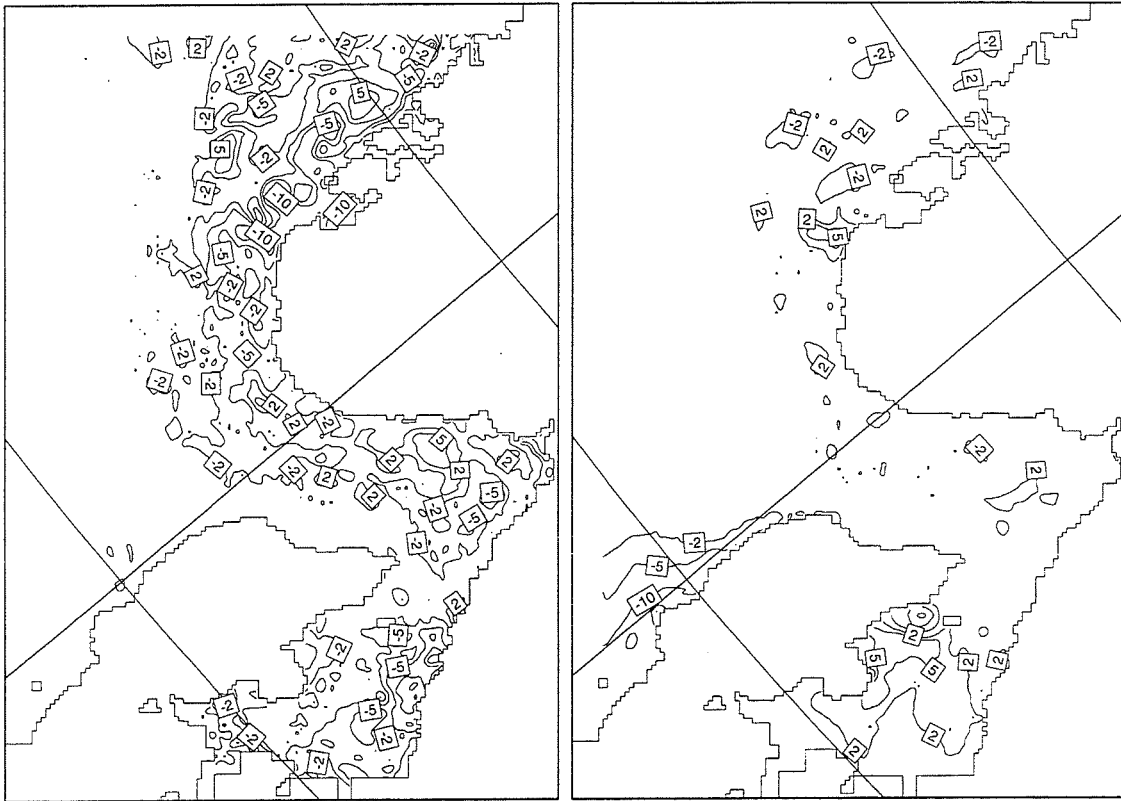
ENDRING I DIA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP4) ENDRING I FLA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP4)



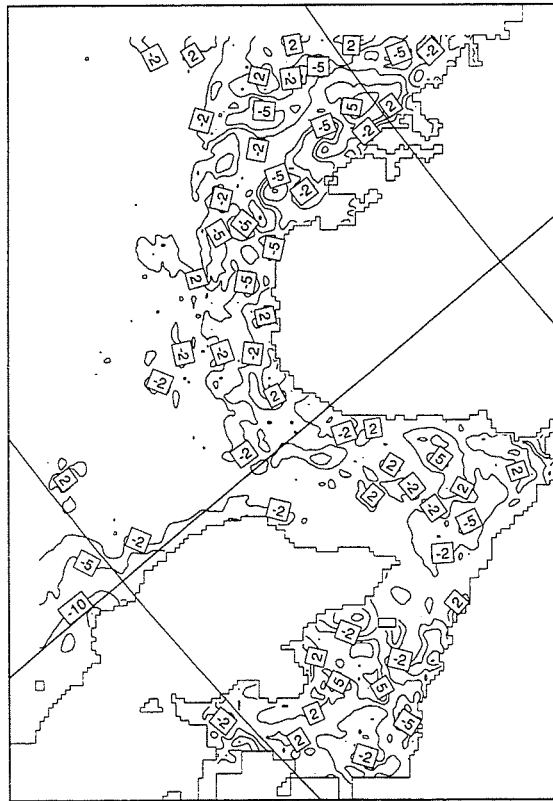
ENDRING I PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) (EXP1,EXP4)

FIG. 4. Modellert årlig (1993) endring i diatome, flagellat og total primærproduksjon ($\text{gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$) med 50 % reduksjon i tilførsler av utenlandske antropogene næringssalter (N og P).

Modeled yearly (1993) change in diatom, flagellate and total primary production ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) with 50 % reduced inputs of foreign anthropogenic nutrients (N and P).



ENDRING I DIA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP5) ENDRING I FLA. PROD. ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$)(EXP1, EXP5)



ENDRING I PRODUKSJON ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) (EXP1,EXP5)

FIG. 5. Modellert årlig (1993) endring i diatome, flagellat og total primærproduksjon ($\text{gCm}^{-2}\text{år}^{-1}$) med 50 % reduksjon i tilførsler av utenlandske antropogent fosfor.
Modeled yearly (1993) change in diatom, flagellate and total primary production ($\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$) with 50 % reduced inputs of foreign anthropogenic phosphorous.

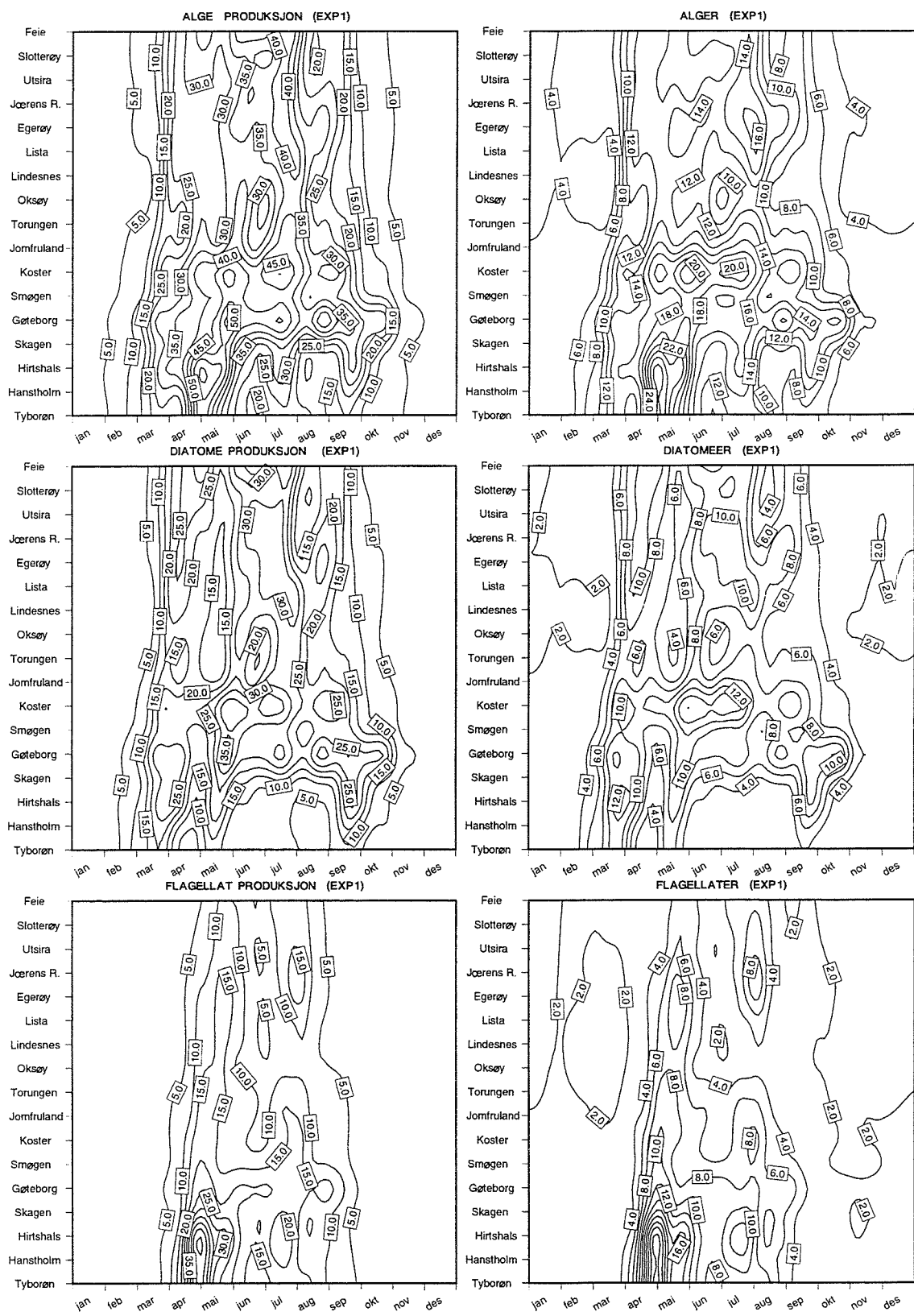


FIG. 6. Årssyklus (1993) av modellert total alge, diatome og flagellat produksjon ($mgCm^{-3}d^{-1}$) og konsentrasjon ($mgNm^{-3}$) midlet over øvre 30m og 12km ut fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge. Annual cycle (1993) of modeled total algae, diatom and flagellate production ($mgCm^{-3}d^{-1}$) and concentration ($mgNm^{-3}$) averaged over the upper 30m and 12 km out from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.

