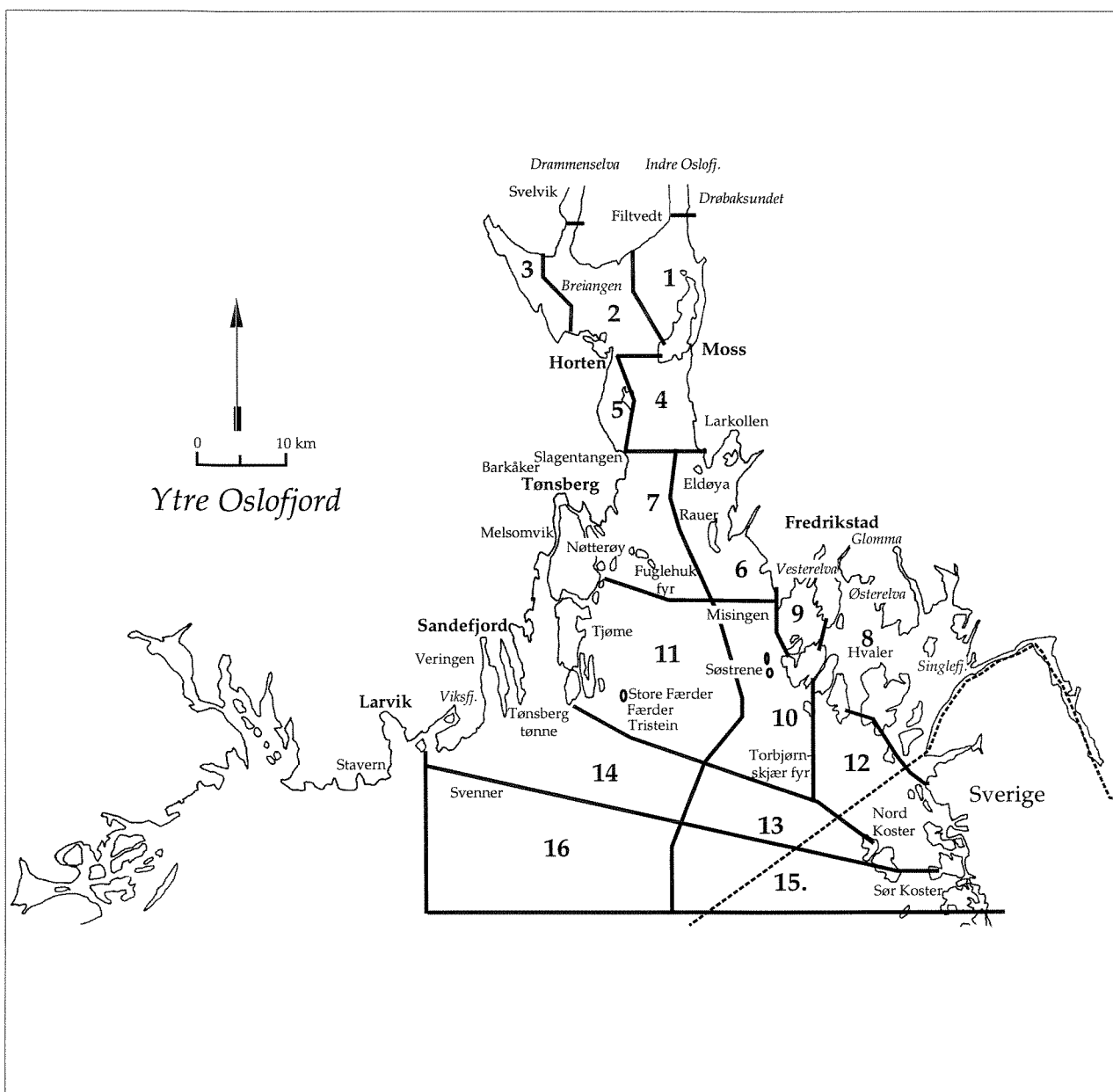


# Vannutskifting og nærings saltbudsjetter i ytre Oslofjord



Hovedkontor  
Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen  
Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 04 30 33  
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen  
Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 32 56 40  
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S  
Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Vannutskifting og nærings saltbudsjetter i ytre Oslofjord	Løpenr. (for bestilling) 3593-97	Dato 13. januar 1997
	Prosjektnr. Undernr. O 95112	Sider Pris 155 kr. 150,-
Forfatter(e) Bjerkeng, Birger	Fagområde Marin eutrofi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Ytre Oslofjord	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens Forurensningstilsyn (SFT)	Oppdragsreferanse SFT-kontrakt nr. 95323
---	--

<p>Sammendrag</p> <p>Rapporten beskriver arbeidet med å fremskaffe budsjetter for næringsstoffene N og P i ulike deler av ytre Oslofjord ved å utnytte resultater fra en sirkulasjonsmodell ved Det norske meteorologiske institutt (DNMI) for ytre Oslofjord, supplert med resultater fra en Nordsjømodell som finnes hos Havforskningsinstituttet (HI), i sammenheng med tilførselsdata og eksisterende hydrografiske og hydrokjemiske data.</p> <p>Resultatene tyder på at både kontinentalt vann og Østersjøvann/Vestkystvann kan gi merkbare påvirkning på hele ytre Oslofjord ved episoder hvor disse vannmassene transporteres nordover uten at nærings saltene blir brukt opp. Utstrømning fra Østersjøen kan neppe gi store bidrag til konsentrasjonene av uorganiske nærings salter, men har høyere konsentrasjoner av oppløst organisk N.</p> <p>Episodisk påvirkning om vinteren fra langtransporterte kilder kan bidra like mye til forhøyede N-konsentrasjoner som de norske tilførselsene, eller til og med mer, som gjennomsnitt over hele det tetthetsdefinerte laget som ofte får brukt opp sitt innhold av frie nærings salter.</p> <p>De lokale tilførselsene som kommer med Glomma og Dramselva gir store bidrag i hver sin del av fjorden, og vil også utgjøre et mer permanent bidrag enn påvirkningen utenfra. Dramselva gir et vesentlig bidrag til Breidangen med en sekundær påvirkning på midtre del av fjorden, mens tilførselsene med Glomma har mest å si i Hvaler/Singlefjordområdet og i området rundt Torbjørnshjæ. Virkningen av de norske tilførselsene er ofte dominerende i forhold til påvirkning fra forhøyede konsentrasjoner i vann utenfra i et 5-10 m tykt overflatesjikt i hhv. Breidangen og Hvalerområdet.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Eutrofiering</li> <li>Nærings saltbudsjetter</li> <li>Nærings salttilførsler</li> <li>Ytre Oslofjord</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Eutrophication</li> <li>Nutrient budget</li> <li>Nutrient discharges</li> <li>Outer Oslofjord</li> </ol>
---	--

  
.....  
Birger Bjerkeng  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3146-3

  
.....  
Bjørn Braaten  
Forskningsjef

# **Vannutskiftning og nærings saltbudsjetter i ytre Oslofjord**

## Forord

Denne rapporten beskriver resultatene av ett av de prosjektene Statens forurensningstilsyn (SFT) igangsatte i 1995 for få et sikrere svar på spørsmål knyttet til vannskiftningsprosesser i ytre Oslofjord og betydningen av de norske tilførsler av nitrogen (N) og fosfor (P) i forhold til langtransporterte tilførsler.

Prosjektet er blitt gjennomført som et samarbeid mellom Det norske Meteorologiske Institutt (DNMI) og Havforskningsinstituttet (HI) som har kjørt simuleringsmodeller, og NIVA som har utført budsjettberegninger ved å kombinere modellresultatene med data for tilførsler. DNMI's og HI's del av prosjektet er beskrevet av Hackett et al. (1995) og Svendsen et al. (1995), denne rapporten beskriver NIVAs del av prosjektet.

Resultatene er brukt av den ekspertgruppen SFT nedsatte i 1995 med deltakere fra en rekke ulike institusjoner i deres vurderinger av betydningen av ulike forurensingskilder for tilstanden i ytre Oslofjord, spesielt når det gjelder den betydning de norske tilførslene har i forhold til langtransportert N og P fra andre deler av Nordsjøen (Skjoldal et al. 1996).

Når det gjelder data for utenlandske tilførsler har en rekke institusjoner og enkeltpersoner vært behjelpelige, de er nevnt i Vedlegg Vedlegg A. .

Beregninger av norske tilførsler med TEOTIL-modellen er gjort av Gjertrud Holtan og Torulv Tjomsland ved NIVA, som også har bidratt med en kort beskrivelse av beregningsgrunnlag og beregningsmåte. Jan Magnusson ved NIVA deltok i innledningsfasen av prosjektet.

Meteorologisk institutt, ved Bruce Hackett og Lars Petter Røed, takkes for et godt samarbeid i utformingen av beregningsopplegget. Vi har også hatt fruktbar kontakt med Havforskningsinstituttet, ved Einar Svendsen, underveis i prosjektet. Arbeidet har også nytt godt av verdifulle innspill og tilbakemeldinger fra ekspertgruppen av 1995, med Hein Rune Skjoldal fra Havforskningsinstituttet som formann, og Jarle Molvær fra NIVA som sekretær.

Oslo, 13.1.1997

*Birger Bjerkeng*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>9</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>18</b>
<b>2. Problemstilling</b>	<b>19</b>
<b>3. Faglig fremgangsmåte - institusjonelt samarbeid</b>	<b>20</b>
3.1 DMNIs modellsimuleringer	20
3.2 HIs modellsimuleringer	21
3.3 Beregning av næringssaltbudsjetter ut fra modellresultater	21
3.3.1 Bruk av DNMIIs simuleringsresultater	21
3.3.2 Beregning av ferskvanns- og nærings salt-tilførsler	23
<b>4. Avgrensning av oppgaven og valg av ambisjonsnivå</b>	<b>24</b>
4.1 Forenklinger i beregning av transport og omsetning	24
4.2 Forenklinger og begrensninger i behandling av tilførsler	24
4.3 Geografisk og tidsmessig oppdeling - belysning av ulike situasjoner	25
<b>5. Samlet oversikt over tilførsler av ferskvann, N og P til Nordsjøen fordelt på ulike land (1992)</b>	<b>26</b>
<b>6. Tilførsler av ferskvann og næringsstoffer (N, P og Si) fra andre land</b>	<b>28</b>
6.1 Storbritannia og Irland	28
6.2 Belgia og Nederland	33
6.3 Tyskland	37
6.4 Danmark	40
6.5 Sverige	42
6.6 Direkte atmosfæriske tilførsler	44
6.7 Oppsummering av data om tilførsler fra andre land	44

---

<b>7. Tilførsler av ferskvann og næringsstoffer fra norsk område til ytre Oslofjord</b>	<b>45</b>
7.1 Data fra Dramselva	45
7.2 Data fra Glomma	49
7.3 Fordeling av Glommas vannføring på østre og vestre løp	53
7.4 Tidligere estimater av tilførsler til Dramselva og Drammensfjorden.	54
7.5 Tidligere estimater av tilførsler til Indre Oslofjord	55
7.6 Tilførsler til Indre og ytre Oslofjord sett samlet	55
7.7 Beregning av tilførsler med TEOTIL - oppsplitting på område, kilde og måned	56
7.7.1 Fordeling på kilder	56
7.7.2 Beregningsmetode for tilførsler i 1993	57
7.7.3 Beregningsmetode for tilførsler omkring 1910	57
7.7.4 Resultater av tilførselsberegningene.	57
7.8 Kloakkrensaneanlegg med utslipp direkte til ytre Oslofjord	58
<b>8. Hydrografiske og hydrokjemiske data i randområdene til modellen</b>	<b>60</b>
8.1 Østersjøen - de danske beltene og Øresund	60
8.2 Skagerrak	63
8.2.1 Observerte konsentrasjoner av N og P i Skagerrak	63
8.2.2 Biotilgjengelighet av ulike N- og P-fraksjoner i Skagerrak og Kattegat	69
8.2.3 Mulig innvirkning fra regionale tilførsler på vannkvalitet i Skagerrak	69
<b>9. Hydrografiske og hydrokjemiske data fra ytre Oslofjord</b>	<b>70</b>
<b>10. Metode for beregning av stoffbudsjetter for ytre Oslofjord</b>	<b>72</b>
10.1 Aggregering av resultater fra ECOM-3D	72
10.2 Skissering av beregningsmetoder for N- og P-budsjetter	73
10.2.1 Direkte bruk av konsentrasjon av merkede vanntyper	73

---

---

10.2.2 Beregning av transport-budsjett ut fra volumtransporter og tilførsler	74
10.3 Drøfting av noen metodiske problemer ved bruk av resultater fra detaljerte sirkulasjonsmodeller i enkle massebudsjetter	75
10.4 Vertikal oppdeling av vannmassene	77
10.5 Geografiske avgrensninger av vannvolumer, valg av transport-tverrsnitt.	82
10.6 Valg av tidsoppløsning og tidsrom som budsjettet skal stilles opp for.	84
<b>11. Resultater av simuleringer med 3-dimensjonale transportmodeller</b>	<b>86</b>
11.1 Simulering av sirkulasjon i Nordsjøen, Skagerrak og ytre Oslofjord for året 1993 (DNMI)	86
11.2 Simulering av sirkulasjon i Nordsjøen og Skagerrak for årene 1988-1993 (HI)	88
11.3 Sammenligning av modellkjøringene til DNMI og HI	88
11.3.1 Fordeling av Tyskebukt vann	88
11.3.2 Merking av vann fra Østersjøen og den svenske vestkysten.	89
<b>12. Beregning av næringsstoffbudsjetter i ytre Oslofjord ut fra modellresultatene</b>	<b>91</b>
12.1 Direkte bruk av konsentrasjoner av ulike vanntyper - passiv spredning	92
12.1.1 Data om N- og P-konsentrasjoner i ulike vanntyper.	93
12.1.2 Øvre grense for virkning på næringsstoff-konsentrasjon ut fra utgangskonsentrasjon av N og P i kildene	94
12.1.3 Vurdering av de norske hoved-elvenes betydning sett på bakgrunn av målt vannkvalitet i Skagerrak	98
12.2 Konsentrasjonsberegninger ut fra volumer og transporter i ytre Oslofjord	98
12.3 Vurdering ut fra tilgjengelige hydrokjemiske data for ytre Oslofjord	105
12.3.1 Målte N- og P-konsentrasjoner som funksjon av salinitet, dyp og årstid.	105
12.3.2 En sammenligning av målte og beregnede N-konsentrasjoner som funksjon av salinitet.	110

---

---

12.3.3 Data fra april 1995 - en mulig kombinasjon av lokal og langtransporterte tilførsler.	111
12.3.4 En sammenligning av nitrat-konsentrasjoner i mellomdyp i Skagerrak, ytre Oslofjord og den norske kyststrømmen.	112
12.4 Diskusjon av resultatene	115
12.5 Tekniske og naturfaglige begrensninger ved angrepsmåten.	115
12.6 Mulige forbedringer ved senere bruk av beregningsmetoden	118
<b>13. Konklusjon</b>	<b>119</b>
<b>14. Litteraturliste</b>	<b>120</b>
<b>Vedlegg A. Kilder for data om tilførsler fra andre land</b>	<b>124</b>
<b>Vedlegg B. Beregning av tilførsler til ytre Oslofjord</b>	<b>125</b>
<b>Vedlegg C. Definisjon av de modellresultater som skal tas vare på til bruk i analysen.</b>	<b>133</b>
<b>Vedlegg D. Noen spesielle beregningstekniske problemer forbundet med beregning av massebudsjetter</b>	<b>138</b>
1. Vertikal fordeling av ferskvann	138
2. Avvik mellom ECOM-3D-tall og integrerte mengder av vann, salt og merkede vanntyper	138
3. Tilsynelatende selvmotsigende resultater kan forekomme i aggregerte tall	141
4. Kalibrering av virkning av vannflukser på N- og P-transport	141
5. Tidsoppløsning for integrasjon av N- og P- massebudsjetter	142
<b>Vedlegg E. Teknisk beskrivelse av beregningsopplegg for massebudsjett.</b>	<b>143</b>
1. Oversikt over programmene	143
2. Program VOLAREAL.EXE	143
3. Program MODLPREP.EXE	144
4. Program CALCBUDG.EXE	144
5. Format og innhold i noen sentrale inndata-filer til programmene	147
Format på tekstfil BUNNMTRX.DAT	147

---



Format på tekstfil BOXASSGN.DAT	147
Format på tekstfiler YOSL_mmm.TX1	147
Format på tekstfiler YOSL_mmm.TX2	148
Data for ferskvann og sporstoff fra norsk område	149
Data for næringssaltkonsentrasjoner i Skagerrak - innhold av filen nutrband1	149
6. Resultatfiler	150
Filer *.CSS direkte fra CALCBUDG.EXE	150
Resultater samlet på filen NPBDCONC.STA	151
7. Beskrivelse av programkode samt opplegg for generering av programmer	152
Innhold av WMAKE-fil 'MAKEFILE.'	152
Innhold av Modlprep.lnk	154
Innhold av CalcBudg.lnk	154

# Sammendrag

## Bakgrunn

Spørsmålet om rensetiltak for nitrogen rundt ytre Oslofjord har i de siste par år vakt betydelig debatt. SFT nedsatte i 1995 en ekspertgruppe med deltakere fra en rekke ulike institusjoner for å gjennomføre en samlet faglig vurdering av ytre Oslofjord som resipient og effekter av planlagte rensetiltak med utgangspunkt i eksisterende og nye undersøkelser.