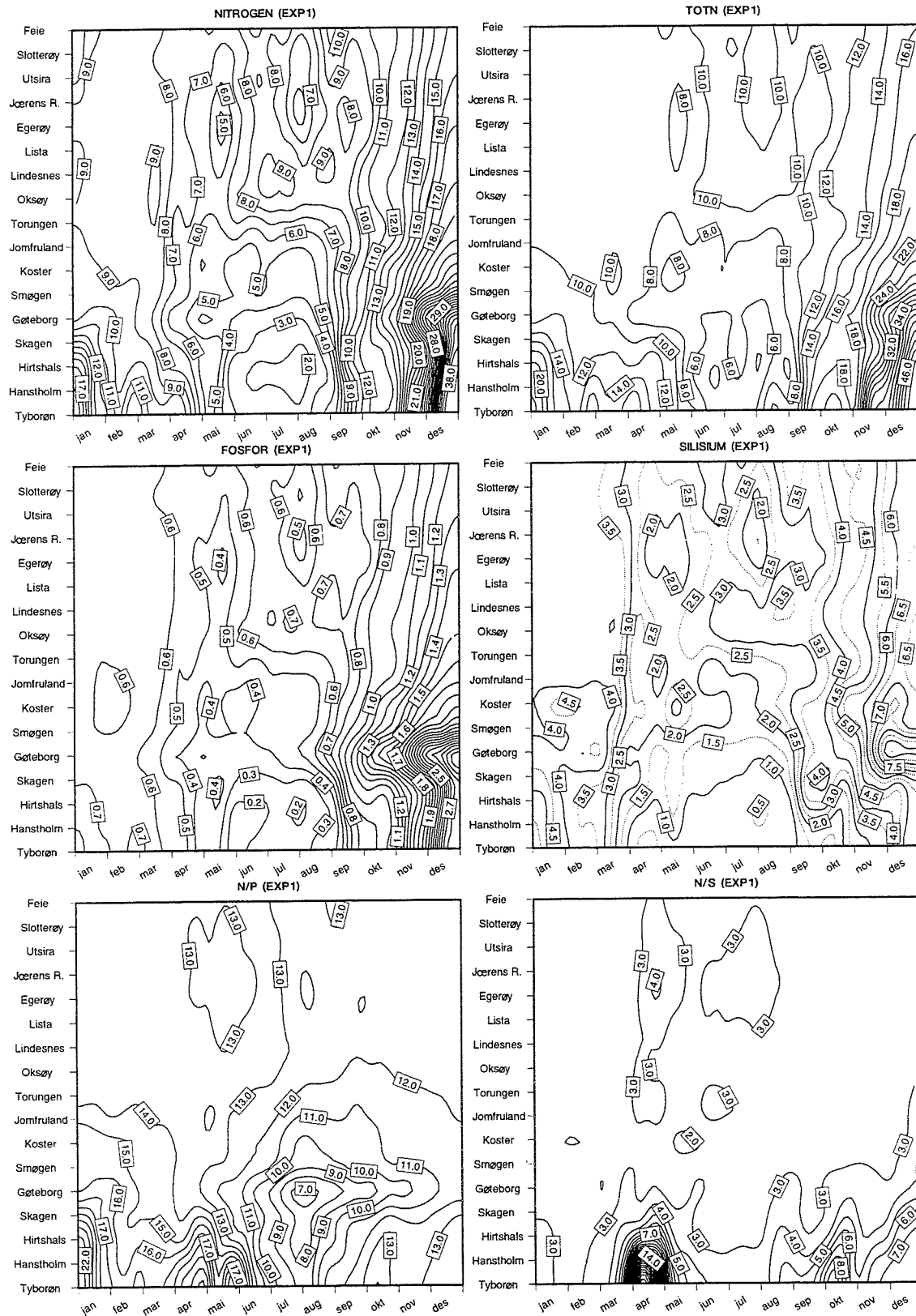


FIG. 7. Årssyklus (1993) av modellert konsentrasjon (μM) av uorganisk nitrogen, total nitrogen, uorganisk fosfor og silisium, samt N/P og N/Si forhold midlet over øvre 30m og 12km ut fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge.

Annual cycle (1993) of modeled concentration (μM) of inorganic nitrogen, total nitrogen, inorganic phosphorous and silicon, and N/P and N/Si ratios averaged over the upper 30m and 12 km out from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.

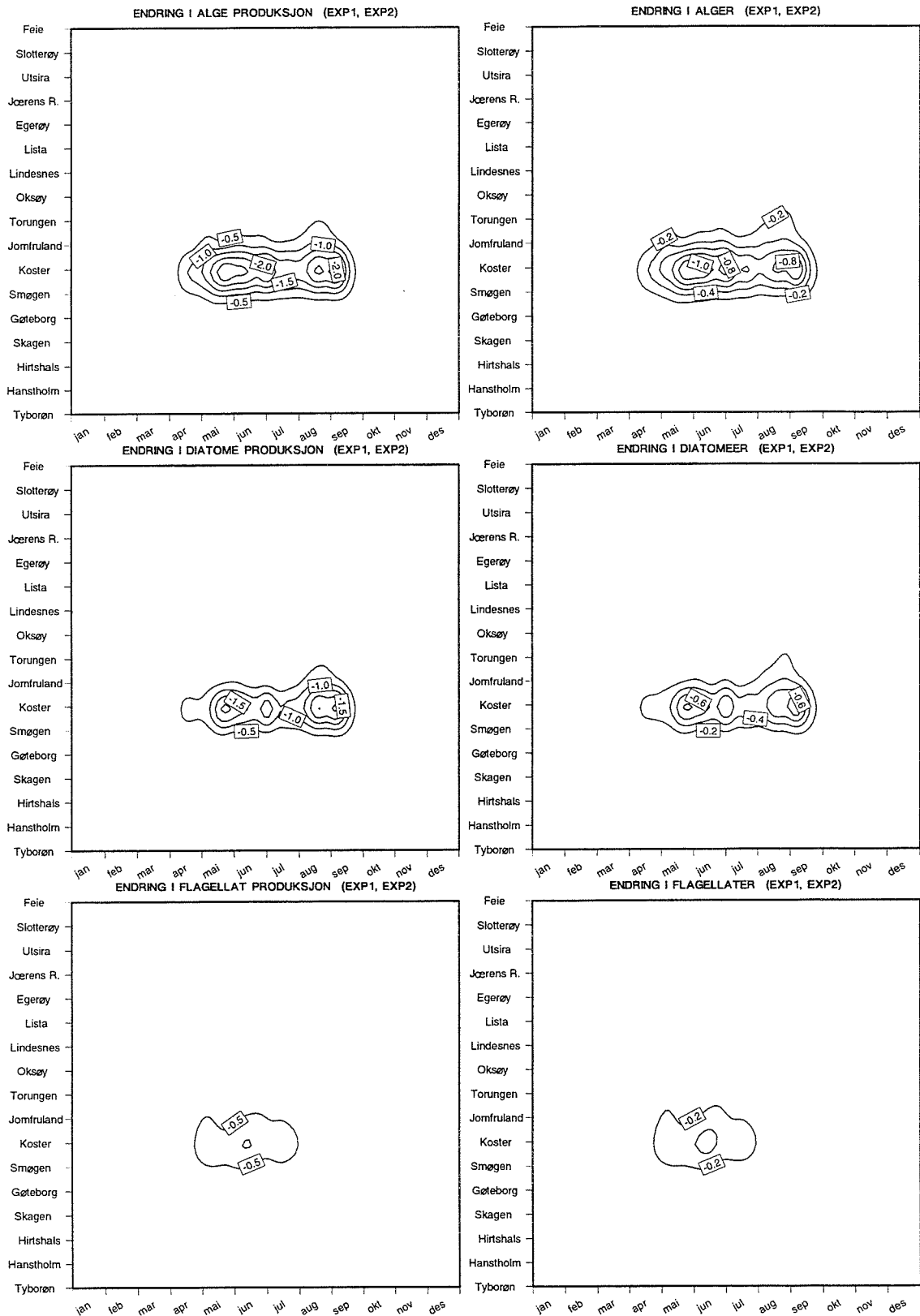


FIG. 8. Årssyklus (1993) av forandring (100 % reduksjon i norske antropogene tilførsler av N og P) i modellert total alge, diatome og flagellat produksjon ($mgCm^{-3}d^{-1}$) og konsentrasjon ($mgNm^{-3}$) midlet over øvre 30m og 12km ut fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge.

Annual cycle (1993) of change (100 % reduction in norwegian anthropogenic inputs of N and P) in modeled total algae, diatom and flagellate production ($mgCm^{-3}d^{-1}$) and concentration ($mgNm^{-3}$) averaged over the upper 30m and 12 km out from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.

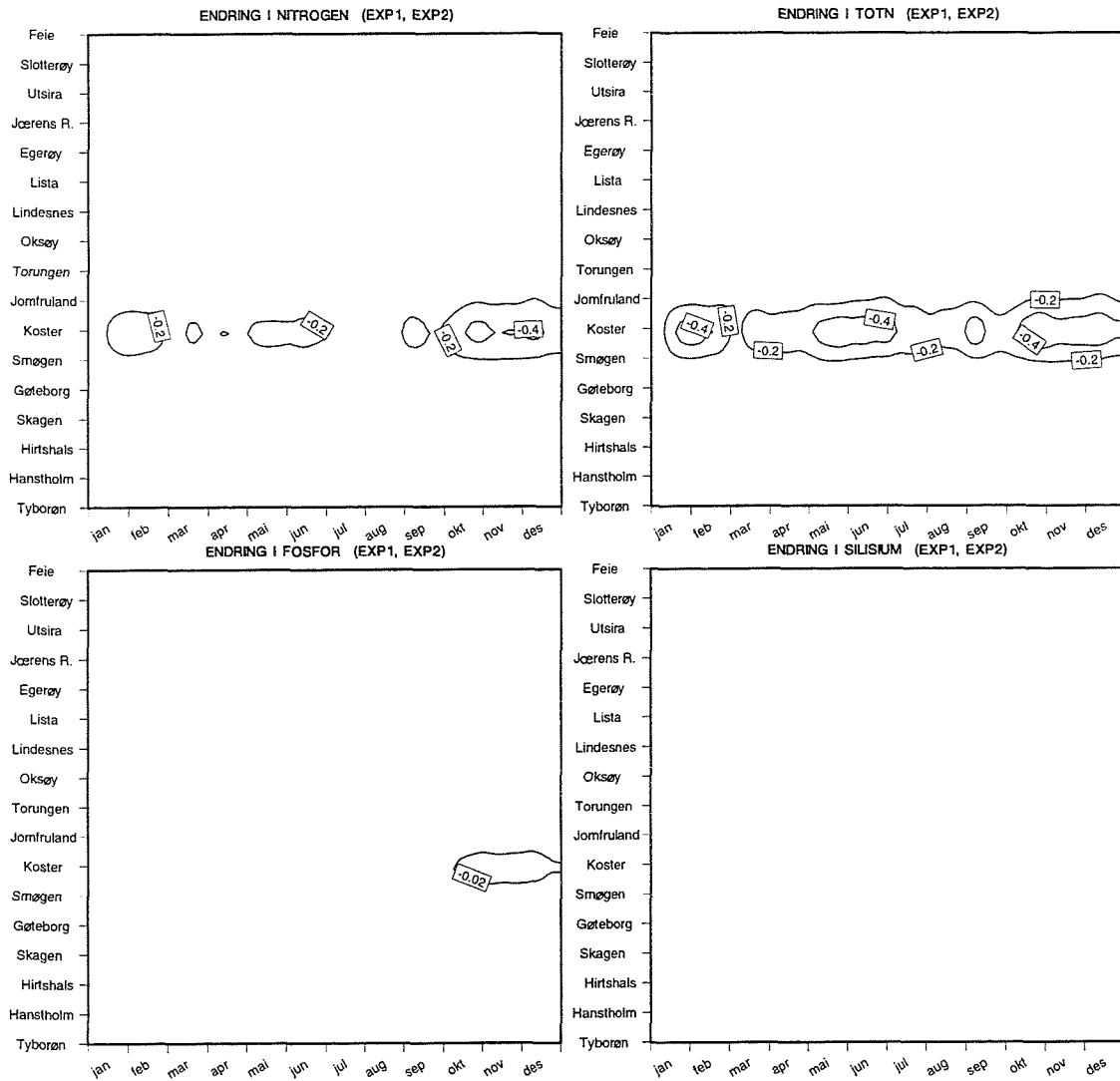


FIG. 9. Årssyklus (1993) av forandring (100 % reduksjon i norske antropogene tilførsler av N og P) i modellert konsentrasjon (μM) av uorganisk nitrogen, total nitrogen og uorganisk fosfor og silisium midlet over øvre 30m og 12km ut fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge.

Annual cycle (1993) of change (100 % reduction in norwegian anthropogenic inputs of N and P) in modeled concentration (μM) of inorganic nitrogen, total nitrogen and inorganic phosphorous and silicon averaged over the upper 30m and 12 km out from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.

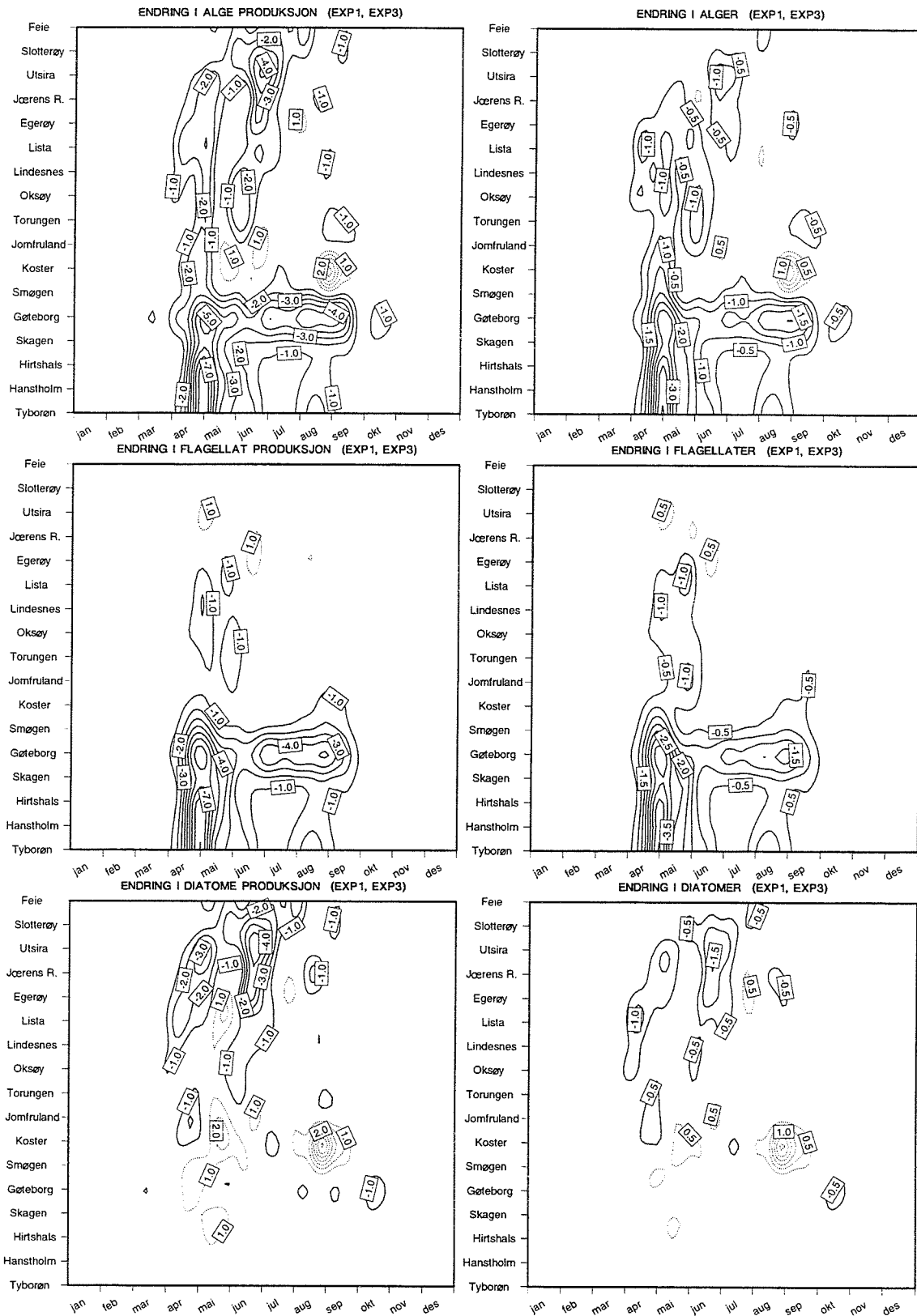


FIG. 10. Årssyklus (1993) av forandring (100 % reduksjon i utenlandske antropogene tilførsler av N og P) i modellert total alge, diatome og flagellat produksjon ($\text{mgCm}^{-3}\text{d}^{-1}$) og konsentrasjon (mgNm^{-3}) midlet over øvre 30m og 12km ut fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge.

Annual cycle (1993) of change (100 % reduction in foreign anthropogenic inputs of N and P) in modeled total algae, diatom and flagellate production ($\text{mgCm}^{-3}\text{d}^{-1}$) and concentration (mgNm^{-3}) averaged over the upper 30m and 12 km out from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.

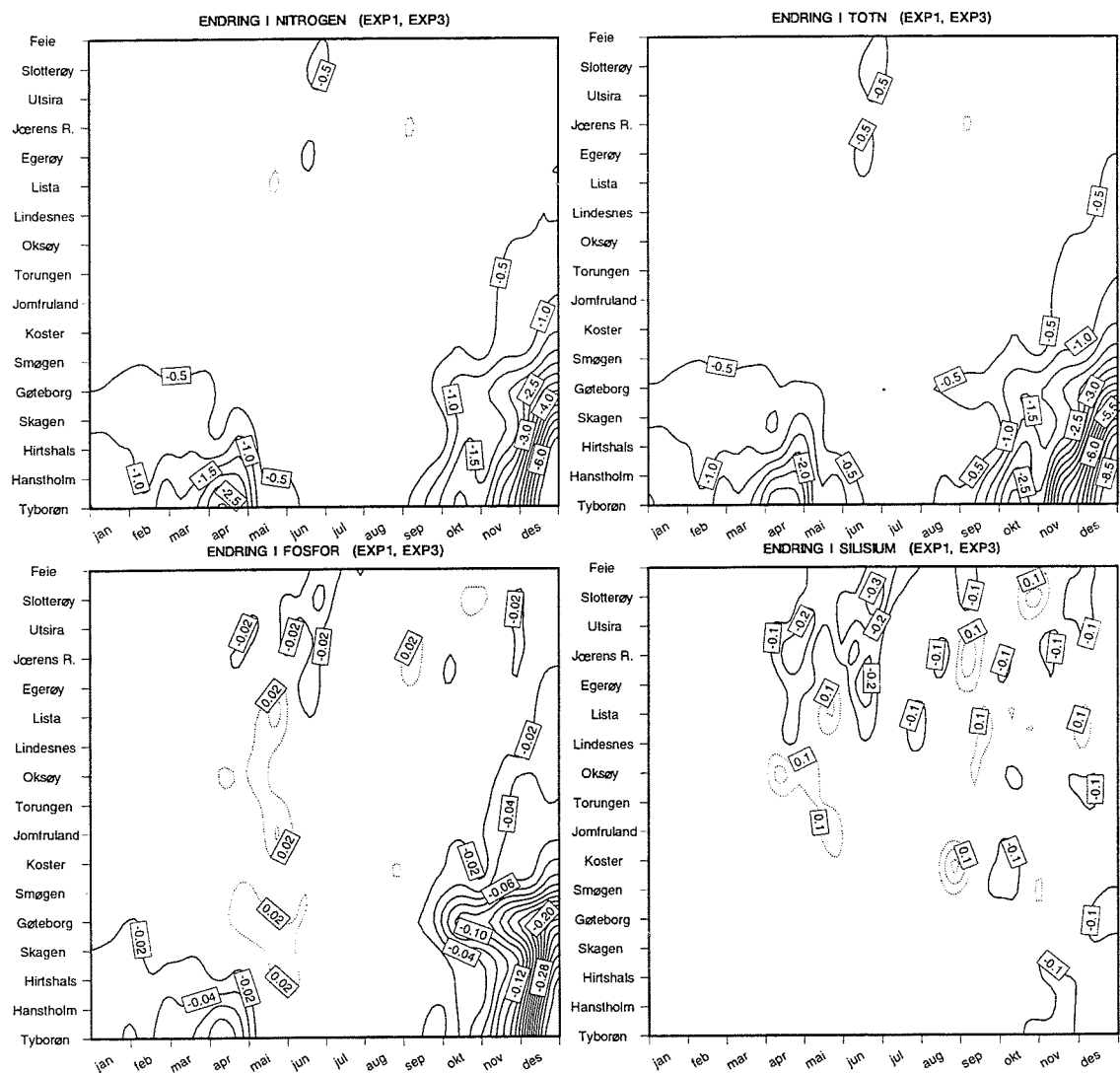


FIG. 11. Årssyklus (1993) av forandring (100 % reduksjon i utenlandske antropogene tilførsler av N og P) i modellert konsentrasjon (μM) av uorganisk nitrogen, total nitrogen og uorganisk fosfor og silisium midlet over øvre 30m og 12km ut fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge.