Ett av disse prosjektene beskrives i den herværende rapporten. Det er gjennomført som et samarbeid mellom DNMI, HI og NIVA. Målet med prosjektet har vært å fremskaffe budsjetter for næringsstoffene N og P i ulike deler av ytre Oslofjord med så stor presisjon som mulig innenfor den aktuelle prosjektrammen basert på dagens kunnskapsnivå og tilgjengelig modellverktøy. Det er søkt oppnådd ved å utnytte resultater fra sirkulasjonsmodeller ved DNMI for ytre Oslofjord, supplert med resultater fra en Nordsjømodell som finnes hos HI, i sammenheng med tilførselsdata og eksisterende hydrografiske og hydrokjemiske data.

## Problemstilling

De spørsmål som ønskes besvart gjennom dette prosjektet er:

- I hvilken grad bidrar norske antropogene tilførsler til målbare "overkonsentrasjoner" av N og P i øvre deler av vannmassen?
- Kan en reduksjon av norske antropogene tilførsler på rundt 50 % alene eller sammen med reduksjoner i langtransporterte tilførsler gi målbare reduksjoner i næringssalttilgangen i den produktive sonen?

Problemstillingen er belyst gjennom følgende elementer:

1. Simulering av sirkulasjonsmønster, oppholdstider etc. med "State of the art" numeriske 3-dimensjonale sirkulasjonsmodeller samt kjøring av ulike scenarier for årstid og vindforhold. Dette er utført av Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI, se Hackett et al. 1995) og Havforskningsinstituttet (HI, se Svendsen et al. 1995) som to separate prosjekter.
2. Fornytt gjennomgang og analyse av eksisterende data for strøm, hydrografi og hydrokemi, samt data for tilførsler fra land.
3. Utarbeiding av næringssaltbudsjett for ulike deler av ytre Oslofjord basert på modellkjøringer og analyse av eksisterende data. Dette bygger på resultatene fra sirkulasjonsmodellene, først og fremst DNMI's modellresultater, mens HI's resultater inngår som et supplement.

NIVAs del av samarbeidsprosjektet, og emnet for denne rapporten, gjelder punkt 2 og 3.

## Data for tilførsler

Data for næringsalter er innhentet fra de forskjellige land rundt Nordsjøen sammen med vannføringsdata, og brukt til å sette opp et bilde av hvordan konsentrasjoner og tilførsler av N og P varierer gjennom året. Tilførslene fra andre land til Nordsjøen er sterkt konsentrert til vinterhalvåret, mens det er mye lavere tilførsler om sommeren. Det gjelder særlig for nitrogen, hvor både store vannmengder og høyere konsentrasjoner bidrar til høye tilførsler om vinteren. Det aller meste av nitrogenet foreligger som oppløst næringsalter (nitrat, nitritt + ammonium) i de datasettene som gir informasjon om dette. Anslagsvis 60 % av den totale N-tilførselen og 50 % av fosfortilførslene til Nordsjøen kommer i de

fire månedene desember - mars. Til sammenligning står sommerhalvåret (her regnet fra mai t.o.m oktober) for bare hhv. 25 og 30 % av de totale tilførslene, dvs. at tilførsel pr. måned i vintermånedene av N og P er hhv. 2.5 og 3.4 ganger høyere enn i sommerhalvåret.

Totalt tilføres Nordsjøen ca. 1 million tonn N og 60,000 tonn P pr. år fra landene omkring, hvorav ca. 3 % kommer fra Norge. I tillegg kommer tilførslene via Østersjøen. Konsentrasjonene i britiske og kontinentale ferskvannskilder er for nitrogen totalt 5-8 mg N/l, med høyest verdier om vinteren og med det meste som uorganiske næringssalter, og for fosfor 150-350 µg P/l, hvorav anslagsvis 40 % er som ortofosfat.

De lokale tilførslene til ytre Oslofjord er satt opp med en geografisk, tidsmessig og kildemessig oppdeling som er tilpasset de krav analysen av massebudsjettene stiller, og er tilrettelagt for beregning for ulike utslippsscenarioer, dvs. ulike kombinasjoner av tiltak på ulike kilder. Ytre Oslofjord mottar tilførsler direkte fra befolkning, industri og landbruk i omkringliggende landområder, men også fra et mye større område via Glomma, Dramselva og indre Oslofjord. De norske tilførslene er i dette prosjektet beregnet ved å kombinere måleresultater i de større vassdragene fra det norske elvetilførselsprogrammet: "Paris Convention - Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year ..." (Holtan et al. 1994, 1995) med til dels teoretiske verdier beregnet med modellen "TEOTIL". Totalt gir TEOTIL-data et utslipp på ca. 20,000 t N og 700 t P til indre og ytre Oslofjord utenom det som kommer fra Drammensfjorden, og utenom tilførslene til Skagerrak fra Larviksområdet (Numedalslågen). Basert på elvetilførsels-målingene anslås tilførsler på hhv. 19,400 og 17,000 tonn N for årene 1993 og 1994, og 570 og 440 tonn fosfor. For Leira og Hvaler/ Singlefjorden beregnes tilførslene til ca. 13,100 t N og 370 t P. Det er i hovedsak tilførsler med Glomma, men det inkluderer også Tistedalsvassdraget og direkte avrenning, bl.a. et renseanlegg i Halden med utslipp på 122 t N og 5 t P. Fra de andre områdene rundt ytre Oslofjord er det anslått tilførsler på 3468 t N og 162 t P, hvorav ca. 1/3, hhv. 1124 t N og 57 t P, kommer fra større og mindre renseanlegg rundt fjorden (tabell 8).

### Modellsimuleringer

DNMIs simuleringsmodell for ytre Oslofjord er forholdsvis detaljert, med et 800 m gitter og et 20-talls nivåer vertikalt. Forskjellige grupper av ferskvannstilførsler er merket med hver sin sporstoffkonsentrasjon med utgangsverdi 1.0 for ferskvann:

1. Vann fra kontinentale elver (Belgia, Nederland, Tyskland)
2. Vann fra Østersjøen og svenske vestkyst-elver (som ferskvann)
3. Vann fra Glomma
4. Vann fra Dramselva

Simuleringsmodellen beregner konsentrasjonsfelter i rom og tid for hver gruppe, hvor verdiene altså angir hvor stor andel av de totale vannmassene som stammer fra de forskjellige kildene (se Hackett et al. 1995). Tilførsler av ferskvann, både fra norske og utenlandske kilder, inngår direkte som inndata i den simuleringsmodellen som er kjørt av DNMI. Modellen bruker månedsmidler for vannføring i de viktigste elvene rundt Nordsjøen, skalert slik at en får med også den avrenningen som ikke er inkludert i disse elvene. Her er både de lokale tilførslene (i hovedsak Glomma og Dramselva) og tilførslene til Skagerrak/Kattegat og Nordsjøen med. Den ble kjørt for inngangsdata som i stor grad gjenspeiler 1993, selv om det ble brukt klimatologiske midler for en del av de utenlandske ferskvannstilførslene.

Simuleringen viste at sirkulasjonen i fjorden i stor grad er bestemt av et samspill av lokale vinder, lokal ferskvannstilrenning og strømmønsteret i Skagerrak, med det siste som en dominerende faktor. Av de merkede ferskvannskildene var Østersjø/Sverige-komponenten den dominerende i alle deler av fjorden. Innflytelsen fra kontinentale elver ble også funnet nokså jevnt fordelt i vannmassene, men utgjorde ca. 10 ganger mindre andel av vann enn Østersjø/Sverige-komponenten. Ferskvann fra

Glomma og Dramselva finnes i like stor konsentrasjon som ferskvannspåvirkningen utenfra i avgrensede deler av fjorden (Hvalerområdet og Breiangen), særlig i flomsituasjoner om sommeren.

HIs modell simulerte sirkulasjonen i Nordsjøen og Skagerrak for årene 1988-1993, og ga tall for transporten inn og ut av ytre Oslofjord gjennom et snitt Larvik-Koster. Innstrømning fra Østersjøen og vann fra Tyskebukta var merket i deres modell. Beregnet brutto transport av Tyskebukt vann gjennom snittet Larvik-Koster varierer sterkt fra år til år, og ligger i april måned mellom 800 og 2700 m<sup>3</sup>/s. Om vinteren, fra november til februar, kan den være langt høyere, med typiske verdier på fra 5000 opp mot 10,000 m<sup>3</sup>/s som månedsmidler. Det merkede Tyskebukt vannet (salinitet 31 psu) har nokså jevn fordeling i hele tverrsnittet, men gjennomgående noe høyere konsentrasjoner i overflatelaget. Strømmen er i stor grad preget av storstilt sirkulasjon, med motsatt rettet strøm i østre og vestre del av tverrsnittet, og med skiftende sirkulasjonsretning på 1-2 ukers tidsskala. Den totale transporten av Tyskebukt vann gjennom de ytre deler av Oslofjorden omregnet til opprinnelig mengde ferskvann gir for april måned ca. 100-300 m<sup>3</sup>/s, for vinterperioden ca. 500-1000 m<sup>3</sup>/s, det er 5-10 % av samlet ferskvannsfluks fra Storbritannia og kontinentet til Nordsjøen.

Ulike merkingsteknikker og simuleringstidsrom gjør at resultatene fra DNMI's og HIs simuleringer ikke uten videre er sammenlignbare. HIs tall når det gjelder Tyskebukt vann kan i større grad være uttrykk for den episodiske, direkte påvirkningen knyttet til flomsituasjoner og transport nordover av ubrukte næringsalter om vinteren, mens DNMI inkluderer mer av bidraget til bakgrunnskonsentrasjonen fra det kontinentale ferskvannet ved resirkulering innenfor Nordsjø/Kattegat-systemet. På den måten kan de to settene med modellresultater sies å supplere hverandre.

### Beregning av næringsaltbudsjetter

For å gjøre det overkommelig å regne næringsaltbudsjetter for ulike utslippsscenarioer, måtte en aggregere resultater fra simuleringen med en mye grovere geografisk og vertikal oppløsning. For dette formålet er fjorden delt inn i geografiske områder ("bokser") etter faste grenselinjer, og hvert område betraktes som bestående av flere lag med variable tykkelser, definert med faste tetthetsintervaller. Med 1 times mellomrom under simuleringen er tilstanden tatt vare på i form av vannmengde (volum) innenfor hvert av de definerte delvolumene, både for vann totalt og for de merkede vannkildene, og med tilsvarende tall for transport mellom delvolumene. Vertikalt er det brukt en oppdeling i 4 lag, definert av faste grenseverdier på tettheten, slik at tykkelsen av lagene varierer over tid.

Virkningene av ulike kilder er beregnet som gjennomsnitt for de to øverste lagene. Lag 1, definert som alt vann med tetthet  $\sigma_t < 22$ , er stort sett 10-20 m tykt i perioden mars-juni, og opp mot 25-30 meter tykt i juli - august. Lag nr. 2 omfatter alt vann med tetthet  $\sigma_t$  mellom 22 og 24, og går stort sett ned til rundt 30 m dyp om våren og 40 - 50 m dyp senere på sommeren. Lag 1 går lengre ned enn det merkete sprangsjiktet som opptrer i forbindelse med flommene i Dramselva og Glomma, og virkningen av de norske elvetilførslene må derfor forventes å være konsentrert i den øverste delen av lag 1. Dette laget vil om sommeren også omfatte vann under sprangsjiktet, overflatevann fra Skagerrak, hvor data viser at frie næringsalter ofte vil være brukt opp om sommeren og de vil derfor transporteres gjennom Oslofjordområdet bundet i biologisk materiale. Til laget under sprangsjiktet vil en også få en del av tilførslene fra renseanlegg og tilførsler via indre Oslofjord og Drammensfjorden, som vil følge med gammelt dypvann ut i ytre fjord og innlagre seg i mellomdyp. Det definerte lag 1 stemmer tildels ganske bra med det laget hvor næringsaltene ofte brukes opp i forbindelse med planktonproduksjon om sommeren, og det kan bety at beregningene likevel gir et forholdsvis riktig bilde av den totale betydningen av de norske tilførslene i forhold til påvirkningen utenfra, når det gjelder påvirkningen på dypere lag.

Budsjett og konsentrasjoner for N og P er beregnet ut fra DNMI's resultater, som gir det mest detaljerte bilde av transportene i ytre Oslofjord. Dette er gjort på to alternative måter. I begge tilfeller er det bare beregnet for passiv transport, dvs. at virkningen av biologisk omsetning og nedsynkning i ytre Oslofjord ikke er tatt hensyn til. Resultatene er derfor først og fremst en skalering av mulig påvirkning

på de biologiske prosessene, og ikke noen direkte beregning av faktiske konsentrasjoner av næringssalter som følge av samspillet av alle prosessene.

### Direkte bruk av konsentrasjon av merkede vanntyper

Den ene beregningsmåten går ut på å kombinere modellens beregnede konsentrasjoner av merket vann fra noen hovedkilder med konsentrasjoner av N og P i de samme kildene til en beregning av total konsentrasjon av N og P. Dette er en direkte anvendelse av resultatene fra DNMI's simulering, og gir et forholdsvis nøyaktig resultat innenfor sine forutsetninger. Begrensningen her ligger bl.a. i at alle kilder ikke er med som merkede vannmasser, dessuten tar beregningen ikke hensyn til biologisk og partikkeltilnyttet omsetning og vertikaltransport. Det kan spesielt være av betydning for de langtransporterte kildene. De beregnede bidrag fra de ulike kildene kan derfor antagelig betraktes som øvre grenser for det reelle bidraget hver av dem kan gi til næringsstoffkonsentrasjonene, iallfall når det gjelder episoder med spesielt store konsentrasjoner av vann fra de aktuelle kildene i ytre Oslofjord.

Typiske konsentrasjoner for vinter/vår-perioden i ulike ferskvannskilder er:

Vanntype:	Nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )	Fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ )
1. Britisk/Kontinentalt ferskvann	8000	100 - 200
2. Østersjøen og svenske vestkystelver	400 - 1000	30
3. Glomma	800	20
4. Dramselva	400	5
Bakgrunn (Atlanterhavet)	170	25
Bakgrunn + langtransport (Skagerrak)	70 - 300	5 - 30

Ut fra disse konsentrasjonene kan vanntype 1, ferskvann fra de kontinentale elvene, teoretisk bidra med opp til 15-120  $\mu\text{g N/l}$ , og 0.4-3  $\mu\text{g P/l}$  i middel for de definerte lagene, mer eller mindre i alle de definerte lagene ifølge DNMI's simulering, og 3-12  $\mu\text{gN/l}$  ifølge HI's simuleringer. Vanntype 2, svensk/baltisk vann, kan i teorien bidra med 60-110  $\mu\text{g N/l}$  og 4-6  $\mu\text{g P/l}$ .