Annual cycle (1993) of change (100 % reduction in anthropogenic inputs of N and P) in modeled concentration (μM) of inorganic nitrogen, total nitrogen and inorganic phosphorous and silicon averaged over the upper 30m and 12 km out from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.

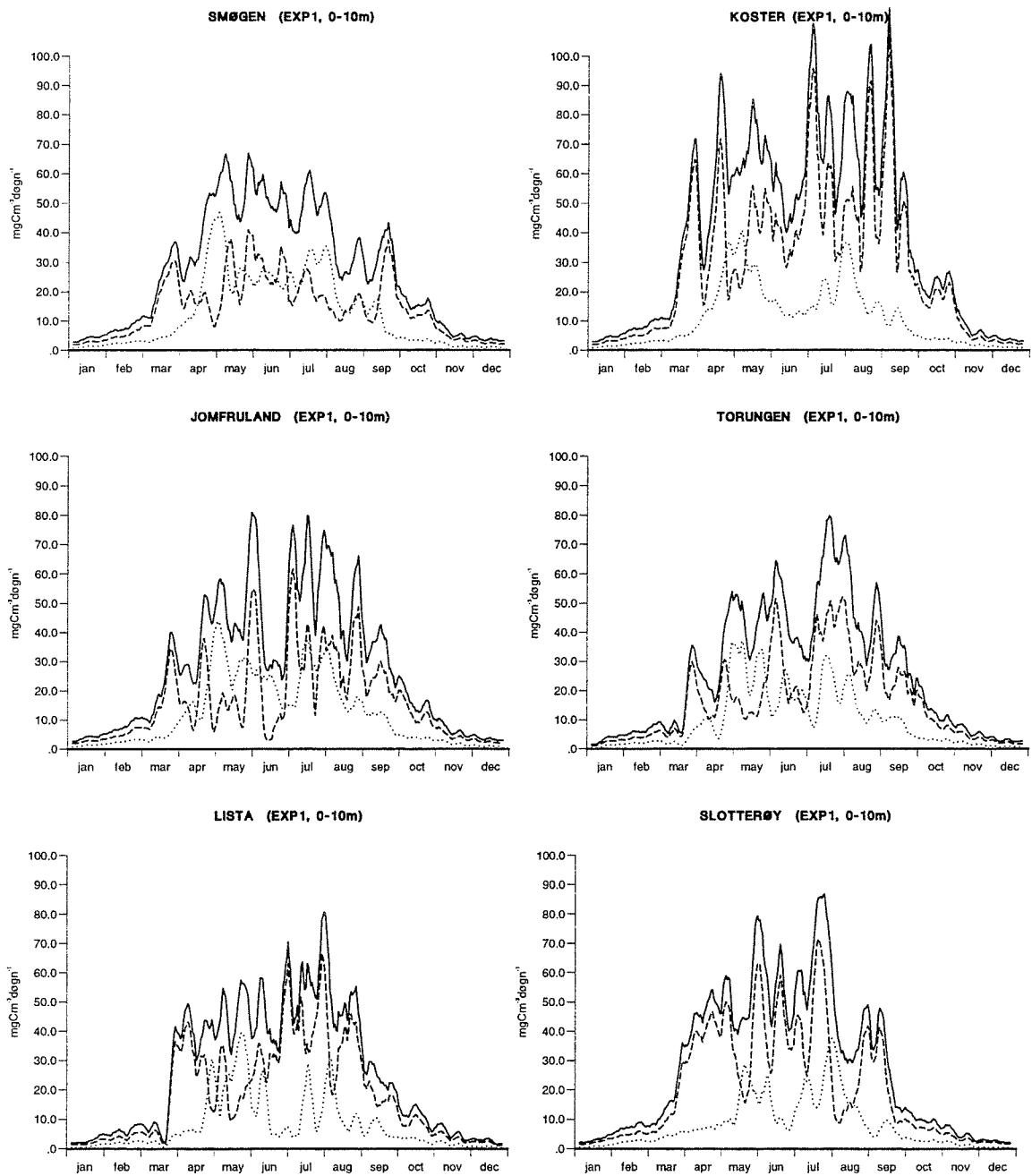


FIG. 12. Tidsserier av modellert (med alle næringstilførsler) total (hel), diatome (stiplet), flagellat (prikket) produksjon midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten. *Time series of modeled (with all nutrient supplies) total (solid), diatom (dashed) and flagellate (dots) production averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.*

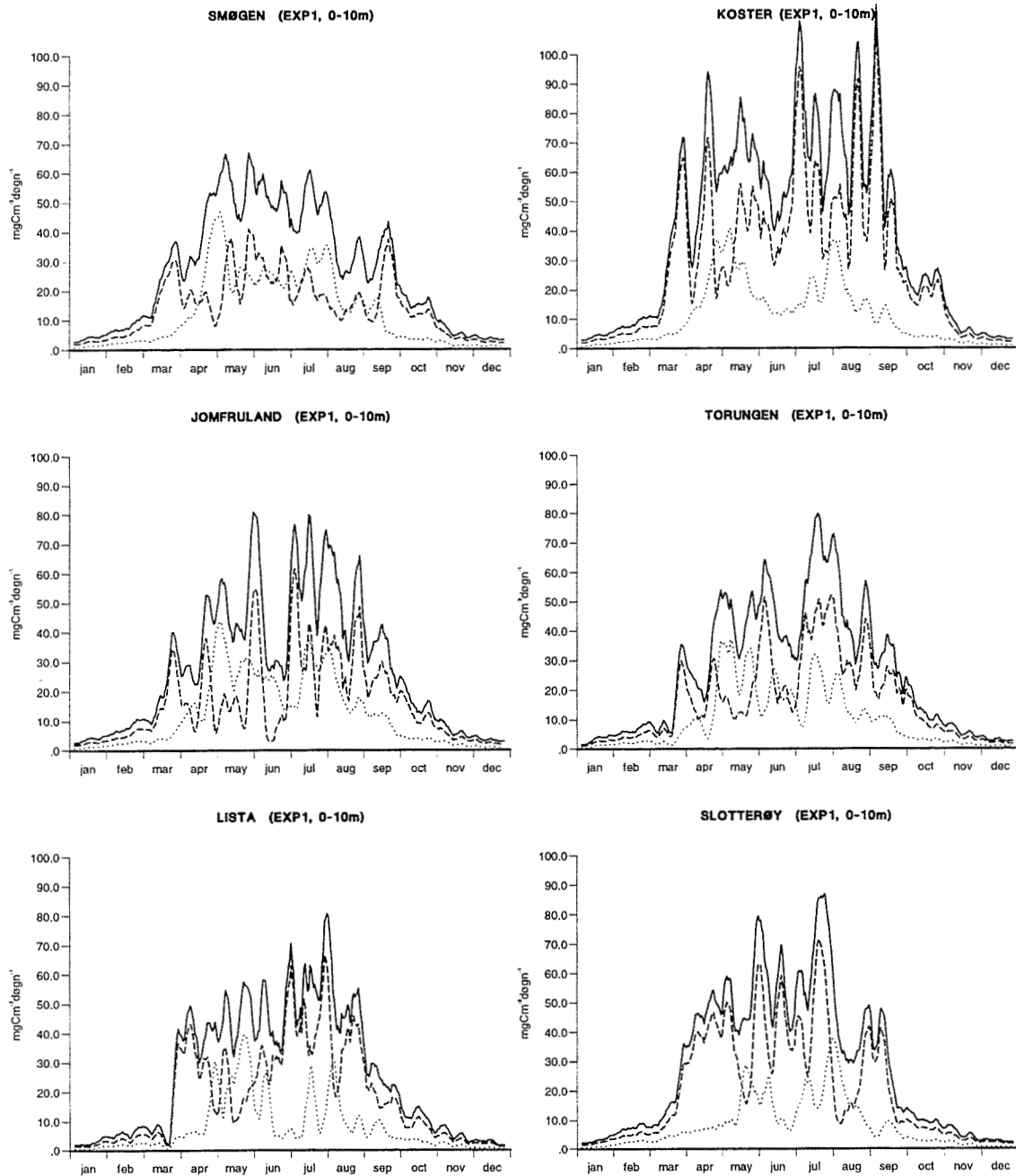


FIG. 12. Tidsserier av modellert (med alle næringstilførsler) total (hel), diatome (stiplet), flagellat (prikket) produksjon midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten. *Time series of modeled (with all nutrient supplies) total (solid), diatom (dashed) and flagellate (dots) production averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.*

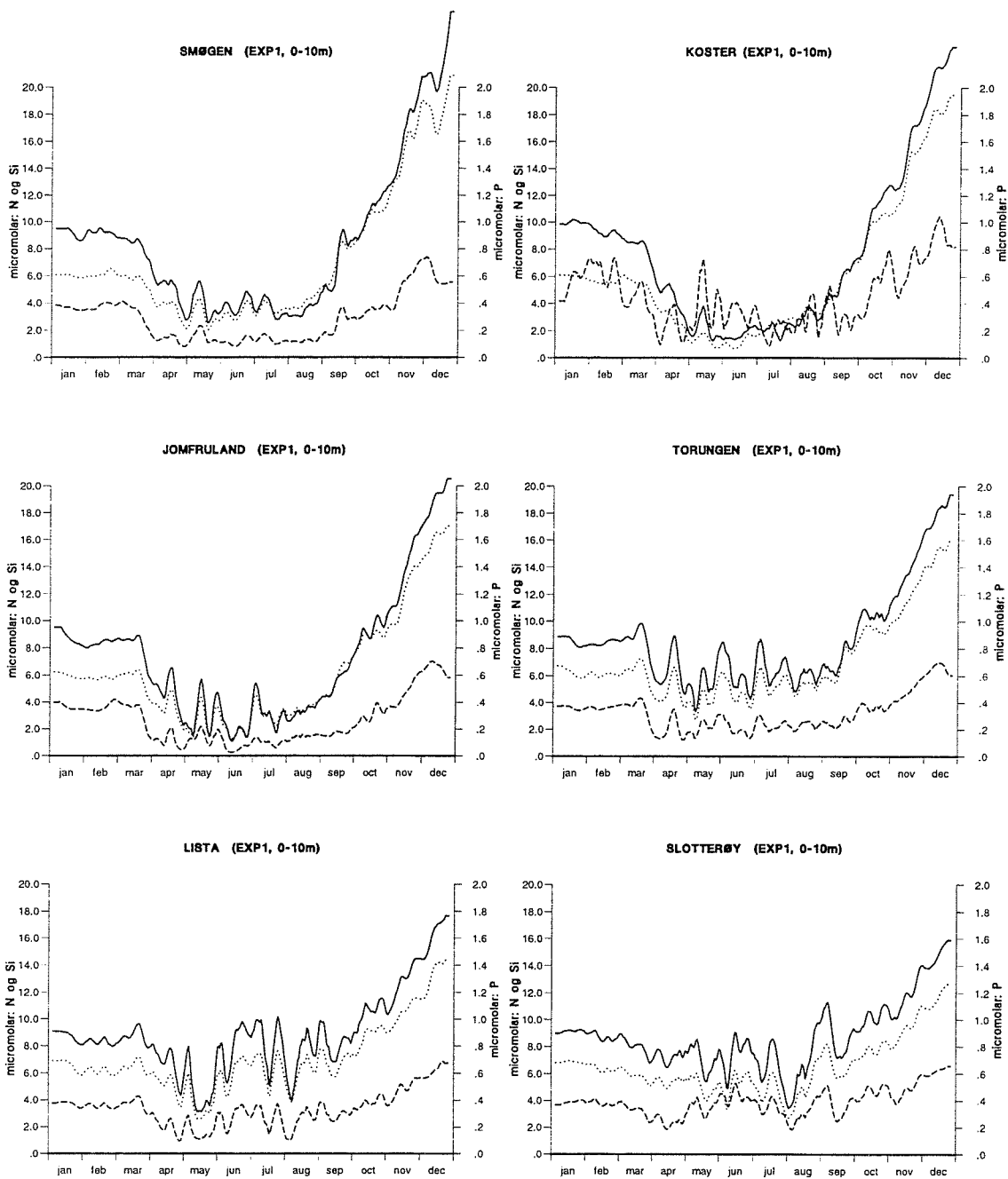


FIG. 13. Tidsserier av modellert konsentrasjoner av uorganisk nitrogen(hel), fosfor(stiplet) og silisium(prikket) midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.
Time series of modeled inorganic nitrogen(solid), phosphorous(dots) and silicon(dashed) averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

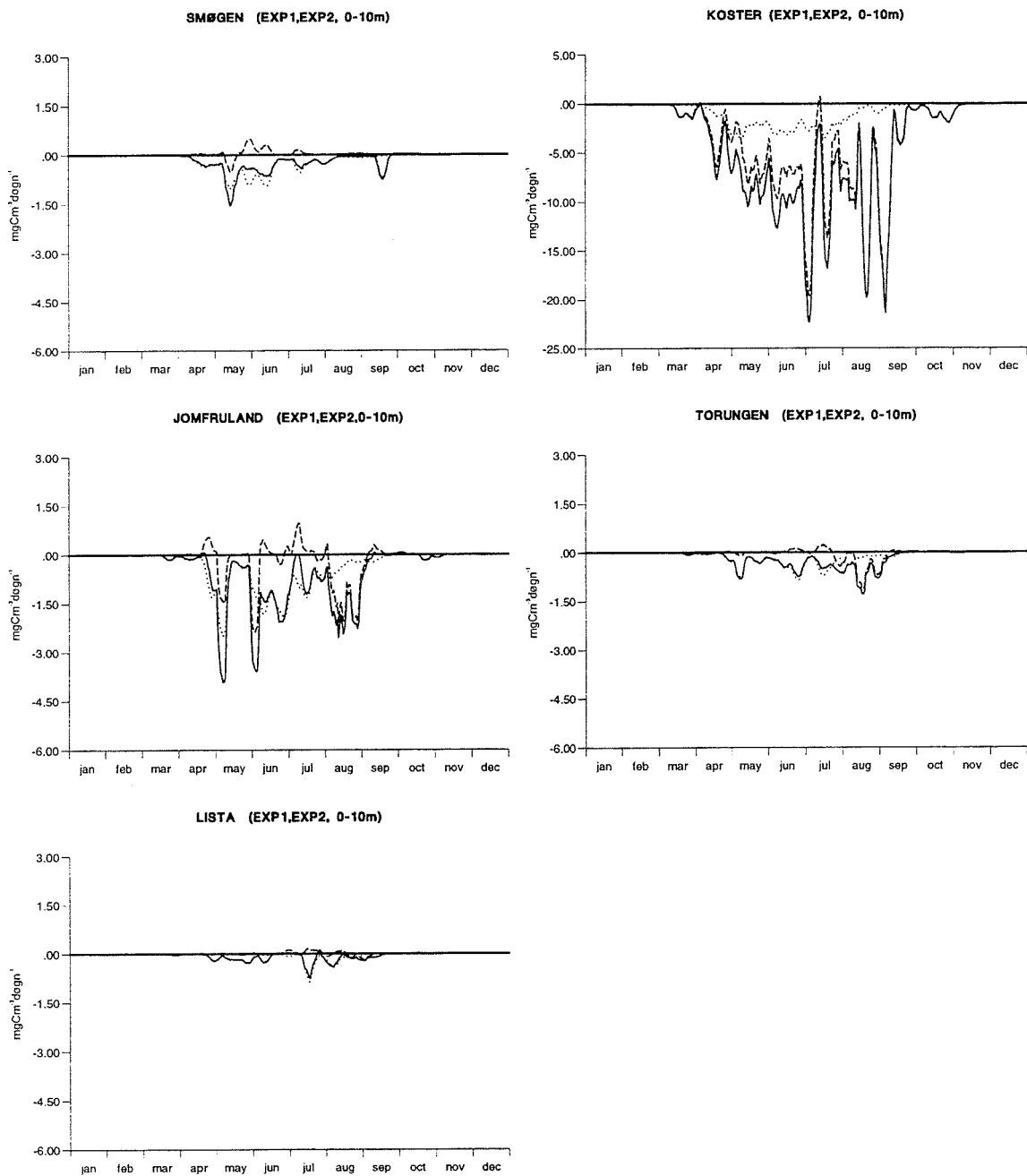


FIG. 14. Tidsserier av forandring i (100 % reduserte norske antropogene tilførsler av N og P) total (hel), diatome (stiplet), flagellat (prikket) produksjon midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in (with 100 % reduced Norwegian anthropogenic supplies of N and P) total (solid), diatom (dashed) and flagellate (dots) production averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

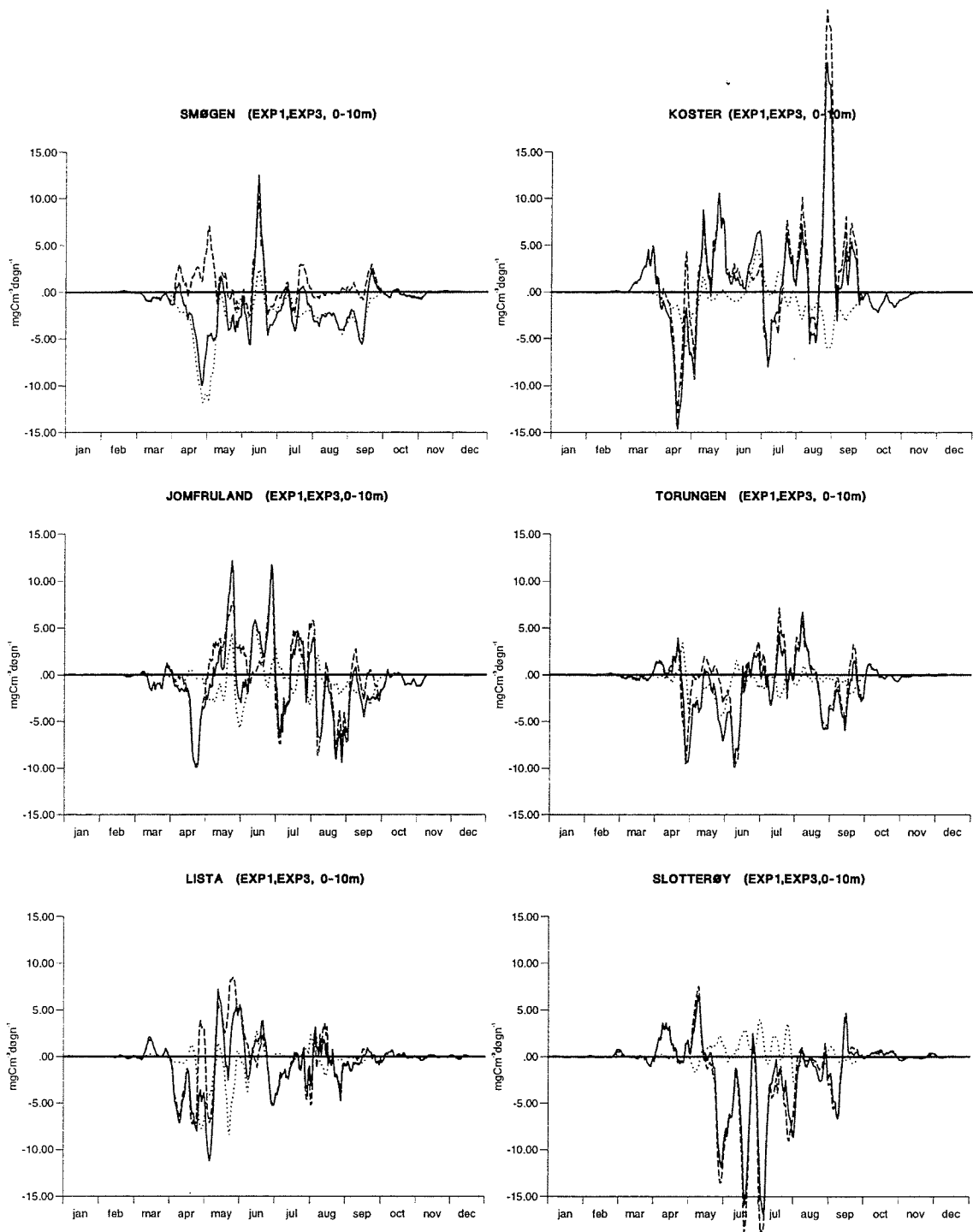


FIG. 15. Tidsserier av forandring i (100 % reduserte utenlandske antropogene tilførsler av N og P) total (hel), diatome (stiplet), flagellat (prikket) produksjon midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in (with 100 % reduced foreign anthropogenic supplies of N and P) total (solid), diatom (dashed) and flagellate (dots) production averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