Vannkilde 3, Glomma, kan bidra med 120-200  $\mu\text{gN/l}$  og 3-5  $\mu\text{gP/l}$  i bassenget innenfor Hvaler og Singlefjorden, og 1/3 av dette i området utenfor Hvalerøyene. Vann av type 4, Dramselva, kan bidra med anslagsvis 50-100  $\mu\text{gN/l}$  og 0.5-1  $\mu\text{gP/l}$  i Breidangen og 25-50  $\mu\text{g N/l}$  og 0.25-0.5  $\mu\text{g P/l}$  i midtre del av fjorden ut til Missingen - Fulehuk. Denne virkningen for de norske hovedkildene gjelder som et middel for det definerte modell-lag 1; virkningen i de øverste 5-10 m kan ble det dobbelte.

Som et alternativ kan virkningen av langtransporterte tilførsler vurderes ut fra observerte konsentrasjoner i Skagerrak. Vinterkonsentrasjonene av oppløst uorganisk nitrogen i Skagerrak er nesten alltid mindre enn ca. 200-250  $\mu\text{gN/l}$ , og verdier under 140  $\mu\text{g/l}$  er vanlige. Unntaksvis forekommer konsentrasjoner på 300-450  $\mu\text{g/l}$ . I tillegg kan det være en ganske stor del av nitrogen som er biologisk bundet, og omfattes mer eller mindre av den hurtige biologiske omsetningen i vannmassene. Totalfosfor-konsentrasjonene mot slutten av vinteren i Skagerrak vil typisk være 15-20  $\mu\text{g P/l}$ , med ortofosfatkonsentrasjoner 10-15  $\mu\text{gP/l}$  lavere.

I lys av dette ser det ut til at både Dramselva (i Breidangen) og Glomma (i midtre og østre deler av fjorden) regelmessig vil kunne gi en dobling av nitratkonsentrasjonene, mens virkningen på fosfor-konsentrasjonene ikke er så sterk. Imidlertid vil det også hyppig opptre situasjoner hvor påvirkningen utenfra er den dominerende, både når det gjelder N og P. Bidraget fra de lokale kildene vil være forholdsvis konstant, mens påvirkningen utenfra er mye mer varierende.

## Beregning av transport-budsjett ut fra volumtransporter og tilførsler

Budsjetter er også beregnet dynamisk gjennom det simulerte året (1993) ved å kombinere modellens vantransporter med tall for lokale tilførsler og data for næringssaltkonsentrasjoner i randområdet, dvs. i Skagerrak. Det gjør det mulig å komme nærmere den faktiske virkningen av de langtransporterte forurensningene, inkludert avsetning på overflaten i Nordsjøen, men til gjengjeld skiller en slik beregning ikke mellom de ulike kildene for langtransportert N og P. Forskjeller i konsentrasjoner mellom de ulike scenarier for de lokale tilførslene kan gi et bilde av betydningen av ulike tiltak for å redusere tilførslene. Pga. en del tekniske og beregningsmessige begrensninger og fordi transportberegningene er basert på akkumulerte verdier for større volumer, kan metoden bare ventes å gi et grovt tilnærmet bilde av den passive spredningen av stoff, i forhold til hva en ville få ved å ha N- og P-konsentrasjoner direkte bygd inn i den detaljerte sirkulasjonsmodellen.

Utgangspunktet er en beregning for norske tilførsler tilsvarende situasjonen rundt 1993, slik de er beregnet av tilførsels-modellen TEOTIL (Tjomsland og Bratli 1995). Resultatene er basert på opplysninger om utslipp fra kommunalt avløp og industri, og beregnet avrenning fra jordbruksarealer og naturområder. Ved beregningene er målte konsentrasjoner av N og P i Skagerrak (SMHI-data) brukt som utgangspunkt for å sette bakgrunnskonsentrasjoner i det vannet som strømmer inn i ytre Oslofjord utenfra, for fosfor totalkonsentrasjon, for nitrogen mengden biologisk bundet og/eller omsettelig N. Det er brukt gjennomsnittsverdier for måned, både for utslipp og for bakgrunnskonsentrasjon innenfor hvert av de 4 tetthetsdefinerte lagene. Det innebærer at beregningene ikke viser hele variasjonsområdet for mulige virkninger. Som for den forrige beregningen dreier det seg om passiv spredning, dvs. at virkning av biologisk omsetning og partikkelbundet vertikaltransport i ytre Oslofjord ikke er tatt hensyn til.

I tillegg til dagens situasjon (1993) er det beregnet for en del scenarier som innebærer endringer i forhold til dette:

- A. Med dykking til 50 m av alle utslipp fra renseanlegg direkte til Ytre Oslofjord.<sup>1</sup>
- B. Med 70 % nitrogenfjerning på alle renseanlegg med utslipp direkte til Ytre Oslofjord.
- C. Med 80 % N-fjerning på VEAS renseanlegg ved Slemmestad, indre Oslofjord (rensegraden er satt skjønnsmessig).
- D. Med utslipp fra all tettbefolkning satt til 0, både av P og N, uansett geografisk opprinnelse, dvs. at det også omfatter utslippene som kommer via Dramselva og Glomma, og via indre Oslofjord.
- E. Med alle norske menneskeskapte utslipp satt = 0, dvs. at bare bakgrunnsverdier for arealavrenning er med.
- F. Med alle norske utslipp satt = 0, dvs. at også bakgrunnsverdier er fjernet.

Beregningene tyder på at de norske utslippene, inkludert bakgrunnsstilførsler, samlet sett har vesentlig innvirkning på nitrogenkonsentrasjonene i Breidangen i lag 1, idet de i gjennomsnitt bidrar med et tillegg på opp mot 100 µgN/l, eller 40 % av antatt biologisk aktiv del av N-konsentrasjonen, og også er merkbare lengre ut, hvor de kan gi et bidrag på 30 µgN/l, eller ca. 15 - 20% av antatt biologisk aktiv N-konsentrasjonen. For fosfor er betydningen av det norske bidraget mye mindre.

---

<sup>1</sup> Dette dreier seg om 19 anlegg, to på Hurum, 6 anlegg på østsiden av fjorden mellom Vestby og Moss, og 11 anlegg på vestsiden av fjorden mellom Sande og Larvik. For detaljer se tabell 8.

Bare en mindre del av det samlede norske bidraget til overkonsentrasjoner er knyttet til kommunalt utslipp fra tettbefolkede strøk. Potensialet for en forbedring ved hjelp av N-fjerning på renseanlegg alene er derfor begrenset, men dette tiltaket må sees i sammenheng med de samlede tiltak på alle sektorer.

Dykking av utslippene til 50 m for alle renseanlegg rundt ytre Oslofjord ser ikke ut til å ha noen vesentlig virkning på de generelle forholdene i ytre Oslofjord, bare gi en viss tidsforsinkelse når det gjelder oppblanding i overflatelaget. Det må imidlertid tilføyes at beregningene ikke gir noe fullgodt bilde, fordi den vertikale oppløsningen ved beregningen er begrenset. Det kan godt tenkes at det i visse situasjoner kan ha betydning om et nærings saltbidrag kommer høyt opp eller lengre ned i lag 1. Det må også understrekes at det er feilkilder i beregningen. Den virkningen som er beregnet gjelder gjennomsnittlige forhold i større deler av ytre Oslofjord, betydningen av dykking lokalt for nærområdene til utslippet er ikke tatt i betraktning, og kan være vesentlig.

80 % N-fjerning ved VEAS vil gi reduksjon av nitrogenkonsentrasjonen med i gjennomsnitt 10 - 15  $\mu\text{gN/l}$  i lag 1 i Breidangen. Nitrogenfjerning på renseanlegg med utløp direkte til ytre Oslofjord har en synlig, om enn liten, effekt på N-konsentrasjonene i Breidangen, til sammen ca. halvparten av det N-fjerningen ved VEAS kan ventes å gi. Den totale virkningen av denitrifiseringen på renseanleggene kan anslås å gi ca. 20  $\mu\text{gN/l}$  lavere konsentrasjoner i snitt, dvs. ca. 20 % av overkonsentrasjonene knyttet til norske utslipp. Anslagsvis 70-80 % av dette vil være knyttet til tiltak i indre Oslofjord.

Totalt bidrag fra de norske menneskeskapte tilførselene til konsentrasjonene i ulike deler av ytre Oslofjord i de to øverste lagene gjennom året 1993 er størst i Breidangen og i Hvaler/Singlefjorden innenfor Hvalerøyene, med konsentrasjonsbidrag på opp mot 60 - 70  $\mu\text{g N/l}$  og 2  $\mu\text{g P/l}$ . For nitrogen er virkningen vesentlig, mens den for P er relativt liten. I de midtre deler av fjorden og utenfor Hvaler er det fortsatt en viss virkning m.h.t. nitrogen (30 - 40  $\mu\text{gN/l}$ ), men i de sørvestre ytre deler av fjorden, hvor det er stor gjennomstrømning av vann fra Skagerrak, har de norske tilførselene svært lite å si for konsentrasjonene totalt.

Ifølge modellberegningene vil virkningen av gjenværende norske menneskeskapte tilførsler etter at N-fjerningen på VEAS er gjennomført være ca. 7-10  $\mu\text{gN/l}$  mindre i Breidangen enn før tiltaket ble gjennomført, virkning i Bastøybassenget er ca. halvparten av dette. Dvs. at ca. 10-15 % av den maksimalt realiserbare N-reduksjonen kan forventes gjennomført med N-fjerningen på VEAS.

Som en kontroll er den siste beregningsmetoden brukt på de merkede vanntypene, hvor en kjenner svaret i form av konsentrasjonene fra modellen. Resultatene av denne sammenligningen antyder at middelkonsentrasjon beregnet for en gitt kilde for en enkelt uke og et enkelt delvolum i middel kan avvike med en faktor 2 den ene eller den andre veien fra den reelle modellkonsentrasjonen i ECOM-3D. Beregnet bidrag fra norske tilførsler blir for små (faktor 2) i de indre delene av fjorden, noe for store i Hvaler/Singlefjorden, men omtrent riktige i de ytre deler av fjorden, dvs. utenfor Missingen/Fulehuk, sett i forhold til de resultatene vi ville få ved å la N- og P-tilførselene spres direkte av ECOM-3D.

Sammenligningen antyder at virkningene av norske tilførsler på konsentrasjonene kan være dobbelt så høye som beregnet i Breidangen, dvs. for nitrogen anslagsvis 100 - 120  $\mu\text{g N/l}$ . Dette kan være et vesentlig bidrag til overkonsentrasjoner sammenlignet med det som kan komme inn fra Skagerrak. En generell 50 % reduksjon av N-tilførselene vil i såfall kunne gi en reduksjon i midlere N-konsentrasjon i lag 1 på 50-60  $\mu\text{g/l}$  i Breidangen og ca. halvparten i midtre deler av ytre Oslofjord. Hvis en bare tenker seg å fjerne utslipp fra tettbefolkning, dvs. fra renseanlegg, fullstendig (inkludert utslippene til Drammensfjorden, indre Oslofjord), kan det fortsatt gi merkbar reduksjon i Breidangen (30-60  $\mu\text{g N/l}$ ). En del av dette er imidlertid allerede som sagt gjennomført i og med N-rensingen på VEAS renseanlegg i indre Oslofjord. For de midtre deler av fjorden kan det antydes en reduksjon på 15-30  $\mu\text{g N/l}$ , i Glommas nærsoner ca. 10  $\mu\text{g/l}$ , og lenger ute forholdsvis lite. Reduksjon i P-tilførsler vil generelt være av mindre betydning.

---

## Vurderinger ut fra observasjonsmaterialet fra ytre Oslofjord og Skagerrak

Virkingen av de lokale tilførslene på konsentrasjonene er også vurdert ut fra foreliggende observasjonsmateriale fra ytre Oslofjord og Skagerrak.

For totalnitrogen ses tydelig innvirkningen av de lokale tilførslene, med høye, sterkt varierende konsentrasjoner av total-nitrogen ved lave saliniteter om vinteren, slik en også har det i elvetilførslene. Fra Hvaler mot ytre deler av fjorden er det en tydelig fortyningseffekt for total-nitrogen fra høye konsentrasjoner i ferskvann ned mot bakgrunnsverdier på ca. 200 - 300  $\mu\text{gN/l}$  omkring  $\text{psu} = 20 - 25$ . Fra mai til oktober viser dataene et nokså tydelig fortyningsforløp fra ca. 400  $\mu\text{gN/l}$  i ferskvann til ca. 200 eller noe lavere ved salinitet omkring 25 i begge fjordavsnittene. Det ser ut til at den nedre grensen for nitrogen-konsentrasjonene stort sett er 150  $\mu\text{gN/l}$ .

Spesielt for de ytre deler av fjorden gir data et visuelt inntrykk av økning av totalt nitrogeninnhold ved høyere saliniteter med opp til 300, mer vanlig ca. 50-100  $\mu\text{gN/l}$  over den nedre grensen, men det er for lite data til å si sikkert om det er et karakteristisk trekk, eller om det skyldes observasjonsmønsteret.

I de indre delene av fjorden ser det ut til at N-konsentrasjonene varierer lite systematisk med salinitet for  $\text{psu} > 20$ , og det er lite tegn til merkbar påvirkning utenfra. I det store og hele varierer N-verdiene i Skagerrak-vann ( $> 25$   $\text{psu}$ ) rundt det som oppgis som bakgrunnskonsentrasjoner for nitrat i Atlanterhavsvann. Det må presiseres at datamaterialet for er sparsomt til å gi grunnlag for å si noe om hvor hyppig pulser med forhøyede nitrogenkonsentrasjoner kan komme inn fra Skagerrak.

Nitratkonsentrasjonene ligger ikke så langt under det en vil vente ved passiv spredning ut fra konsentrasjonene i ferskvann. Nitratet brukes ofte helt opp om sommeren i de øverste 15 m for  $\text{psu}$ -verdier mellom 15 og 25 i indre del av fjorden, og mellom 8 og 30 i ytre del av fjorden. De observerte nitratkonsentrasjonene øker igjen ved høyere saliniteter opp mot verdier 150-250  $\mu\text{gN/l}$  ved  $\text{psu} = 35$ . Nitratkonsentrasjonene er generelt sett høyere ved en gitt salinitet i den indre del av fjorden enn i den ytre, og det er også flere observasjoner med klart forhøyede konsentrasjoner i forhold til det vanlige. I de sørlige deler av fjorden er nitratøkning med økende salinitet knyttet til en vertikal gradient, idet de høye verdiene stort sett finnes i dyp  $> 10$  m, mens det i indre del langt oftere finnes høyere verdier i 0-10 m. Dette kunne tyde på at påvirkning fra lokale kilder dersom forskjellen er reell, men den kan også skyldes forskjeller i dataomfang. Pga. av datamaterialets karakter er det som nevnt ikke så enkelt å teste forskjellene statistisk, og det visuelle inntrykket kan være misvisende.

Totalfosfor viser også tydelig lokal påvirkning med høye konsentrasjoner ved lav salinitet, men det er ikke så dominerende som for nitrogen. Det er her lite data fra større dyp. For dypintervallet 0-10 m forekommer det høye verdier ved både lave og høye saliniteter, med lavere verdier i salinitetsintervallet 15-25  $\text{psu}$ .

Ortofosfat viser derimot en helt dominerende påvirkning utenfra og nedenfra. Det er gjennomgående lave verdier i lokalt påvirket vann i overflatelaget for  $\text{psu} < 25$  både sommer og vinter. Fosfat-konsentrasjonene i dypvannet, dvs. for salinitet mellom 34 og 35, ligger stort sett mellom 20 og 40  $\mu\text{gP/l}$ , med enkelte verdier opp i 60 - 70  $\mu\text{gP/l}$ . Forhøyede verdier av ortofosfat om vinteren i salinitetsintervallet 25-30 finnes stort sett bare i data fra indre del av fjorden.

Denne forskjellen mellom N og P er tidligere påpekt og drøftet av Baalsrud og Magnusson (1990). Mens forhøyede nitrogenkonsentrasjoner i overflatelaget i stor grad ser ut til å være knyttet til lokale kilder, er det i mye mindre grad tilfelle for fosfor, hvor lokale ferskvannstilførsler heller virker som en fortyning av innholdet i vannet utenfra. Planktonproduksjonen vil derfor kunne komme ettersom lokalt ferskvann, med høye konsentrasjoner av nitrat og silikat og lave konsentrasjoner av løst P, blandes med vann utenfra som har bedre balanse mellom N, Si og P, eventuelt et visst P-overskudd, dvs. at oppblomstringene kan bli konsentrert i fronten mellom brakkvann og sjøvann i munningen av ytre Oslofjord (Baalsrud og Magnusson 1990 s. 52).