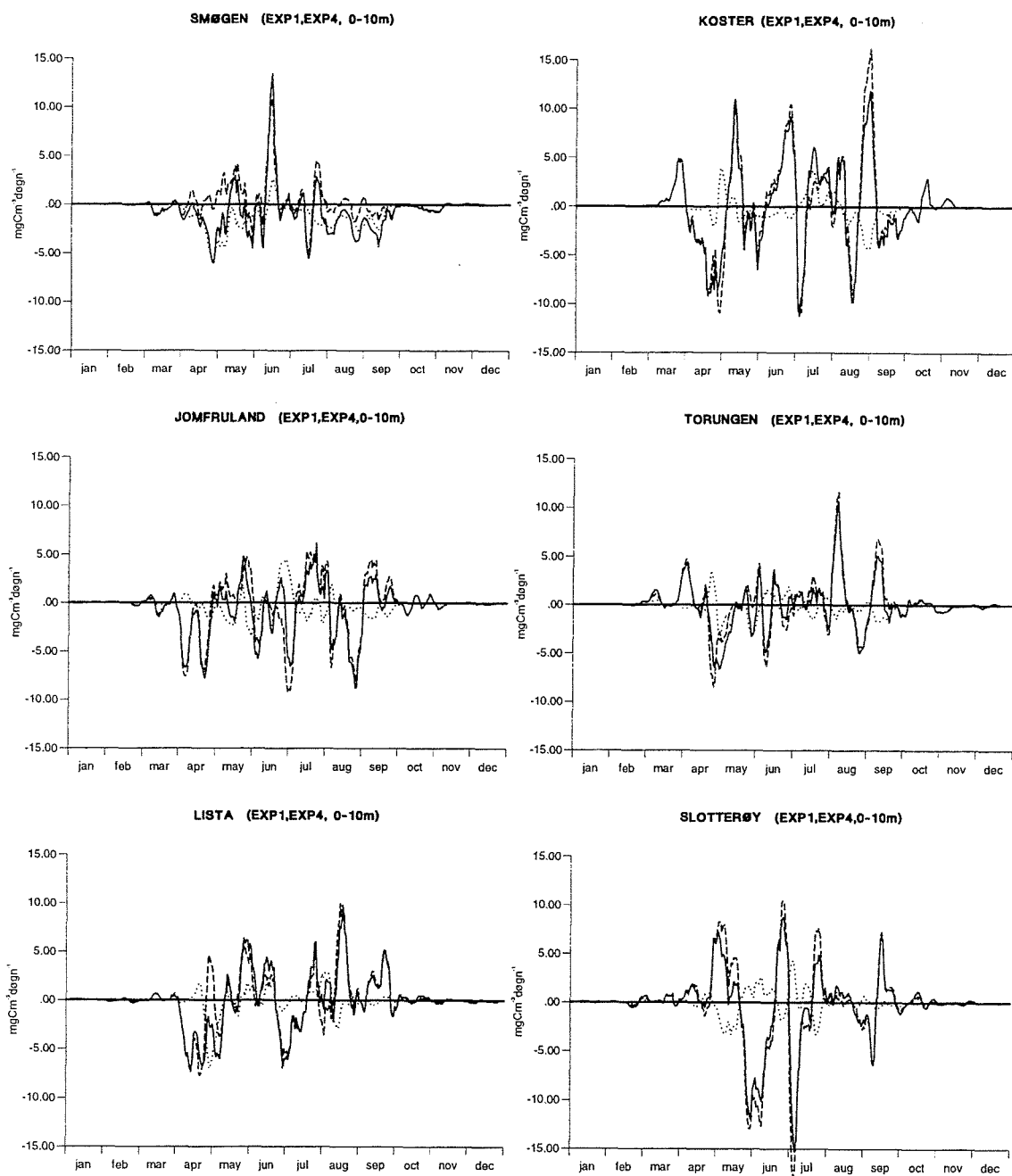


FIG. 16. Tidsserier av forandring i (50 % reduserte utenlandske antropogene tilførsler av N og P) total (hel), diatome (stiplet), flagellat (prikket) produksjon midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in (with 50 % reduced foreign anthropogenic supplies of N and P) total (solid), diatom (dashed) and flagellate (dots) production averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

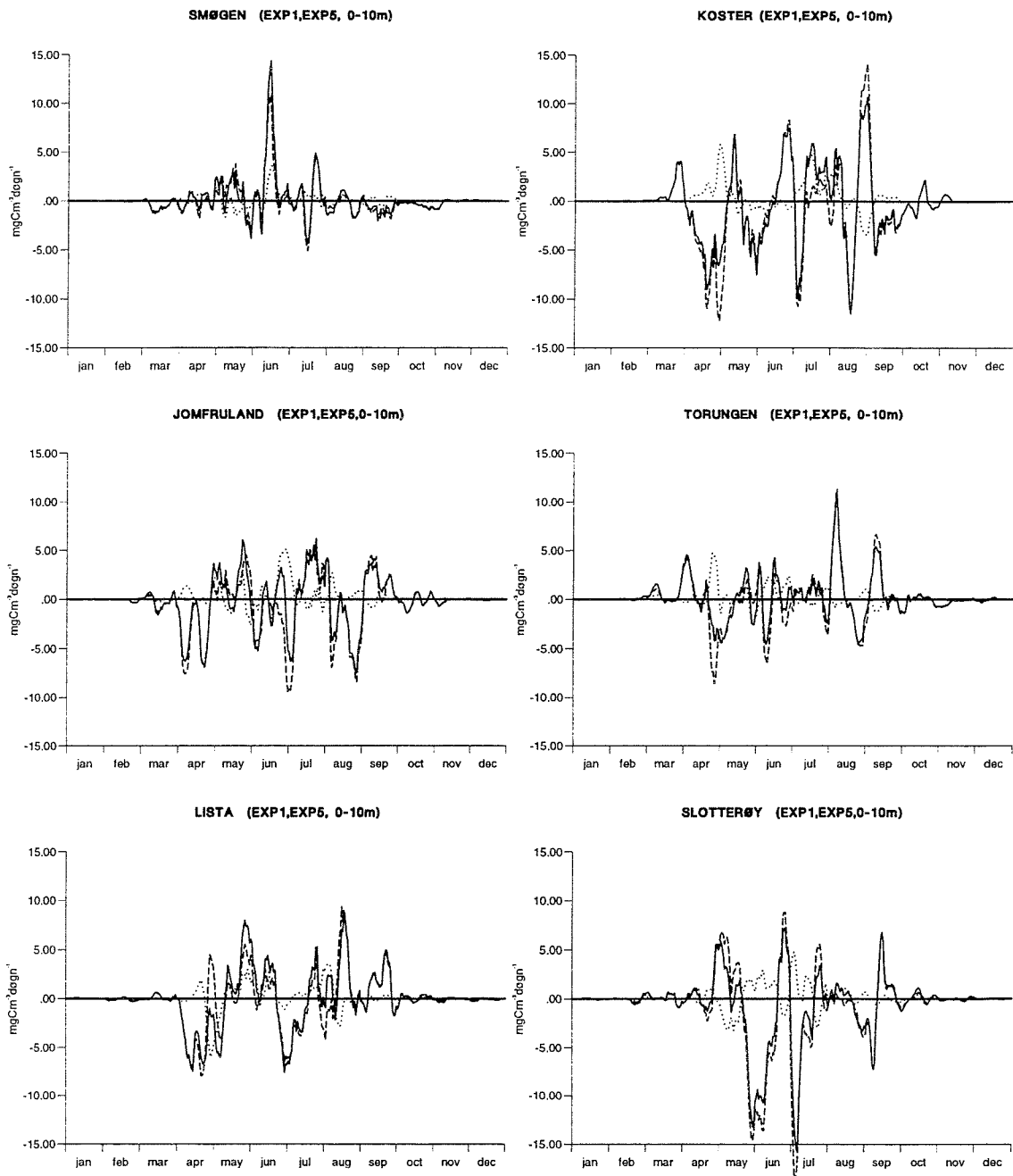


FIG. 17. Tidsserier av forandring i (50 % reduserte utenlandske antropogene tilførsler av fosfor) total (hel), diatome (stiplet), flagellat (prikket) produksjon midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in (with 50 % reduced foreign anthropogenic supplies of phosphorous) total (solid), diatom (dashed) and flagellate (dots) production averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

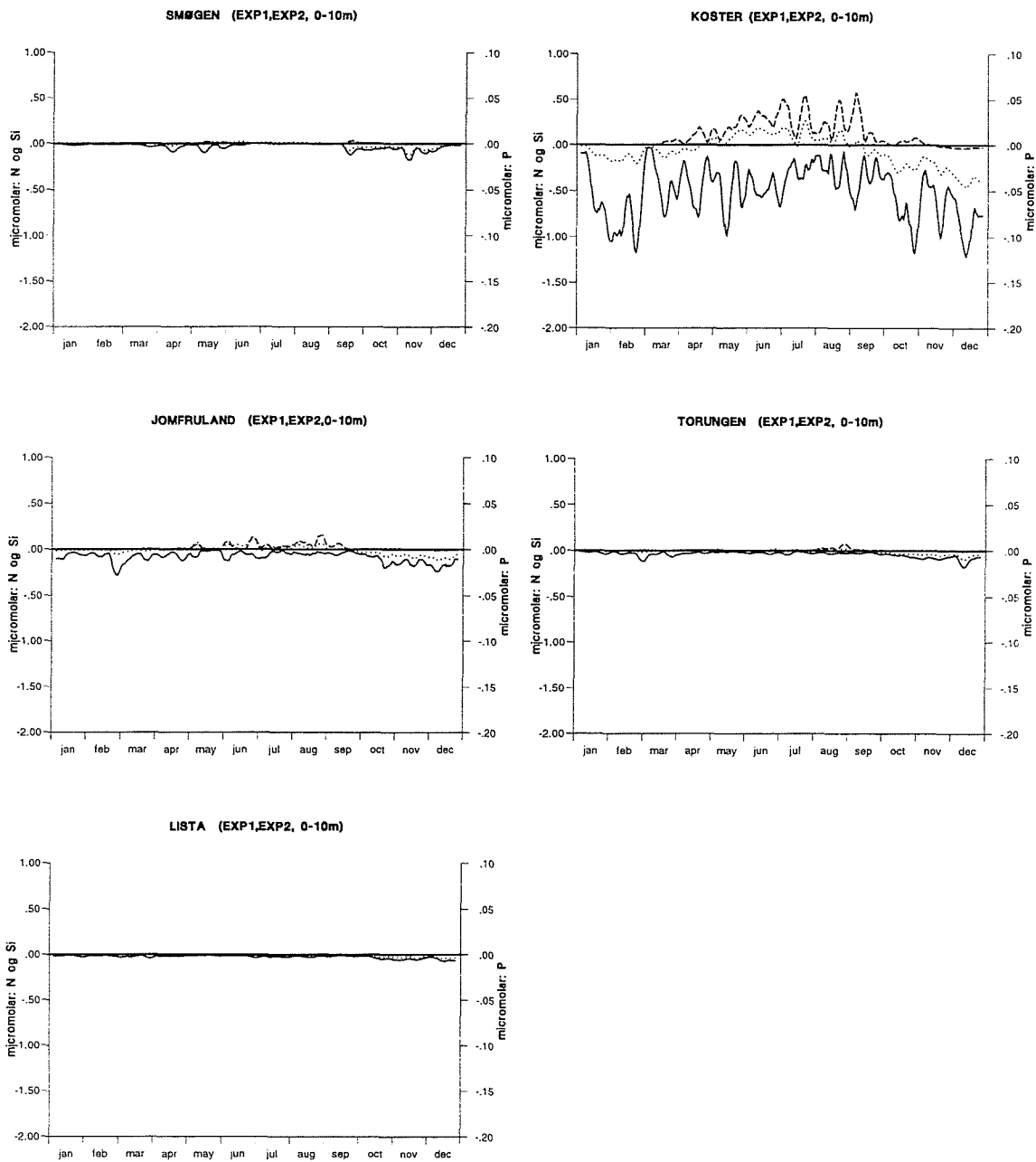


FIG. 18. Tidsserier av forandring i konsentrasjoner av (100 % redusert norske antropogene tilførsler av N og P) uorganisk nitrogen (hel), fosfor (stiplet) og silisium (prikket) midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in the concentration of (100 % reduced Norwegian anthropogenic supplies of N and P) inorganic nitrogen (solid), phosphorous (dots) and silicon (dashed) averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

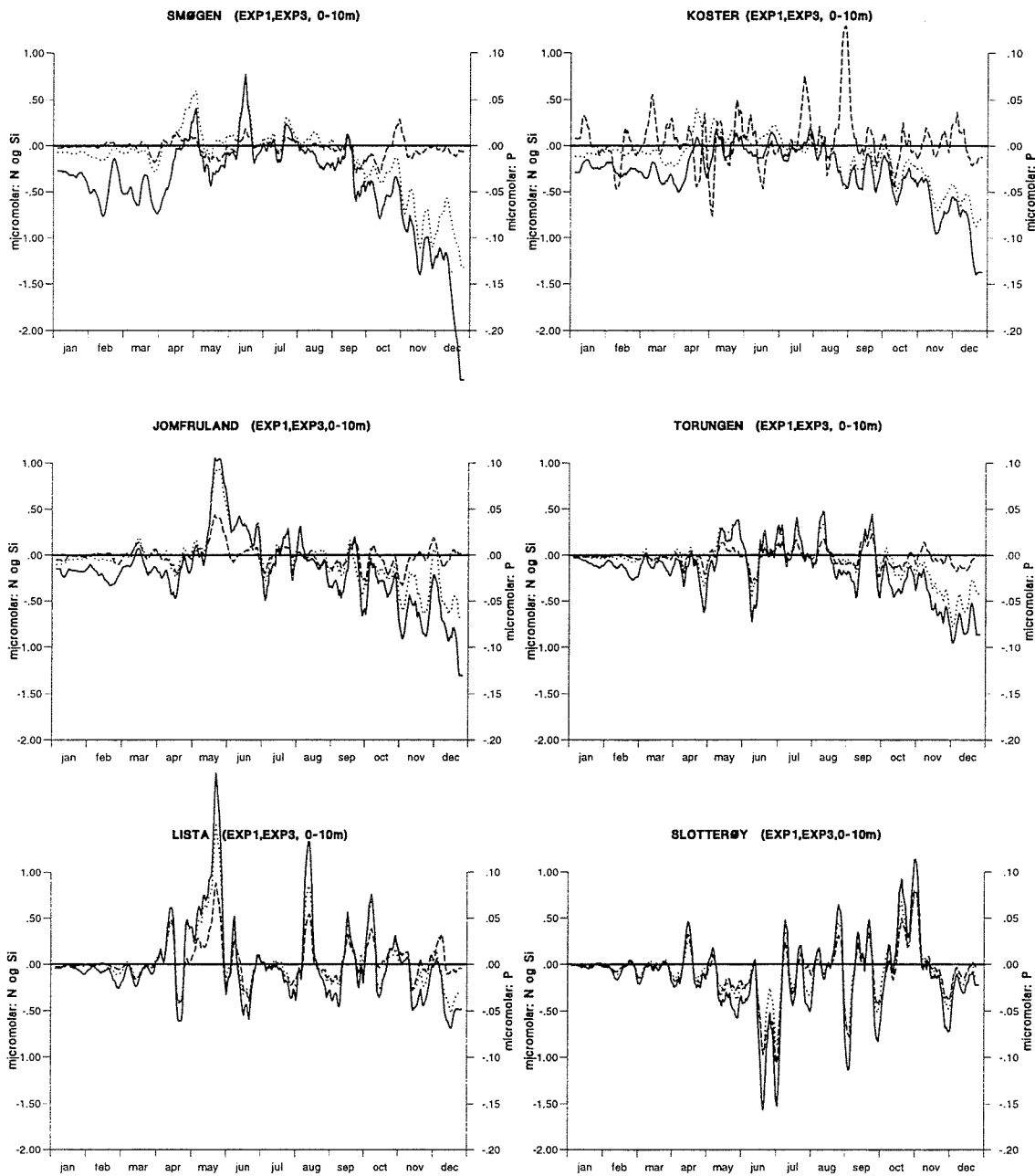


FIG. 19. Tidsserier av forandring i konsentrasjoner av (100 % redusert utenlandske antropogene tilførsler av N og P) uorganisk nitrogen (hel), fosfor (stiplet) og silisium (prikket) midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in the concentration of (100 % reduced foreign anthropogenic supplies of N and P) inorganic nitrogen (solid), phosphorous (dots) and silicon (dashed) averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

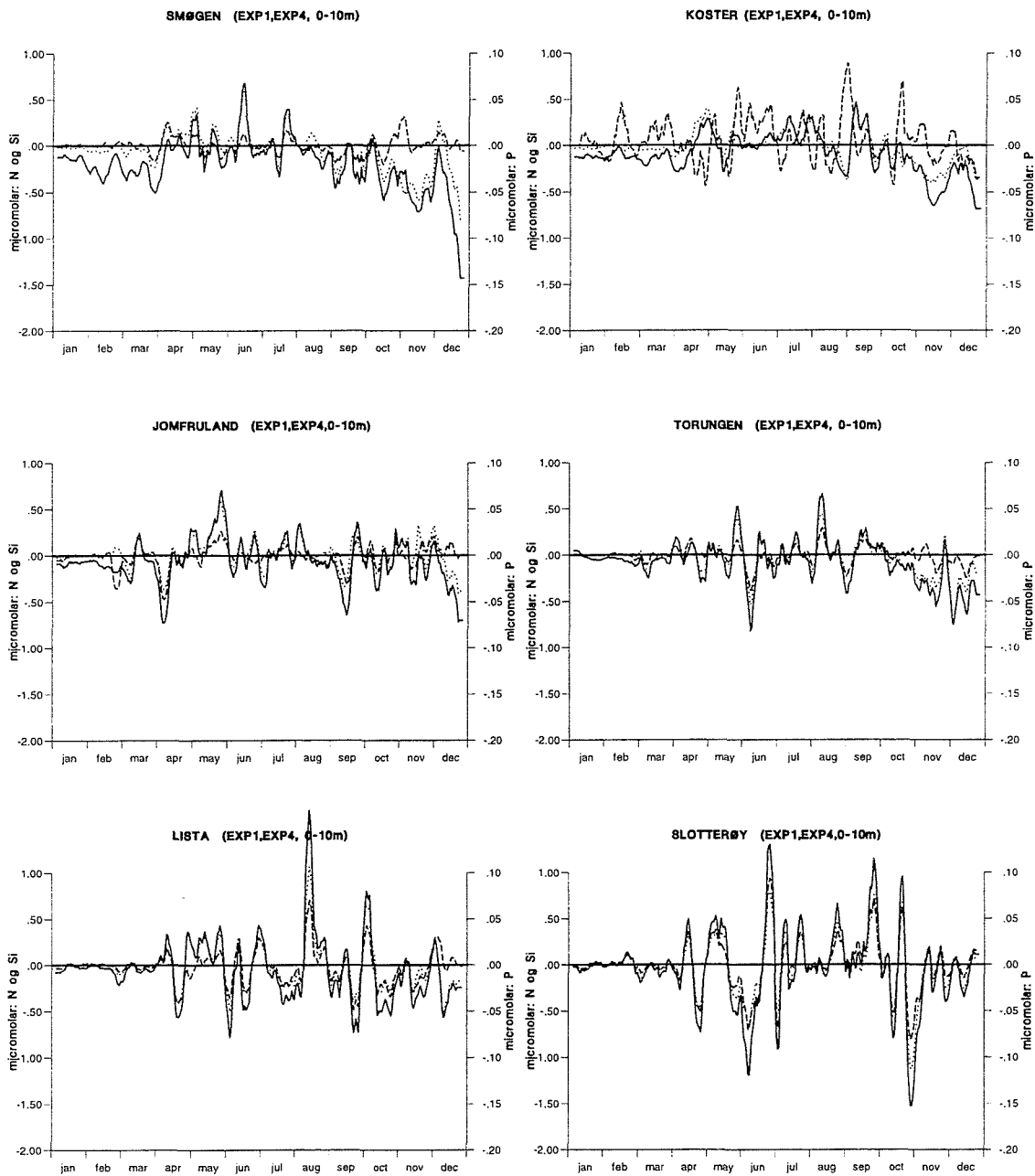


FIG. 20. Tidsserier av forandring i konsentrasjoner av (50 % redusert utenlandske antropogene tilførsler av N og P) uorganisk nitrogen (hel), fosfor (stiplet) og silisium (prikket) midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in the concentration of (50 % reduced foreign anthropogenic supplies of N and P) inorganic nitrogen (solid), phosphorous (dots) and silicon (dashed) averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