En visuell sammenligning mellom målinger og modellbaserte resultater for nitrogenkonsentrasjoner mot salinitet i Breidangen viser at de resultater modellen gir, er rimelige sammenlignet med observasjonene, både når det gjelder generelt nivå, og når det gjelder hvor mye konsentrasjonene varierer med salinitet.

I en bestemt situasjonen, i slutten av april 1995 (Magnusson og Nygaard 1996), tyder observasjonene på at det kan ha vært en kombinasjon av lokale tilførsler og påvirkning utenfra som regulerte tilgangen på næringssalt. I Drøbaksundet og Breiungen ser det ut til at de lokale kildene for nitrogen var viktigst i de vannlag hvor det ifølge klorofylldata var planktonproduksjon, mens det dypere ned var et nitratmaksimum ca. 100-150 µgN/l over det en vanligvis observerer ved denne saliniteten ellers i datamaterialet fra ytre Oslofjord, og som derfor kan stamme fra Skagerrak.

### **Mulige forbedringer av metoden**

Dersom en senere skal benytte lignende beregningsmetoder som beskrevet i denne rapporten til å beregne stoffbudsjetter ut fra sirkulasjonsmodeller, kan det tenkes flere forbedringer.

- En overgang fra en nivådelt til lagdelt simuleringsmodell, dvs. at den vertikale inndelingen i ECOM-3D med faste nivåer erstattes av en inndeling som bedre følger lagdelingen i vannmassene, vil gjøre det lettere å beskrive vertikalblandingen realistisk.
- En kombinert bruk av dypinndeling og tetthets/saltdefinert lagdeling i budsjettene ville kunne gi bedre oppløsning i overflatelaget i budsjettberegningen.
- Ekte gjennomsnittsverdier på transporter, dvs. budsjetter som går opp, vil kunne gjøre det mulig å kalibrere transportberegningene som diskutert i vedlegg D. .

### **Konklusjon**

Beregningsresultatene tyder på at både kontinentalt vann og Østersjøvann/Vestkystvann kan gi merkbar påvirkning på hele ytre Oslofjord ved episoder hvor disse vannmassene transporteres nordover uten at næringssaltene blir brukt opp. Utstrømming fra Østersjøen kan neppe gi store bidrag til konsentrasjonene av uorganiske næringssalter, men har høyere konsentrasjoner av oppløst organisk N.

Ut fra måledata fra Skagerrak ser det ut til at episodisk påvirkning om vinteren fra langtransporterte kilder generelt kan bidra like mye til forhøyede N-konsentrasjoner som de norske tilførslene, eller til og med mer, som gjennomsnitt over hele det tetthetsdefinerte laget som ofte får brukt opp sitt innhold av frie næringssalter.

De lokale tilførslene som kommer med Glomma og Dramselva gir store bidrag i hver sin del av fjorden, og vil også utgjøre et mer permanent bidrag enn påvirkningen utenfra. Dramselva gir et vesentlig bidrag til Breidangen med en sekundær påvirkning på midtre del av fjorden, mens tilførslene med Glomma har mest å si i Hvaler/Singlefjordområdet og i området rundt Torbjørnshjørn. Virkningen av de norske tilførslene er ofte dominerende i forhold til påvirkning fra forhøyede konsentrasjoner i vann utenfra i et 5-10 m tykt overflatesjikt i hhv. Breiungen og Hvalerområdet.

I hovedvannmassene i fjorden kan innvirkningen fra de norske tilførslene og påvirkninger utenfra være omtrent like viktige i gjennomsnitt, men kan hver for seg dominere i ulike perioder.

Disse betraktningene gjelder bare innvirkning på næringssalt-konsentrasjonene i overflaten ut fra en betraktning av passiv spredning. Siden uønskede eutrofieringsvirkninger er knyttet til at næringssalt-konsentrasjonene i overflaten brukes opp og at produsert biologisk materiale synker ned og brytes ned på større dyp, kan ikke slike betraktninger gi hele svaret. Ifølge Baalsrud og Magnusson (1990) er det tegn til at mye av planktonoppblomstringene skjer i overgangen mellom områder preget av lokal

---

ferskvannstilførsel og kystvannet utenfor. Det kan innebære at den virkningen tilførslene med Dramselva og Glomma har på primærproduksjonen gjør seg gjeldende mer fordelt over hele fjordarealet, og lenger ut, enn det som fremkommer direkte av beregningene.

# 1. Bakgrunn

Spørsmålet om rensetiltak for nitrogen rundt ytre Oslofjord har i de siste par år vakt betydelig debatt. Betydningen av rensetiltak for områder sør til Jomfruland slik de framstår i Nordsjøplanen er tidligere analysert ut fra hydrografiske data, satellittfoto, modell- og budsjettbetraktninger, men det er usikkerhet knyttet til en del av disse betraktningene. Til tross for mange detaljerte rapporter og en bred faglig diskusjon omkring dette temaet i 1990, var det fortsatt stor usikkerhet. På bakgrunn av dette så de sentrale politiske myndigheter og SFT det som ønskelig å få foretatt en samlet faglig vurdering av ytre Oslofjord som resipient og effekter av planlagte rensetiltak med utgangspunkt i eksisterende og nye undersøkelser. Det ble i 1995 nedsatt en ekspertgruppe med deltakere fra en rekke ulike institusjoner for å gjennomføre en slik vurdering. Som en del av grunnlaget for den samlede vurderingen ble det gjennomført noen prosjekter som skulle belyse dette ytterligere.

Ett av disse prosjektene beskrives i den herværende rapporten. Oppdragsgiver har vært Statens forurensningstilsyn, og formålet med prosjektet var bl.a. å få et sikrere svar på spørsmål knyttet til vannutskiftningsprosesser i ytre Oslofjord og betydningen av de norske tilførsler av nitrogen (N) og fosfor (P) i forhold til langtransporterte tilførsler. Prosjektet er blitt gjennomført som et samarbeid mellom DNMI, HI og NIVA. Målet var å utnytte sirkulasjonsmodeller ved DNMI for ytre Oslofjord, supplert med resultater fra en Nordsjømodell som finnes hos HI. Modellresultatene skulle ses i sammenheng med tilførselsdata og eksisterende hydrografiske og hydrokjemiske data, og brukes til å sette opp forenklete massebudsjetter for næringsstoffene N og P i ytre Oslofjord. Hensikten med å etablere og bruke en numerisk sirkulasjonsmodell for ytre Oslofjord var å øke presisjonen i beregninger av næringsstoffbudsjetter for ulike fjordavsnitt.

Resultatene er brukt av ekspertgruppen av 1995 i deres vurderinger av betydningen av ulike forurensningskilder for tilstanden i ytre Oslofjord, spesielt når det gjelder den betydning de norske tilførsle har i forhold til langtransportert N og P fra andre deler av Nordsjøen (Skjoldal et al. 1996). Den herværende rapporten tar først og fremst sikte på å presentere de resultater som er brukt i den forbindelse. SFT ønsket imidlertid også å ivareta behovet for langsiktighet i behandling av problemstillingen, og det var derfor en forutsetning at prosjektet også skulle kunne danne basis for videre arbeid med implementering og validering av sirkulasjonsmodellen, simulering av konsentrasjonsfelt, representasjon av effektparametre i modellen (dose-responsrelasjoner), valg av stasjonsnett for framtidig overvåking osv.

## 2. Problemstilling

Oslofjorden tilføres N og P gjennom elvetilførsler, direkte utslipp, atmosfæriske deponisjoner og langtransport fra Kattegat/Østersjøen og den sørlige Nordsjøen. Norske tiltak for å redusere tilførsler til ytre Oslofjord omfatter arealavrenning og punktutslipp fra landbruket, industriutslipp og kommunalt avløp. Til Oslofjordområdet (Svenskegrensen - Larvik) er det beregnet at ca. 80 % av fosfortilførslene og ca. 60 % av nitrogentilførslene fra Norge kommer som elvetilførsler (Holtan et al. 1994), mens resten tilføres ved direkte avrenning eller punktutslipp.

Målet med prosjektet har vært å fremskaffe nærings saltbudsjetter for ulike deler av ytre Oslofjord med så stor presisjon som mulig innenfor den aktuelle prosjektrammen basert på dagens kunnskapsnivå og tilgjengelig modellverktøy. Nærmere bestemt skulle numeriske sirkulasjonsmodeller benyttes til å gi resultater om fordeling, transportveier og oppholdstider til de viktige vannmassene i ytre Oslofjord. Budsjetter for N og P settes opp ved å kombinere disse modellresultatene med tilgjengelige data for tilførsler fra land og konsentrasjoner i ulike vannmasser i Nordsjø/ Skagerrak-systemet.

De spørsmål som ønskes besvart gjennom dette prosjektet er:

- I hvilken grad bidrar norske antropogene tilførsler til målbare "overkonsentrasjoner" av N og P i øvre deler av vannmassen?
- Kan en reduksjon av norske antropogene tilførsler på rundt 50 % alene eller sammen med reduksjoner i langtransporterte tilførsler gi målbare reduksjoner i nærings salttilgangen i den produktive sonen?

Med ytre Oslofjord mener vi i denne rapporten hele fjordområdet innenfor en linje omtrent rett vestover fra Koster, og avgrenset i vest av en linje litt vest for Svenner, og sør for Svelviksterskelen og Drøbaksundet, dvs. at Drammensfjorden og indre Oslofjord ikke er inkludert, men tilførslene gjennom disse områdene er tatt med i analysen. Inndelingen er nærmere omtalt i kap. 10.5.

### 3. Faglig fremgangsmåte - institusjonelt samarbeid

Problemstillingen er belyst gjennom følgende elementer som til sammen eller hver for seg gir grunnlag for de beregninger og vurderinger som skal føre fram til en samlet konklusjon:

1. Simulering av sirkulasjonsmønster, oppholdstider etc. med "State of the art" numeriske 3-dimensjonale sirkulasjonsmodeller samt kjøring av ulike scenarier for årstid og vindforhold.
2. Fornyet gjennomgang og analyse av eksisterende data for strøm, hydrografi og hydrokjemii, samt data for tilførsler fra land.
3. Utarbeiding av nærings saltbudsjett for ulike deler av ytre Oslofjord basert på modellkjøringer og analyse av eksisterende data.

Det første punktet, kjøringen av sirkulasjonsmodellene, er utført av Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI) og Havforskningsinstituttet (HI) som to separate prosjekter (Hackett et al. 1995, Svendsen et al. 1995). NIVAs del av samarbeidsprosjektet, og emnet for denne rapporten, gjelder punkt 2 og 3, og bygger i punkt 3 på resultatene fra sirkulasjonsmodellene. Arbeidet bygger først og fremst på DNMI's modellresultater, mens HI's resultater inngår som et supplement.

#### 3.1 DNMI's modellsimuleringer

Det Norske Meteorologiske institutt (DNMI) har implementert den 3-dimensjonale sirkulasjonsmodellen ECOM-3D til bruk for ytre Oslofjord i et modellsystem som består av 3 deler (Hackett et al. 1995):

1. En storskala modell for Nordsjøen på et 20 km gitter.
2. En modell for Skagerrak på et 4 km gitter.
3. En modell for selve ytre Oslofjord på et finmasket gitter (800 m intervall).

Modellene er koplet sammen (nøstet) slik at de mindre modellene får sine åpne randbetingelser fra de større modellene. I en typisk simulering kjøres Nordsjømodellen først med åpne randbetingelser tatt fra klimaarkivet. Deretter kjøres Skagerrakmodellen med sine åpne randbetingelser tatt fra Nordsjømodellkjøringen. Til slutt kjøres den lokale Oslofjordmodellen med sine åpne randbetingelser tatt fra Skagerrakmodellkjøringen. Kjøringene på de ulike modellnivåene innledes av en oppkjøringsfase ("*Spin-up*") tilpasset oppholdstidene, som gir realistiske startbetingelser for den egentlige simuleringen. Dette er nærmere beskrevet i Hackett et al. (1995). I DNMI's modellimplementering er det bygd inn aggregering av resultatene i form av tidsserier for volumer innenfor definerte tverrsnitt og tetthetsdefinerte lag i ytre Oslofjord og transporter mellom delvolumene. I tillegg er det anledning til å følge utbredelsen av merkede ferskvannsmasser ved samme type beregning.

DNMI's modellsimulering har således gitt grunnlag for en forholdsvis detaljert beskrivelse av transportene innenfor Oslofjordområdet, som beskrevet i kap. 4.3, deres resultater ligger til grunn for beregningene i kap. 12. Oppdelingen av vannmassene er definert i samarbeid mellom DNMI og NIVA, og bakgrunnen er beskrevet i kap. 10.5 i denne rapporten.

## 3.2 HIs modellsimuleringer

Havforskningsinstituttet har brukt sin modell NORWECOM, også med utgangspunkt i ECOM-3D, som er nøstet i to trinn, med en geografisk inndeling omtrent tilsvarende del 1 og 2 av DNMI's modell (Svendsen et al. 1995). HIs modell kan derfor ikke oppløse transportsystemet i selve Oslofjordområdet, men gir verdier for konsentrasjoner av vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen i Skagerrak og variasjoner i mengdene av de samme vannmassene som transporteres inn og ut av Oslofjord gjennom snittet Larvik - Koster. De resultatene som omtales her gjelder transportdelen av modellsystemet NORWECOM, om omfatter altså ikke virkningene av biologisk omsetning.

## 3.3 Beregning av nærings saltbudsjetter ut fra modellresultater

Ideelt sett ville en ønske at sirkulasjonsmodellene også kunne ta med relevante stoffkonsentrasjoner og biologisk omsetning integrert med transportberegningene i selve Oslofjordområdet, slik at en fikk ut et direkte bilde på tilstanden ved ulike utslippsscenarioer. Dette var ikke mulig å implementere innenfor rammen av dette prosjektet.

I stedet er de numeriske modellene brukt til å gi tall for volumtransport med en passende tidsoppløsning, både totalt og fordelt på noen definerte ferskvannskilder, inn og ut av nærmere definerte volumavgrensninger. Disse opplysninger er så kombinert med data for tilførsler og det har gitt grunnlag for å beregne nærings saltbudsjetter for avgrensede områder og lag innenfor fjordsystemet.

### 3.3.1 Bruk av DNMI's simuleringsresultater

Simuleringsmodellen er forholdsvis detaljert, med et 800 m gitter og et 20-talls nivåer vertikalt. Vertikalinnndelingen ligger fast i tid, men følger bunntopografien i en såkalt  $\sigma$ -inndeling vertikalt, dvs. at tykkelsen av lagene varierer proporsjonalt med bunndypet. Teknisk/økonomiske begrensninger (tilgjengelig regnekraft og kostnader) har gjort at det bare kunne kjøres ett simuleringsforløp, for ett år, med denne oppløsningen. For å gjøre det overkommelig å regne nærings saltbudsjetter for ulike utslippsscenarioer måtte en aggregere resultater fra simuleringen med en mye grovere geografisk og vertikal oppløsning. For dette formålet er fjorden delt inn i geografiske områder ("bokser") etter faste grenselinjer, og hvert område betraktes som bestående av flere lag med variable tykkelser, definert med faste tetthetsintervaller. Dette definerer delvolumer som varierer i tid.

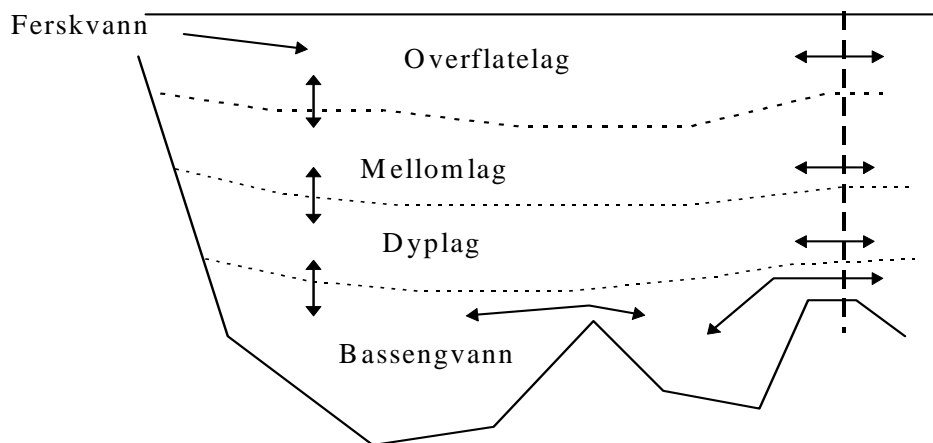
Med 1 times mellomrom under simuleringen er tilstanden tatt vare på i form av vannmengde (volum) innenfor hvert av de definerte delvolumene, både for vann totalt og for de ulike merkede vanttypene, og samlet transport mellom delvolumene. Idéelt sett skal volumendringene mellom to tidspunkter være gitt av netto transport gjennom grenseflatene horisontalt og vertikalt.

Geografisk er vannmassene delt opp ved å legge inn vertikale snittflater som etter en innledende analyse av topografiske og strømningsmessige forhold er antatt hensiktsmessig som avgrensning av ulike fjordavsnitt. I alt er ytre Oslofjord delt i 16 områder eller bokser.

Vertikalt er det brukt en oppdeling i 4 lag, definert av faste grenseverdier på tettheten, slik at tykkelsen av lagene varierer over tid. Hensikten har vært å forsøke å gi en brukbar beskrivelse av transportene, som er en kombinasjon av estuarin sirkulasjon drevet av lokal ferskvannspåvirkning og strømmer generert av vind, tetthetsendringer og vannstands endringer i Skagerrak, og som kan være nokså forskjellig i ulike lag. Det viktigste har vært å beskrive virkningen av de ulike forurensningskilder i det brakkvannspåvirkede overflatelaget hvor primærproduksjonen foregår, og i mellomlag som deltar i den estuarine sirkulasjonen. De dypere lagene har ikke så stor interesse i seg selv i denne sammen-

hengen, men ble skilt ut for å få en separat beskrivelse av de øvre lagene og et bedre bilde av den vertikale utvekslingen mellom lagene.

Den forenklete beskrivelsen av sirkulasjonen kan skisseres som vist i figur 1 for et tenkt fjordavsnitt innerst i fjorden, med forbindelse til en annen boks på høyre side av figuren. Generelt vil en boks ha flere nabobokser. Strømmene eller transportene er indikert som toveis strømmer. I de akkumulerte modellresultatene vil hver slik toveis strøm være gitt av to verdier; hver verdi representerer samlet transport i én retning, akkumulert over det aktuelle strømtverrsnittet. Fordi strømretningen vil variere over grenseflaten, vil begge verdier normalt være  $> 0$ .



**Figur 1.** Prinsippskisse av lagdeling og transport mellom vannmassene i ytre Oslofjord

Den vertikale oppdelingen av vannmassene er forsøkt knyttet til de salinitetsverdier som mest effektivt skiller mellom det produktive overflatelaget og de underliggende vannmasser, slik at modellresultatene kan gi et best mulig bilde av lagdelingen i forhold til næringssaltbudsjettene. Grensene for det øvre lag ble valgt ut fra en analyse av eksisterende data for restkonsentrasjoner av næringssalter om sommeren. Dette er nærmere drøftet i kap. 10.4.

Simuleringsmodellen til DNMI gir et nokså detaljert bilde av transporter både i tid og rom i ytre Oslofjord. Modellen leverer verdier for transport av vann, samt konsentrasjon av salt og temperatur, med den rom- og tidsoppløsningen simuleringen har. I tillegg er det inkludert "sporstoff" som angir konsentrasjonen av vann fra Østersjøen og Tyskebukta.

Budsjett og konsentrasjoner for N og P er beregnet på to måter:

1. Ved å kombinere modellens beregnede konsentrasjoner av merket vann fra noen hovedkilder med konsentrasjoner av N og P i de samme kildene til en beregning av total konsentrasjon av N og P.
2. Som dynamisk beregning gjennom det simulerte året (1993) ved å kombinere modellens vanntransporter med tall for lokale tilførsler og vannkvalitet i randområde. I denne beregningen er det tatt med lokale tilførsler som ikke er knyttet til noen av de definerte hovedvannkildene, og det er brukt observerte konsentrasjoner i Skagerrak som bakgrunn for beregningene i stedet for N- og P-konsentrasjoner i ferskvannskilder fra andre land.

For å kunne gjøre disse beregningene, måtte modellresultatene fra ECOM-3D tas vare på i egnet form. det er gjort med forholdsvis stor oppløsning i tid, men akkumulert for større vannvolumer. Spesifikasjonen av dette og hvordan det gjøres i praksis er nærmere omtalt i kap. 10, i vedlegg Vedlegg C. , og i Hackett et al. (1995).

### **3.3.2 Beregning av ferskvanns- og nærings salt-tilførsler**

Tilførsler av ferskvann, både fra norske og utenlandske kilder, inngår direkte som inndata i den simuleringsmodellen som er kjørt av DNMI. Modellen bruker månedsmidler for vannføring i de viktigste elvene rundt Nordsjøen, skalert slik at en får med også den avrenningen som ikke er inkludert i disse elvene. Her er både de lokale tilførslene (i hovedsak Glomma og Dramselva) og tilførslene til Skagerrak/Kattegat og Nordsjøen med. Forskjellige grupper av ferskvannstilførsler er merket med hver sin sporstoffkonsentrasjon med utgangsverdi 1.0 for ferskvann. Simuleringsmodellen beregner konsentrasjonsfelter i rom og tid for hver gruppe, hvor verdiene altså angir hvor stor andel av de totale vannmassene som stammer fra de forskjellige kildene (se Hackett et al. 1995).

Det ble først vurdert å bruke tilførsler av næringsstoff-konsentrasjoner som grunnlag for å sette de "sporstoff-konsentrasjoner" som er bygd inn i modellen, men i siste instans ble det vurdert som mest hensiktsmessig i denne omgangen å la dem vise vannkonsentrasjon fra noen hovedgrupper av ferskvannskilder i stedet.

Data for næringsalter er innhentet fra de forskjellige land rundt Nordsjøen sammen med vannføringsdata, og brukt til å sette opp et bilde av hvordan konsentrasjoner og tilførsler av N og P varierer gjennom året. Dette er brukt som grunnlag for å vurdere virkningen av langtransportert N og P på nærings saltbudsjetter ved å kombinere det med modellresultatene for andel av vann fra ulike kilder. Data gjennomgås i kap. 6, og en liste over de institusjoner og enkeltpersoner vi har fått data fra er gitt i vedlegg Vedlegg A. .

De lokale tilførslene til ytre Oslofjord er satt opp med en geografisk, tidsmessig og kildemessig oppdeling som er tilpasset de krav analysen av massebudsjettene stiller, og er tilrettelagt for beregning for ulike utslippsscenarioer, dvs. ulike kombinasjoner av tiltak på ulike kilder. Oppdelingen er derfor litt annerledes enn det som har vært brukt i tidligere beregninger av tilførsler. Datagrunnlaget mht. tilførsler beskrives nærmere i kap. 7 og i vedlegg Vedlegg B. .



## 4. Avgrensning av oppgaven og valg av ambisjonsnivå

### 4.1 Forenklinger i beregning av transport og omsetning

Idéelt sett er det eventuelle uønskede eutrofi-effekter som følge av antropogene tilførsler av næringsstoffene N og P og muligheten for å redusere disse effekter som ønskes vurdert, og det er emnet for ekspertgruppens vurdering. I dette prosjektet, som danner ett av flere grunnlag for den samlede vurderingen, er problemstillingen begrenset til å vurdere næringsstofftilførslene som passive stoffer uten å gå inn i kvantitative betraktninger av de biologiske prosesser.

Næringssaltene skjebne vil således i denne rapporten stort sett bli betraktet ut fra rene transport- og blandingsprosesser i de dominerende vannmasser. Ved beregningen av næringsstoffbudsjettene vil det ikke tas eksplisitt hensyn til biologisk omsetning eller aktiv partikkeltransport ved f.eks. nedsynking av partikulært materiale fra elvetilførsler og som følge av biologisk omsetning i vannmassene. Ved beregninger som nevnt under punkt 1 på side 22 inngår bare mengder og konsentrasjoner i ferskvannstilførslene fra forskjellige land, og det gjøres da en rent passiv spredningsbetraktning, hvor biologisk og partikkeltilknyttet omsetning og transport i Nordsjøen ikke er tatt hensyn til. Beregningene nevnt under punkt 2 foran vil i noen grad bygge på målte konsentrasjoner i Skagerrak og Østersjøen for å anslå virkningen av langtransporterte forurensninger, og her er selvsagt virkningene av biologisk omsetning og partikkelnedsynking med, men for transportene i ytre Oslofjord brukes alltid en rent passiv spredningsbetraktning.

Å se bort fra biologisk omsetning kan være faglig forsvarlig for vintersituasjonen (desember - februar) når primærproduksjonen er på sitt laveste, iallfall i ytre Oslofjord, selv om det i deler av Nordsjøen er tegn til merkbar påvirkning av biologiske prosesser også da (se side 63). I resten av året (mars - november) kan ulike biologiske prosesser ha stor betydning for næringssaltene skjebne, også når det gjelder transporten ut av området. Betraktninger av næringssaltene passive transport og fortykning, som om det ikke var noen biologiske prosesser av betydning, kan i en sommersituasjon kun belyse varighet og frekvens av situasjoner som er gunstige for høy primærproduksjon, spesielt knyttet til større tilførsler, f.eks. ved vårfloppen.

Partikkelnedsynking kan ha betydning hele året. Det at det ikke tas hensyn til dette vil derfor komme inn som en generell usikkerhet uansett hvilken situasjon som betraktes.

I framtidige vurderinger bør det være et mål å få biologiske effekter av overgjødning inn som en mest mulig integrert del av analysen, ved at det etableres kvantitativ kobling mellom tilførsler og effekter i massebudsjettene eller i modellene selv. Dette må sees i sammenheng med en koordinert overvåking av fjorden på sikt og krever videre utviklingsarbeid, og er således ikke reflektert i den foreliggende beskrivelse.

### 4.2 Forenklinger og begrensninger i behandling av tilførsler

En viktig del av prosjektet har vært å kvantifisere de norske tilførslene av ferskvann og næringssalter til ytre Oslofjord og data om tilførsler fra andre land til Nordsjøen/Skagerrak med oppløsning på månedsbasis. Dette baserer seg på data fra forskjellige kilder (kap. 5 til 7), med varierende målehyppighet og omfang mht. målte variable og andel av kildene som er dekket. Dataene kan derfor ikke gi noe fullstendig bilde.

Stort sett er det bare totaltilførslene av N og P som er beregnet og brukt i næringsstoffbudsjettene. Data for andel uorganiske næringsalter finnes, og presenteres i det følgende, men når det gjelder spørsmålet om biotilgjengelighet av restfraksjoner er kunnskapsgrunnlaget ufullstendig. På dette punktet gjenstår mye arbeid; spesielt for fosfor er det en stor del av tilførslene som har usikker grad av biotilgjengelighet.

### **4.3 Geografisk og tidsmessig oppdeling - belysning av ulike situasjoner**

Forholdene skulle belyses separat for ulike deler av ytre Oslofjord. Det er oppnådd ved å beregne transport og stoffbudsjetter for en oppdeling av ytre Oslofjord i 16 områder, med vertikal inndeling i 4 lag.

Via modellverktøyet som er brukt tar analysen i betraktning sesongmessige variasjoner i oppholdstider og hvordan dette kan ha betydning for eutrofisituasjonen i de ulike fjordområder. Det har ikke vært mulig å gjøre noen egentlig statistisk vurdering av varighet og frekvens av situasjoner som muliggjør høy primærproduksjon. Til det er det tilgjengelige datamaterialet for spredt i tid og rom, og det har uansett ikke vært mulig innen prosjektrammen å kjøre tilstrekkelig mange simuleringer for en slik analyse. Det har heller ikke vært mulig å sette opp et normalt variasjonsområdet (eller et "normalår") for hydrografiske forhold basert på data. I stedet er 1993 valgt skjønsmessig som et noenlunde representativt år, iallfall for de norske tilførslene, og modellsimuleringen til DNMI er kjørt gjennom dette året. Resultatene for ulike kilders bidrag til N- og P- konsentrasjoner er oppsummert statistisk ved gjennomsnitt eller median og variasjonsintervaller for ukemidler. Den supplerende modell-simuleringen fra HI gir grunnlag for visse konklusjoner om hvordan virkningen av langtransporterte forurensninger kan variere fra år til år, og i forhold til valgt basisår.

Det har ikke vært mulig å gi noen omfattende statistisk analyse av hvordan forholdene kan variere for ulike utslippsscenerier. Dette er heller ikke naturlig så lenge biologisk omsetning ikke inngår som en integrert del av analysen. Simuleringsresultatene gir likevel grunnlag for å antyde variasjonsområder for mulige effekter av endringer i de norske tilførsler.

## 5. Samlet oversikt over tilførsler av ferskvann, N og P til Nordsjøen fordelt på ulike land (1992)

Tabell 1 viser en oversikt over estimerte tilførsler fra landene rundt Nordsjøen i 1992, basert på utkast til OSPARCOM-rapporten for 1992 (OSPARCOM 1994). Som det vil fremgå av tabellen er en del av de små verdiene svært sterkt avrundet. Noe komplett utkast til rapport for 1993 var ikke tilgjengelig, og data for 1993 blir i stedet presentert i avsnittet for hvert enkelt land, ut fra hva som har vært tilgjengelig av opplysninger. Som det fremgår av tabellen, står tilførslene fra Storbritannia og kontinentet (via Nederland, Belgia og Tyskland) til sammen for ca. 90 % av de samlede tilførsler til Nordsjøen, mens de tre skandinaviske land står for rundt hhv. ca. 12 % og 7 % av nitrogen- og fosfortilførslene. I tillegg til det som er med i tabellen, finner vi også innenfor modellområdet tilførslene fra Frankrike via den engelske kanal, tilførslene til havområdene vest for de britiske øyer og rundt Irland. Det er sett bort fra disse tilførslene i beregningen av næringsstoffbudsjettene. Tilførslene via Østersjøen har selvsagt betydning for Skagerrak, men her det sett på data for konsentrasjonene i det vannet som kommer fra Østersjøen fremfor tilførslene fra land til Østersjøen.

I tabellen er det også beregnet volummidlede konsentrasjoner for avrenningen fra de enkelte landene. Det mest relevante for langtransport av forurensninger antas å være gjennomsnittskonsentrasjoner, dvs. samlet N- og P-transport fortynnet i samlet ferskvannsavrenning, hvor også de direkte tilførslene fra kommunalt avløp og industri tas med. Særlig for Storbritannia og for Norge bidrar tilførsler utenfor de målte elvene vesentlig, mens det i de andre landene ser ut til at den dominerende del av tilførslene går ut via vassdrag som er inkludert i OSPARCOMs måleprogram. For Danmark kan det være at en del diffus avrenning utenom elvene kommer i tillegg til det som er inkludert i tallmaterialet fra OSPARCOMs rapporter. Som det fremgår av tabellen, finnes de høyeste konsentrasjonene i ferskvannet fra Storbritannia, kontinentet og Danmark, med nitrogenkonsentrasjoner omkring 4-7 mg/l og fosforkonsentrasjoner omkring 150-400 µg P/l som gjennomsnitt på årsbasis. For Danmark er det ikke gitt tall for ammonium spesielt. Fra Norge er gjennomsnittskonsentrasjonene ca. 1/10 av dette, mens tilrenningen fra den svenske vestkysten ligger i en mellomstilling. I disse gjennomsnittsverdiene er direkte-avløp av kloakkvann innregnet.

**Tabell 1.** Oversikt over estimerte tilførsler av ferskvann, N og P fra landene rundt Nordsjøen i 1992.

Tallverdier hentet fra OSPARCOM (1994).