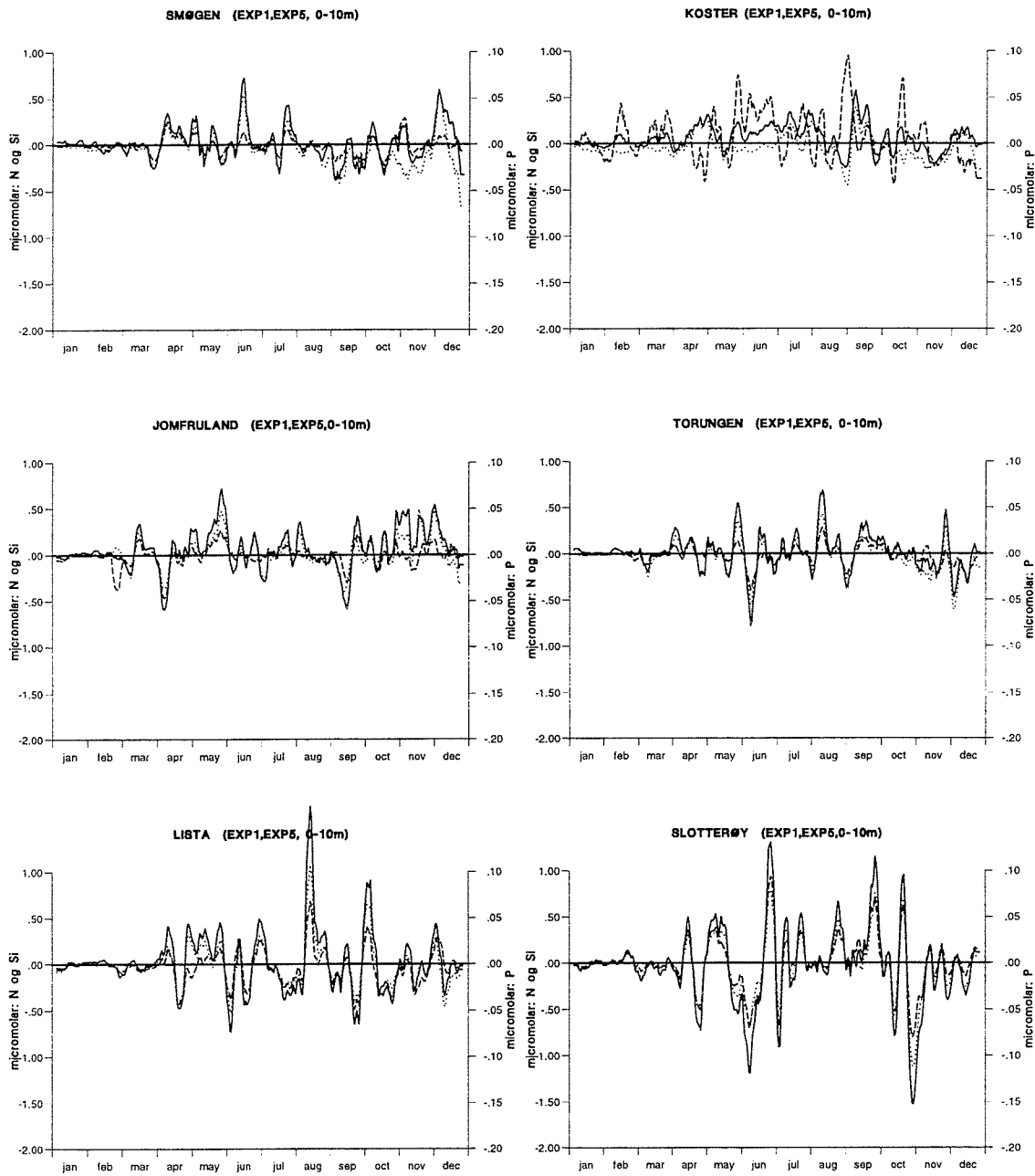


FIG. 21. Tidsserier av forandring i konsentrasjoner av (50 % redusert utenlandske antropogene tilførsler av fosfor) uorganisk nitrogen (hel), fosfor (stiplet) og silisium (prikket) midlet over øvre 10m og 6km ut fra utvalgte punkt langs kysten.

Time series of change in the concentration of (50 % reduced foreign anthropogenic supplies of phosphorous) inorganic nitrogen (solid), phosphorous (dots) and silicon (dashed) averaged over the upper 10m and 6km out from selected points along the coast.

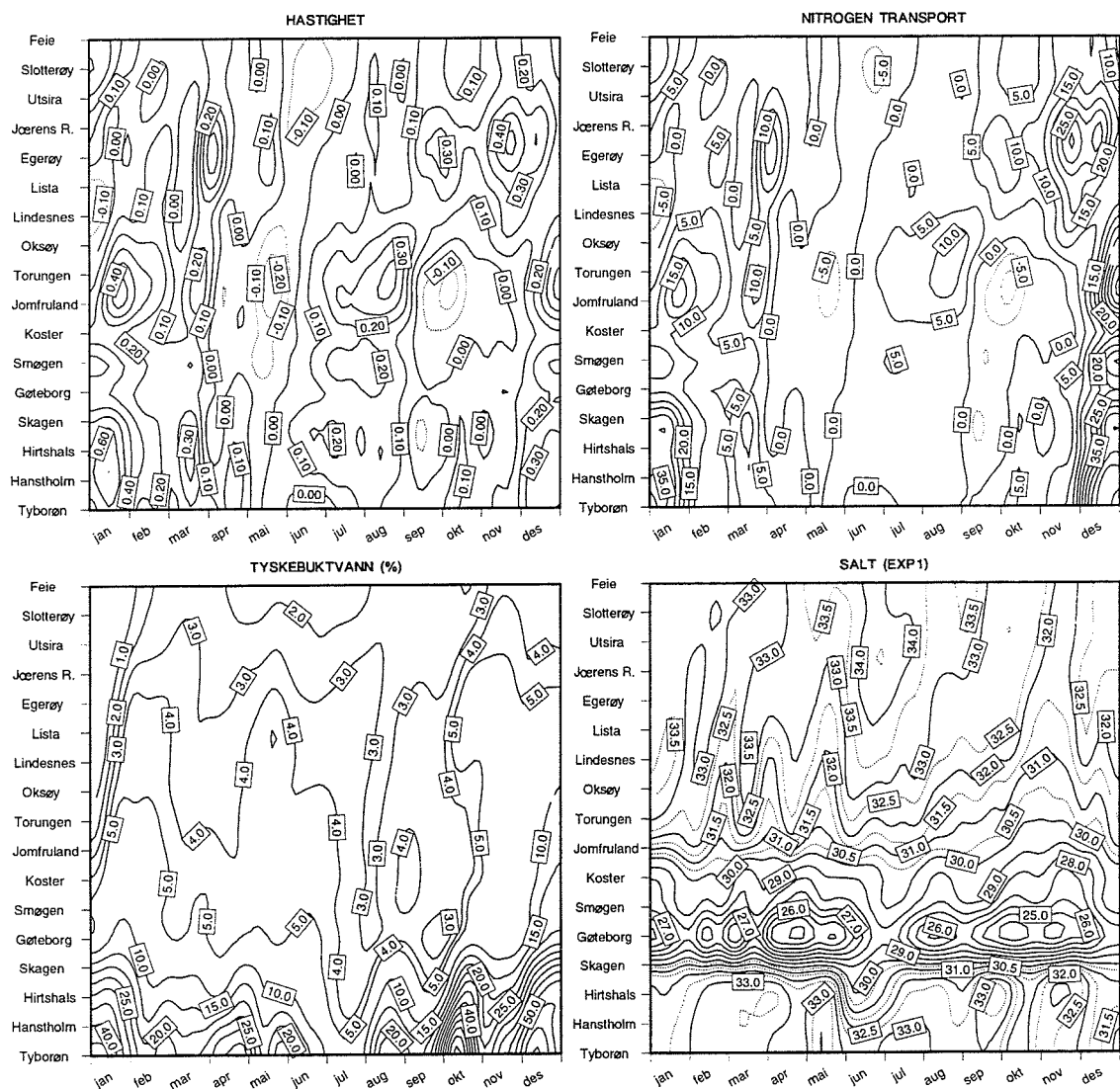


FIG. 22. Årssyklus (1993) av modellert (midlet over øvre 30m og 12km) hastighet (cm/s), nitrogen transport (kg/s) for valgt midlingsareal, % Tyskebukt vann og saltholdighet fra utvalgte punkt langs kysten av Danmark, Sverige og Norge.

Annual cycle (1993) of modeled (averaged over the upper 30m and 12 km) velocity (cm/s), inorganic nitrogen transport (kg/s) for selected averaging area, % German Bight Water and salinity from selected points at the coast of Denmark, Sweden and Norway.