Land	Kilde	Vannf.	TotN	NH <sub>4</sub> N	NO <sub>3</sub> N	TotP	PO <sub>4</sub> P	Vannf.	TotN	TotP
Område		1000 m <sup>3</sup> /d	kt/år	kt/år	kt/år	kt/år	kt/år	m <sup>3</sup> /s	µg/l	µg/l
<b>Samlet sum</b>		<b>673 519</b>	<b>1 060</b>	<b>129</b>	<b>689</b>	<b>60</b>	<b>37</b>	<b>7 795</b>	<b>4 314</b>	<b>245</b>
<b>Storbritannia</b>										
<b>Nordsjøen</b>	Direkte	4 694.5	59	38	16.7	9.6	8.6	54.3	34 433	5603
	Elver	116 238.0	140	7.8	78	8.8	8.5	1345.3	3 300	207
	<b>SUM</b>	<b>120 932.5</b>	<b>199.0</b>	<b>45.8</b>	<b>94.7</b>	<b>18.4</b>	<b>17.1</b>	<b>1399.7</b>	<b>4 508</b>	<b>417</b>
<b>Kanalen</b>	Kloakk direkte	1 004.0	9.6	0.8	9.7	1.7	1.7	11.6	26 197	4639
	Industri	39.0	0.04	0.004	0.003	0.01	0.01	0.5	2 810	702
	Elver	14 764.0	21	20	0.7	1.3	1.3	170.9	3 897	241
	<b>SUM</b>	<b>15 807.0</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>183.0</b>	<b>5 311</b>	<b>522</b>
	<b>SUM</b>	<b>136 739.5</b>	<b>230</b>	<b>67</b>	<b>105</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>1582.6</b>	<b>4 601</b>	<b>429</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>20.3</b>	<b>21.7</b>	<b>51.6</b>	<b>15.3</b>	<b>35.6</b>	<b>53.9</b>		
<b>Belgia (inkl. fra andre land)</b>										
<b>Nordsjøen</b>	Direkte: "ubetydelig" (ca. 10 % av Scheldts nedbørareal)									
	Elv (Scheldt)	9 158.0	40	3.9	22	2.7	0.8	106.0	11 966	808
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>1.4</b>	<b>3.8</b>	<b>3.0</b>	<b>3.2</b>	<b>4.5</b>	<b>2.1</b>		
<b>Nederland (inkl. fra andre land)</b>										
<b>Nordsjøen</b>	Direkte	540.0	6.1	3.2	1.1	1.1	0.6	6.3	30 949	5581
	Elver	219 960.0	387.7	21.0	280.2	18.5	10.6	2545.8	4 829	230
	<b>SUM</b>	<b>220 500.0</b>	<b>393.8</b>	<b>24.2</b>	<b>281.3</b>	<b>19.6</b>	<b>11.2</b>	<b>2552.1</b>	<b>4 893</b>	<b>243</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>33</b>	<b>37</b>	<b>19</b>	<b>41</b>	<b>32</b>	<b>30</b>		
<b>Tyskland</b>										
<b>Nordsjøen</b>	Totalt direkte:		4.3		2.1	0.5	0.1			
	Elver	95 671.4	233.1	13.4	176.9	10.9	2.9	1107.3	6 675	312
	<b>SUM</b>	<b>95 671.4</b>	<b>237</b>	<b>13</b>	<b>179</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>1107.3</b>	<b>6 798</b>	<b>326</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>14.2</b>	<b>22.4</b>	<b>10.4</b>	<b>26.0</b>	<b>18.9</b>	<b>8.1</b>		
<b>Danmark</b>										
<b>Nordsjøen</b>	Kommunalt avløp	51.0	0.3		0.3	0.03	0.01	0.6	16 116	1612
	Industri	58.0	1		0.3	0.1	0.03	0.7	47 237	4724
	Elver	12 477.0	24		21	0.5	0.2	144.4	5 270	110
<b>Skagerrak</b>	Kommunalt avløp	3.0	0.03		0.02	0.004	0.002	0.0	27 397	3653
	Industri	10.0	0.6		0.1	0.09	0.03	0.1	164 384	24658
	Elver	814.0	2.3		2	0.08	0.06	9.4	7 741	269
<b>Kattegat</b>	Kommunalt avløp	203.0	1.1		1	0.1	0.07	2.3	14 846	1350
	Industri	64.0	1.3		0.3	0.1	0.04	0.7	55 651	4281
	Elver	12 310.0	31		26	0.6	0.4	142.5	6 899	134
	<b>SUM</b>	<b>25 990.0</b>	<b>61.63</b>		<b>51.02</b>	<b>1.604</b>	<b>0.842</b>	<b>300.8</b>	<b>6 497</b>	<b>169</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>3.9</b>	<b>5.8</b>	<b>7.4</b>	<b>2.7</b>	<b>2.3</b>			
<b>Sverige, vestkysten</b>										
<b>Kattegat</b>	Kommunalt direkte	471.9	3.0	2.10	0.5	0.061	0.017	5.5	17 185	356
	Industri	100.2	0.04			0.020		1.2	1 176	547
	Elver	60 833.0	31.6	0.72	21.3	0.548	0.152	704.1	1 422	25
<b>Skagerrak</b>	Kommunalt direkte	50.40	0.46	0.25	0.14	0.011	0.003	0.6	25 005	598
	Industri	13.80				0.076	0.004	0.2		15088
	Elver	2 810.0	2.2	0.11	1.2	0.081	0.016	32.5	2 193	79
	<b>SUM</b>	<b>64 279.3</b>	<b>37.3</b>	<b>3.17</b>	<b>23.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.2</b>	<b>744.0</b>	<b>1 589</b>	<b>34</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>9.5</b>	<b>3.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3.4</b>	<b>1.3</b>	<b>0.5</b>		
<b>Norge</b>										
<b>Skagerrak</b>	Kommunalt		5	4.9	0.1	0.3	0.1			
	Industri		1.8			0.1				
	Elver	114622	19.2	1.18	13.2	0.52	0.148	1326.6	459	12
	<b>SUM</b>	<b>114 622.0</b>	<b>26.0</b>	<b>6.1</b>	<b>13.3</b>	<b>0.9</b>	<b>0.2</b>	<b>1326.6</b>	<b>621</b>	<b>22</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>17.0</b>	<b>2.5</b>	<b>4.7</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>0.7</b>		
<b>Nordsjøen</b>	Kommunalt		3.8	2.8	0.02	0.4	0.3			
	Industri		0.2			0.03				
	Elver	6559	30.7	8.93	13.82	1.379	0.556	75.9	12 824	576
	<b>SUM</b>	<b>6 559.0</b>	<b>34.7</b>	<b>11.7</b>	<b>13.8</b>	<b>1.8</b>	<b>0.9</b>	<b>75.9</b>	<b>14 494</b>	<b>756</b>
	<b>Andel av samlet sum</b>	<b>%</b>	<b>0.97</b>	<b>3.27</b>	<b>9.09</b>	<b>2.01</b>	<b>3.01</b>	<b>2.29</b>		

## 6. Tilførsler av ferskvann og næringsstoffer (N, P og Si) fra andre land

Data om utenlandske tilførsler på årsbasis har vært tilgjengelig gjennom Oslo-Paris-kommisjonens rapporter (OSPARCOM 1994, 1995). For å få tak i data som viser variasjon gjennom året har vi rettet henvendelser til og mottatt data fra en del institusjoner ansvarlig for nasjonale måleprogrammer. Datakildene er listet opp i vedlegg Vedlegg A. .

I dette kapitlet gjennomgås det datamaterialet som er innhentet om ferskvannstilrenning samt tilførsler av N og P fra andre land. Noen av disse data er brukt til å sette opp inngangsdata til DNMI's modellkjøringer, andre som datagrunnlag for budsjettberegninger, og noen som sammenligningsgrunnlag ved vurdering av beregningsresultatene.

### 6.1 Storbritannia og Irland

Avrenning til Nordsjøen fra de britiske øyer er rapportert ganske detaljert under Pariskonvensjonen (PARCOM), med oppdeling i mange delområder (17 på vestsiden, 17 mot Nordsjøen, og 6 mot den engelske kanal). Innenfor noen av områdene er rapporterte tilførsler fordelt på en serie elver. Tilførselstall er hentet fra følgende kilder:

1. PARCOM-rapporter for 1992 (*draft report*) og 1993 (ufullstendig utkast) gir årstransporter samlet for hvert delområde, men separat for direkte kloakk og industri-avløp og tilførsler via elvene, med oppdeling i de nevnte områdene.
2. Rådata for engelske elver fra årene 1992, 1993 og 1994 er stilt til rådighet av *National River Authority* (NRA). Data omfatter 70 målestasjoner, og gir verdier av vannføring og konsentrasjon for enkeltdatoer. Det er ikke spesifisert om vannføringene er middel over en periode målingen skal representere eller gjeldende verdi i prøvetakingsdøgnet. Midlere vannføring på hver målestasjon varierer fra 0.2 til 70 m<sup>3</sup>/s, og ligger mange steder av dem under 2-5 m<sup>3</sup>/s. Den gjennomsnittlige vannføring pr. målested er 15 m<sup>3</sup>/s. Vannkvaliteten er beskrevet ved konsentrasjon av ammonium, total-nitrogen og ortofosfat. For 5 lokaliteter (stasjonene *Loftsome*, *North Bridge*, *Beal*, *Naburn L.* og *Tadcaste*) finnes data omtrent ukentlig, for de fleste andre omtrent månedlig. Data for 1994 er bare foreløpige, dvs. de er ikke endelig kvalitetssikret.
3. Datafiler for elva Tweed på grensen mellom England og Skottland fra det skotske *Tweed River Purification Board* i Galashiels. Data omfatter daglige vannføringer for perioden 1963-1994 og vannkjemi for årene 1986-1995 med ca. én måling i måneden. Målte variable omfatter her nitrat, ammonium, total fosfor og uorganisk løst fosfor. NRA har supplerende data fra den samme elva, med ca. 1 måling pr. måned, for total-nitrogen, ammonium og fosfat.
4. Tabellutskifter fra *Forth River Purification Board* i Edinburgh, med langtidsmidler (siste 10-15 år) for vannføring og konsentrasjoner for 13 stasjoner, oppgitt for hver måned i året. Midlere vannføring for en enkelt stasjon ligger stort sett mellom 1 og 10 m<sup>3</sup>/s, unntatt *Forth River*, som har vannføring 50 m<sup>3</sup>/s.
5. Tabellutskifter fra *North East River Purification Board*, Aberdeen, med data for enkeltprøver (en pr. måned) i perioden 1990-93 ved 8 målestasjoner. River *Spey* og river *Dee* er de største, med vannføringer på anslagsvis 60 og 40 m<sup>3</sup>/s. Månedlige vannføringsmiddelverdier for perioden 1963 til 1995 er også gitt her.

6. Datautskifter fra *Highland River Purification Board* i Dingwall i den nordligste del av Skottland, med månedsmiddel for vannføring over mange år for de fleste målestasjoner og månedlige enkeltmålinger av vannkjemi for årene 1990-94.

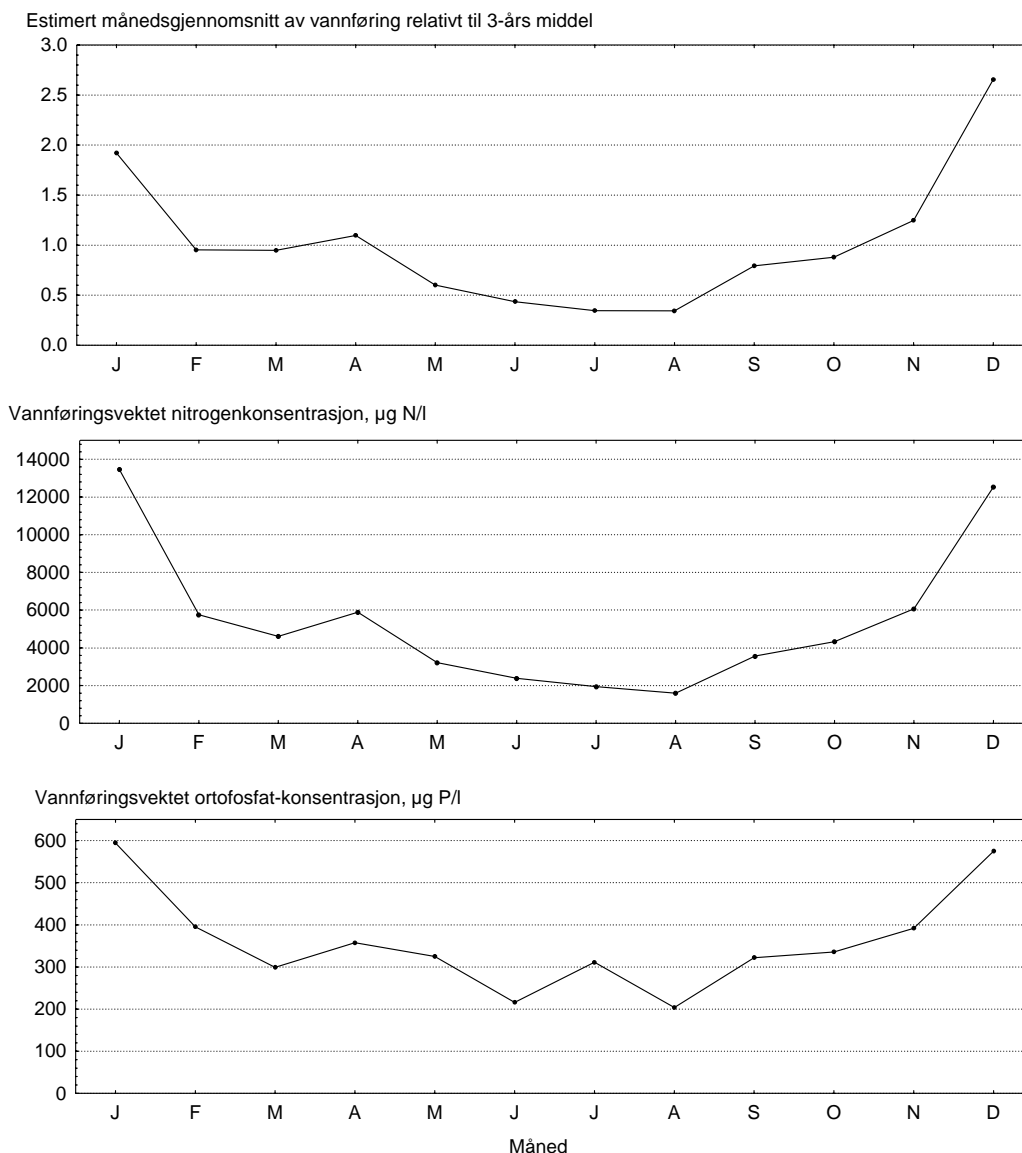
Datamaterialet er altså stort og sammensatt, og det kom delvis inn for sent til at det har kunnet la seg utnytte fullt ut i dette arbeidet. Vannføringstall fra PARCOM-rapporten har imidlertid vært brukt til å utfylle og modifisere beskrivelsen av ferskvannstilførsler fra de britiske øyer i DNMI's modellkjøring (Hackett et al. 1995). Sesongvariasjoner i elvetilførslene er vurdert ved å plukke ut de viktigste målestasjonene fra NRAs data, supplert med en gjennomgang av de viktigste data fra de skotske *River Purification Boards*.

Data fra det engelske *National River Authority* gjelder som nevnt et stort antall større og mindre vassdrag. Både vannføring og næringsstoff-konsentrasjoner varierer sterkt mellom målestasjoner og over tid. For å gi et bilde av årstidsvariasjonen i den samlede tilrenningen til Nordsjøen er det beregnet volumfluks-midlede månedskonsentrasjoner over alle målingene. Det tas forbehold om at datafilen for 1994 bare eksisterer som utkast og ikke er endelig kvalitetskontrollert. Konsentrasjoner er oppgitt å være  $\mu\text{g/l}$  av N eller P, og typiske variasjonsområder (kvartilgrenser) er ca. 50-300 for ammonium, 2700-8000 for totalnitrogen, og 100-800 for fosfor.

Det er noen markant avvikende verdier, som er behandlet på litt forskjellig måte:

- For noen årsserier, spesielt for 1994, er total-N gitt med verdier  $<10$ . Ut fra ammonium-verdien og sett i sammenheng med data for øvrig synes det opplagt at dette er oppgitt som  $\text{mg/l}$ , og de er derfor multiplisert med 1000.
- For noen vannprøver er ammonium og totalnitrogen gitt med identiske verdier i området 30-800, rimelige som ammoniumtall, men tildels svært lave til å være totN; det er mulig dette er feilkoding. Det er også noen måledata hvor totN har lavere verdi enn ammonium. Ved visuell inspeksjon fremtrer de fleste av disse data som klare avvikere, og det er sannsynlig at er feil her. Det er dessuten et avvikende N:P-forhold  $\leq 1$  i de fleste av disse prøvene. Det er valgt å se bort fra totalnitrogen i disse prøvene.
- Det er også en god del andre prøver hvor N:P-forholdet ligger svært nær 1, og datapunktene fremtrer som en gruppe klart avvikende fra majoriteten av data i et XY-plott, uten at hverken P eller totN isolert sett avviker fra det vanlige variasjonsintervallet. Det også er sett bort fra disse data både for N og P.

Resten av dataene er brukt til å beregne et årsforløp for vannføring og konsentrasjon. Det er antatt at alle målestasjoner representerer egne kilder, og altså at ingen stasjoner ligger oppstrøms andre stasjoner. For hver måned er det beregnet en vannføringsvektet gjennomsnittskonsentrasjon over alle observasjoner, dvs. over de stasjoner og år hvor det finnes målinger for denne måneden. Et estimat for forholdet mellom gjennomsnittlig samlet vannføring i en måned og generelt gjennomsnitt for perioden 1992-94 fås som forholdstallet mellom midlere vannføringer ved måletilfellene og en sum av gjennomsnittsvannføringer over de stasjoner hvor det er data. Midlere samlet vannføring pr. måned anslås som relativ vannføring multiplisert med total midlere vannføring ifølge PARCOM-rapporten, og transporten av N og P (ortofosfat) beregnes som gjennomsnittskonsentrasjon multiplisert med samlet vannføring.



**Figur 2.** Beregnede månedsmidler for total vannføring og konsentrasjon av nitrogen og ortofosfat i engelske elver basert på data for 1991-93. (Data fra *National River Authority*)

For stasjon  $s$  ( $s=1, \dots, S$ ), måned  $m$  og måling nr.  $n$  betegnes målt konsentrasjon  $C_{s,m,n}$  og vannføringer  $q_{s,m,n}$ . Antall data fra måned  $m$ , sett samlet over alle tre år, betegnes  $N_{s,m}$ , og antall måletilfelle med godkjente konsentrasjonsverdier betegnes  $N_{s,m}^* \leq N_{s,m}$ . Vannføringsvektet middelkonsentrasjon over alle elver kan da beregnes som

$$\bar{C}_m = \left( \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^{N_{s,m}^*} C_{s,m,n} q_{s,m,n} \right) / \left( \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^{N_{s,m}^*} q_{s,m,n} \right) \quad (1)$$

og samlet midlere vannføring for en måned, summert over alle elvene, beregnes ved

$$Q_m = Q \cdot \left( \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^{N_{s,m}} q_{s,m,n} \right) / \left( \sum_{s=1}^S N_{s,m} \bar{q}_s \right) \quad (2)$$

hvor  $Q$  er totalvannføring som middel gjennom året hentet fra tabell 1,  $\bar{q}_s$  er gjennomsnitt av alle observerte vannføringer i en elv (dvs. en stasjon). Hensikten er å få et best mulig bilde av hvordan samlet vannføring varierer over året. I dette estimatet er det derfor lagt vekt på de forskjellige elvene etter hvor mye transport som er målt, dvs. størrelse-målehyppighet og ikke etter gjennomsnittlig vannføring, som ville vært naturlig for et mer regelmessig og balansert måleprogram. Ved den valgte vektleggingen oppnår vi dels å legge mest vekt på de store elvene, som influerer mest inn på samlet vannføring, men kombinerer det med mer vekt på de vassdragene gir best bilde av relativ variasjon gjennom året (for at dette skal fungere rimelig bra forutsettes at observasjonene er noenlunde jevnt fordelt over året, uansett observasjonsfrekvens).

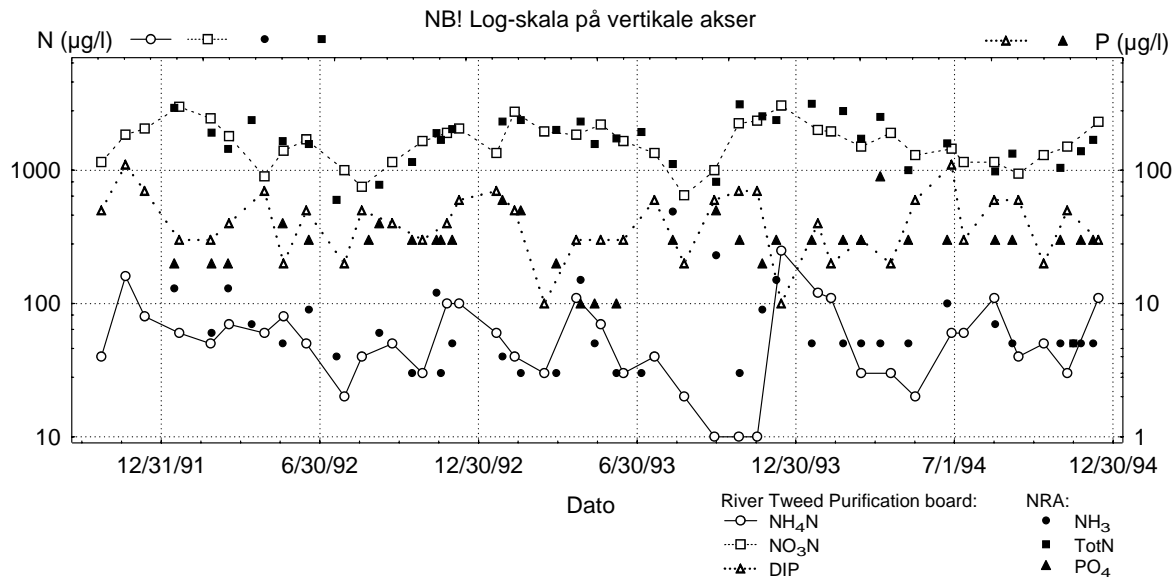
Figur 2 viser beregnede månedsmidler for total vannføring og volumfluksvektede konsentrasjoner av nitrogen og ortofosfat. Konsentrasjoner oppgitt som <grenseverdi er satt til 0 ved beregning av gjennomsnittet, slik at tallene tenderer mot å vise en nedre grense for forventet middel. Som figuren viser, er både vannføring og konsentrasjoner høyest i desember og januar, mens det er lavest verdier i mai til august. For fosfor er bare ortofosfat oppgitt, og lave verdier om sommeren behøver ikke å bety at totalfosfor er lavere. Relative tall for vannføring kan kombineres med beregnet midlere N-konsentrasjon og gir da variasjon i månedstransporten av nitrogen gjennom året. En slik beregning med de tall som er vist i figuren viser at nitrogentransporten pr. måned kan variere fra 3-4 ganger middelverdien i desember-januar, ned til rundt 10 % av årsmiddelet om sommeren. Ca. 80 % av årstilførslene av nitrogen kommer i månedene desember - april ifølge disse tallene. Vannføringsmidlet vinterkonsentrasjoner av N og PO<sub>4</sub>P anslås til hhv. 13000 og 600 µg/l, mens vannføringsvektet årsgjennomsnitt av konsentrasjoner kan estimeres til hhv. 7700 og 500 µg/l.

Data fra *Tweed River Purification Board* gjelder bare elva Tweed, som også er omfattet av de engelske data, men de skotske data er mer omfattende, idet de dekker 1986-1993 og har høyere målefrekvens. En sammenligning (figur 3) viser at det i grove trekk er overensstemmelse mellom de to datasettene. Noen store avvik synes å bekrefte at det forekommer en del feil i det engelske datamaterialet som nevnt ovenfor, og tyder dessuten på at de engelske data er nokså sterkt avrundet, idet data har en tendens til å fordele seg på noen få diskrete verdier. Konsentrasjon av uorganisk nitrogen varierer ifølge de skotske data fra ca. 2.5 mg N/l om vinteren ned mot ca 1.0 mg N/l på sensommeren.

Data fra *Forth River Purification Board* gir midlere variasjon gjennom året basert på data for 10-15 år. Den største elva, *Forth River*, har totalnitrogenverdier som varierer fra 1.7 mg N/l i november, desember og januar, og lavest om sensommer og høst (juli - oktober) med verdier rundt 1.0 mg N/l. Omtrent 2/3 av dette er Kjeldahl-nitrogen. Fosforkonsentrasjonene er jevnere gjennom året, ca. 60-70 µg/l om vinteren og 40-50 om sommeren. Midlere vannføring varierer fra rundt 90 m<sup>3</sup>/s i desember og januar ned mot 15-20 m<sup>3</sup>/s om sommeren (mai- juli).

Data fra *North East River Purification Board* i området rundt Aberdeen viser sterkt varierende konsentrasjoner mellom ulike elver. Det finnes noen små vassdrag (i sum 1.5-2 m<sup>3</sup>/s) med svært høye konsentrasjoner av nitrogen, i hovedsak som ammonium (15-30 mg/l) og fosfor (3-15 mg P/l), hvorav ca. 10% ortofosfat. For noen litt større elver varierer nitrogen-konsentrasjonene typisk i området 3-10 mg/l, med det aller meste som NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>, mens fosforkonsentrasjonene typisk ligger mellom 30 og 150 µg/l. Den største elva, River Spey, har lave konsentrasjoner, ca. 200-600 µgN/l, og 15-20 µgP, mens River Dee typisk har 500-1500 µg N/l og 10-30 µgP/l. Vannføringen varierer gjennom året med flommåneder nokså jevnt fordelt fra oktober til april-mai, forskjellig fra år til år.





**Figur 3.** Sammenligning av data for elva *Tweed* fra *Forth River Purification Board* og *National River Authority*, 1991-1994.

Fra *Highland River Purification Board* i den nordligste delen av Skottland er det gitt data fra 11 målepunkter, med vannføring varierende fra 4 til ca. 100 m<sup>3</sup>/s. Det meste av samlet vannføring på 260 m<sup>3</sup>/s (1993) er konsentrert i to store elver, River Ness med vannføring 96 m<sup>3</sup>/s og River Conon med 63 m<sup>3</sup>/s. Årstidsvariasjonen er i hovedsak preget av høye vannføringer om vinteren (desember-mars) og lave vannføringer om sommeren. Næringsstoffkonsentrasjonene er typisk nokså lave. River Ness har i gjennomsnitt ca. 9 µg/l PO<sub>4</sub> og 300 µgN/l, fordelt omtrent likt på nitrat og Kjeldahl-nitrogen, og River Conon ennå lavere, ca. 6 µg P/l PO<sub>4</sub>, 85 µg N/l nitrat og 200 µg N/l Kjeldahl-nitrogen. Noen mindre elver har høyere konsentrasjoner, med ortofosfat omkring 40 µgP/l og nitrogen-verdier opp mot 1000 µg N/l.

Opprinnelig var de britiske tilførslene representert i DNMI's modell ved 5 lokaliserte ferskvannskilder: Forth (ved Edinburgh), Tyne, Tees, Humber og Thames. Det tilsvarer 5 av i alt 23 ICES-soner som den britiske kysten mot Nordsjøen og Kanalen er delt opp i. Tilførsel via disse 5 ICES-områdene omfatter ca. 30-40 % av de totale britiske tilførslene til Nordsjøen og Kanalen, enten vi ser på vannføring, nitrogen eller fosfor. Flere elver er tatt med nå, og vannføringen er skalert slik at de skal representere omtrent samlet vannføring fra Storbritannia ifølge PARCOM's rapport (Hackett et al. 1995).

Som det fremgår av tabell 1 slippes det totalt ut ca. 230 kt N og 20 kt P fra de britiske øyer mot Nordsjøen og Kanalen. Områdene vest for de britiske øyer og rundt Irland er også inkludert i modellområdet. For 1992 utgjør de irske tilførslene i alt 110 kt N og 5.8 kt P, og de britiske tilførslene til dette området ca. 136 kt N og 13 kt P, altså i alt 245 kt N og 19 kt P (OSPARCOM 1994). Det er omtrent like mye som det som slippes ut til Nordsjøen og kanalen. Hvor stor virkning disse utslippene har på Nordsjøen, må eventuelt vurderes nærmere.

Som det fremgår ovenfor, har de britiske ferskvannskildene sterkt varierende konsentrasjoner av N og P. For britiske tilførsler til Nordsjøen som helhet gir tallene i PARCOM-rapporten en vannføringsvektet gjennomsnittlig N-konsentrasjon i de elver hvor det er målt på 4500 µg/l (tabell 1). Ut fra de data vi har referert for de britiske elver, kan det anslås at vinterkonsentrasjonene ligger 70 % over dette, dvs. rundt 7500 µg/l. Direkte utslipp fra kloakk og industri utenom målte elver kan anslås å høyne middelkonsentrasjon med ca. 1200 µgN/l (tabell ), dvs. at vi totalt kan anslå midlere

konsentrasjonen i ferskvann fra Storbritannia til å være 8500 - 9000  $\mu\text{gN/l}$  om vinteren (desember - januar).

## 6.2 Belgia og Nederland

Ifølge PARCOM (1995) står elva Scheldt for det vesentligste (90 %) av tilførslene fra Belgia. Scheldt har utløp gjennom Nederland, og tall er rapportert både fra Belgia (PARCOM 1994) og Nederland (data fra RIZA).

De viktigste utløpene til Nordsjøen via Nederland er ellers elva Maas (Meuse), som også i stor grad stammer fra Belgia, og Rhinen, som renner ut fordelt på flere utløp; ett av dem er et felles utløp med Maas. En oversikt over de viktigste utløpene fra Nederland er gitt i tabell 2.

**Tabell 2.** De viktigste ferskvannstilførsler til Nordsjøen via Nederland.

Elv	Målested	Vannføring i 1992 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Maas (Meuse)+Rhinen	Maassluis (Neuwe waterweg)	1400
Rhinen	Haringvlietsluis	490
	IJMuiden (Nordzeekanal)	91
	Ijsselmeer (Wrouvesand)	460
Scheldt	Schaar van den Doel (Scheldt)	106

I tillegg til årstransportene, som er rapportert via PARCOM, har vi som sagt fått data for variasjonen gjennom året i disse tilførselspunktene direkte fra RIZA for perioden 1990-1994, og dessuten data for perioden 1980-90 fra Beatriz Balino ved Institutt for fiskeri- og marinbiologi ved Universitetet i Bergen.

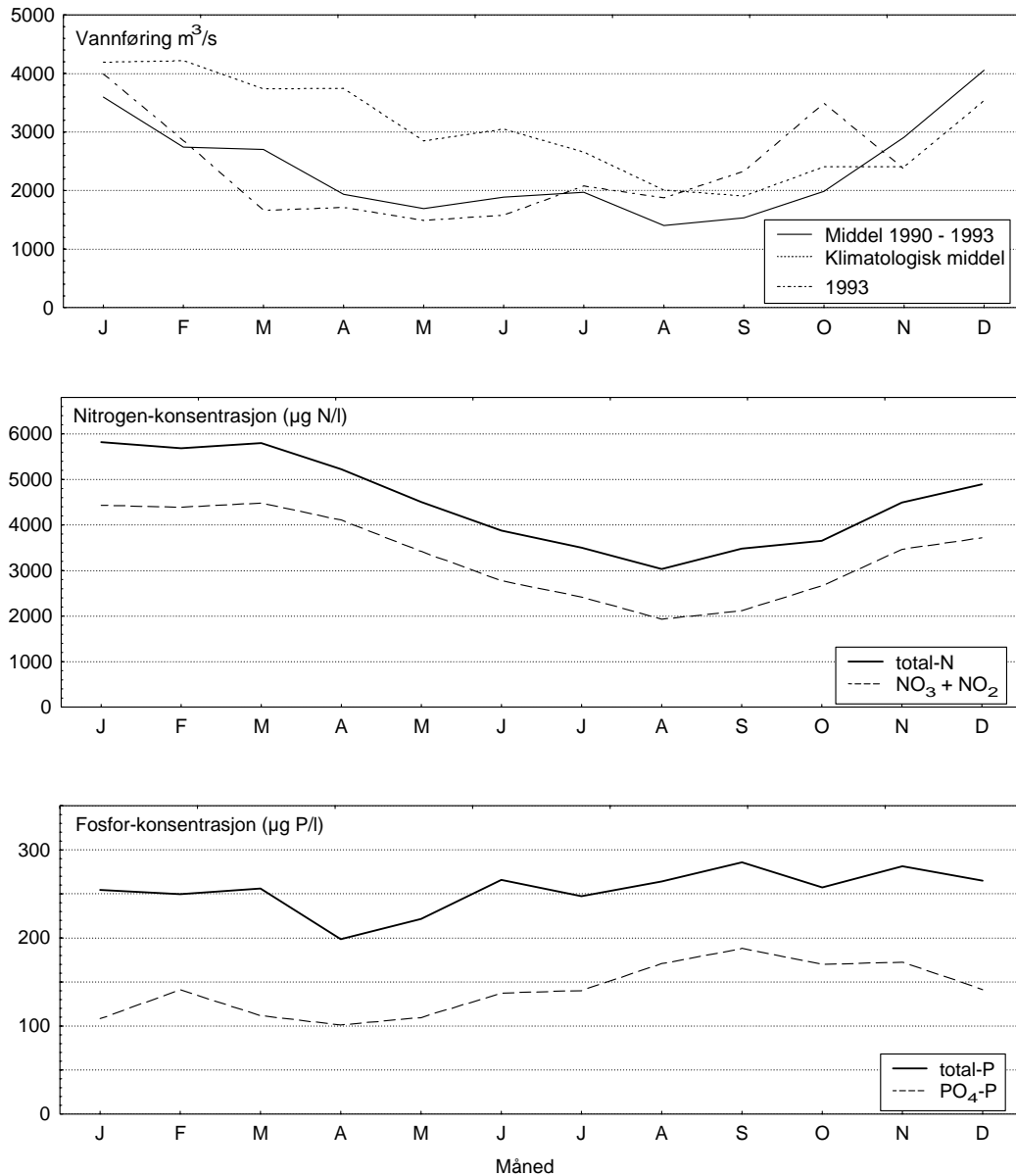
Vi har fått både tabeller over månedsmidler og enkeltdata for næringsstoff-konsentrasjoner, som er målt 1-3 ganger pr. måned, og dessuten filer med daglige vannføringsdata for de fire årene 1990-93. I de nederlandske data er det ingen klare sammenhenger mellom vannføring og konsentrasjon. Det synes å fremgå av tilsendte data at månedsmidler for konsentrasjon i hvert målepunkt beregnes av RIZA som enkel middelverdi av observasjonene innenfor en måned, uten vektning med vannføring, og også uten interpolering i tid. Tilførslene som  $\text{kg/s}$  beregnes ved å multiplisere total vannføring basert på daglige observasjoner med de enkle månedsmidlene for konsentrasjoner. Det er valgt å bruke RIZAs beregningsmåte fremfor å prøve ut alternativer.

### Rhinen og Maas

Figur 4 viser månedsmidler for total vannføring og vannføringsvektet konsentrasjon av aktuelle nitrogen- og fosfor-komponenter i den samlede avrenningen fra Rhinen+Maas. Figuren er basert på data for 1990-93, hvor vi har daglige vannføringsdata. Vannføringen er beregnet som middel av daglige vannføringer. Midlere konsentrasjon i Rhinen+Maas for hver måned er beregnet ved

$$\bar{C}_m = \frac{\sum_i C_{i,m} Q_{i,m}}{\sum_i Q_{i,m}} \quad (3)$$

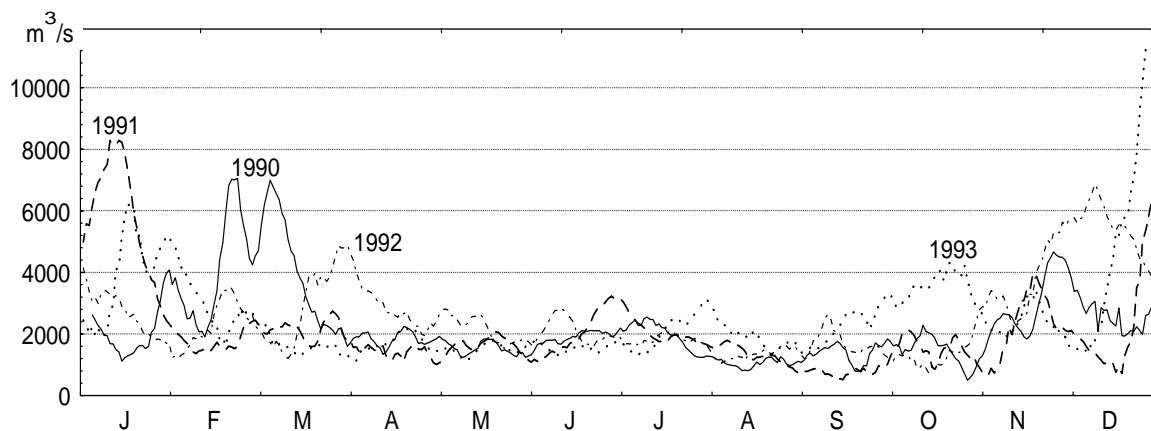
hvor  $i$  angir utløp nr.,  $m$  er månedsnummer.  $Q_{i,m}$  er vannføring for gitt utløp og måned, og  $C_{i,m}$  er konsentrasjoner, begge deler oppfattet som månedsmidler. For vannføringen er forløpet i 1993 og klimatologisk middel brukt i modellkjøringene også vist i figur 4.



**Figur 4.** Månedsmidler for total vannføring og vannføringsvektet konsentrasjon av N- og P-komponenter i samlet avrenningen fra Rhinen+Maas 1990-93, vist sammen med vannføring for 1993 og klimatologiske midler.

På samme måte som for de engelske elver er både vannføring og konsentrasjon størst om vinteren. Vannføringen er ca. 2000 m<sup>3</sup>/s som årsmiddel. Vannføringskurvene antyder at det kan være betydelig variasjon fra år til år, og at det klimatologiske midlet er høyere enn i perioden 1990-94, spesielt for første del av kalenderåret. Figur 5 viser 7-dagers glidende middel av vannføringen for hvert av årene

1990-1994. Det sees at flommene i vinterhalvåret kan variere sterkt både i omfang og mht. tidspunkt på året.



**Figur 5.** Glidende ukemidler av samlet vannføring i Rhinen og Maas for hvert av årene 1990-1993.

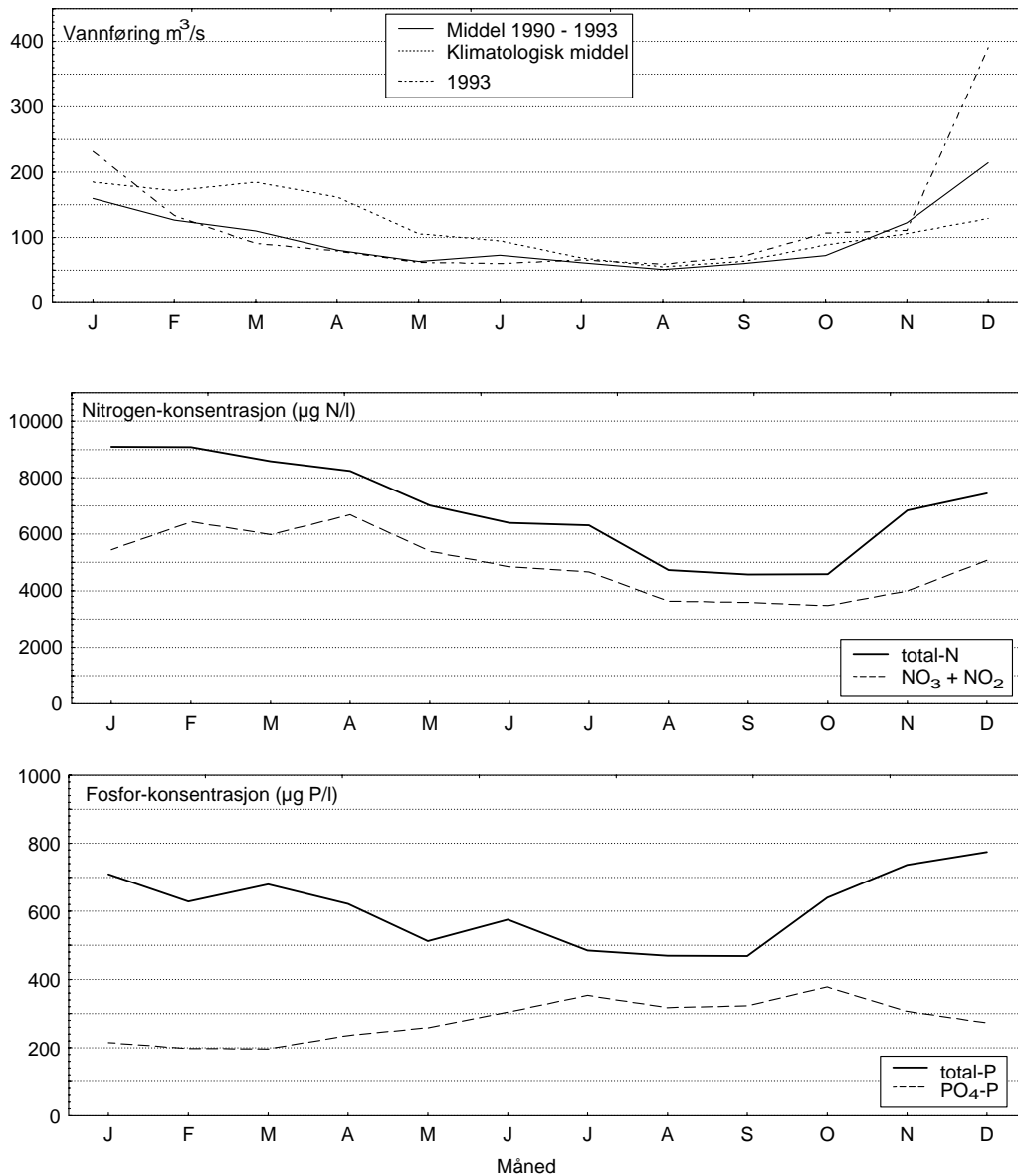
Det kan anslås at ca. 30-35 % av årstilførslene av nitrogen kommer i perioden desember - februar. Totalkonsentrasjoner er da opp mot 6000  $\mu\text{N/l}$ , men synker til 3000-4000  $\mu\text{g N/l}$  om sommeren, med et vannføringsvektet årsmiddel på 4700  $\mu\text{gN/l}$ . Av dette nitrogenet er ca. 75 % som nitrat+nitritt på årsbasis.

Fosforkonsentrasjonene er mer konstante gjennom året, med månedsmidler mellom 200 og 280  $\mu\text{g P/l}$ , og det er en økende andel fosfat fra 40 % til 60 % gjennom året. Variasjonen i vannføring gjør at tilførslene er størst om vinteren også for fosfor.

Vi har ikke hatt tilgang til sammenlignbare tall for N- og P-konsentrasjon i tidligere tider, men kan slutte noe om tidsutviklingen ut fra opplysninger i van Bennekom og Wetsteijn (1990). Ifølge dem økte konsentrasjonene av ortofosfat i Rhinen kraftig fra 1950 til rundt 1970, og varierte rundt 300  $\mu\text{gP/l}$  (ca. 10  $\mu\text{M}$ ) frem til ca. 1985, uten tegn til nedgang. Derimot minsket partikulært P fra 600 til 150  $\mu\text{g P/l}$  (hhv. 20 og 5  $\mu\text{M}$ ) i den perioden, slik at total-fosfor ligger rundt 450  $\mu\text{g/l}$ . For perioden 1990-93 er ortofosfatkonsentrasjonen i middel for Rhin-utløpene ca. 140  $\mu\text{g P/l}$ , slik at det i de siste 10-15 år altså har skjedd en videre nedgang til totalkonsentrasjon rundt 300  $\mu\text{g P/l}$ . Det bekreftes også av dataseriene for de enkelte målepunktene.

Ifølge figur i Bennekom og Wetsteijn (1990) økte konsentrasjonene av ulike nitrogen-komponenter i Rhinen kraftig fra 1950 til 1970, og rundt 1970 var det ca. 2700  $\mu\text{g /l}$  av N som nitrat (190  $\mu\text{M}$ ), rundt 2100  $\mu\text{g/l}$  som ammonium (150  $\mu\text{M}$ ), og dessuten ca. 1700  $\mu\text{g/l}$  partikulært N (120  $\mu\text{M}$ ), altså i alt ca. 6500  $\mu\text{gN/l}$  (460  $\mu\text{M}$ ). Fra ca. 1970 til 1975 økte nitratkonsentrasjonene videre til noe opp mot 4200  $\mu\text{gN/l}$  (300  $\mu\text{M}$ ), og var i overkant av dette midt på 80-tallet. Parallelt med dette sank imidlertid konsentrasjonene av ammonium og partikulært N til hhv. ca. 700 og 1120  $\mu\text{g/l}$  (50 og 80  $\mu\text{M}$ ), dvs. at totalkonsentrasjonen av nitrogen var som rundt 1970, eller litt lavere. Bennekom og Wetsteijn tilskriver denne endringen økt utbygging av sekundærrensing av kloakk, som gir nitrifisering av ammonium. I dag er gjennomsnittskonsentrasjonene av totalnitrogen i Rhinen+Maas altså i underkant av 5000  $\mu\text{g N/l}$ , hvorav ca. 4000  $\mu\text{g N/l}$  som nitrat. Hvis dette er noenlunde sammenlignbart, ser det derfor ikke ut til å ha skjedd noen økning siden 1975 i hverken nitrogen totalt eller nitrat. Dataseriene for konsentrasjon i de enkelte utløp for perioden 1980-1993 viser en ganske stabil situasjon, kanskje en viss nedgang for totalnitrogen, og iallfall ingen økning i konsentrasjoner.

Scheldt har N- og P-konsentrasjoner på omtrent det dobbelte av Rhinen/Maas, ca. 9000  $\mu\text{g N/l}$  og 700  $\mu\text{g P/l}$  om vinteren, og på årsbasis ca. 7000 og 600. Gjennomsnittlig vannføring er imidlertid på bare rundt 100  $\text{m}^3/\text{s}$ , dvs. , så denne elva betyr likevel forholdsvis lite i det totale bilde. Figur 6 viser månedsmidler for total vannføring og vannføringsvektet konsentrasjon av aktuelle nitrogen- og fosfor-komponenter for denne elva.



**Figur 6.** Månedsmidler for total vannføring og vannføringsvektet konsentrasjon av N- og P-komponenter i avrenning fra Scheldt.

Vi har ikke hatt tilgang til nyere silikat-data for disse elvene, men i perioden 1967-78 hadde Rhinen silikatkonsentrasjoner som typisk varierte fra 110 til 150  $\mu\text{M}$  om vinteren, og var rundt 70  $\mu\text{M}$  om sommeren. Scheldt hadde mellom 200 og 250  $\mu\text{M}$  i første halvdel av året, og mellom 250 og 320  $\mu\text{M}$  i siste halvdel av året (Bennekom og Wetsteijn 1990). Dersom disse tallene gjelder fortsatt, vil det

uorganiske N:Si-forholdet om vinteren være ca. 2.5-3.0 (atom:atom). I norske elver er silikat-konsentrasjonen til sammenligning ca 1.5 - 3.5 mg SiO<sub>2</sub>/l, dvs. 25-60 µM, med høyest verdier i vinterhalvåret, og N:Si-forholdet er ca. 1 (atom:atom).<sup>1</sup>

### 6.3 Tyskland

De viktigste elvene direkte fra Tyskland til Nordsjøen er Elbe (500-600 m<sup>3</sup>/s), Weser (ca. 300 m<sup>3</sup>/s), og Ems (ca.50 m<sup>3</sup>/s). For disse elvene har vi følgende data:

1. Datafiler for Elbe 1990-93, med daglige vannføringsdata og ukentlige kjemidata, samt en fil hvor månedsverdier er beregnet.
2. Datatabeller for Ems og Weser, samt to mindre elver, Eider og Treene (ca. 10 m<sup>3</sup>/s) for perioden 1990-1993. For Weser er det også sendt med tabeller med daglige vannføringsdata.
3. Månedsmidler for vannføring og konsentrasjoner for Weser i 1993 (Steffen Uhlig, Freie Universität Berlin, pers. medd.)
4. Data for perioden 1980-1990, innhentet av Balino (1993) med ca. ukentlige verdier for kjemi og vannføring for Elbe og Weser.

I tillegg er det mottatt datatabeller for to mindre elver, Eider og Treene (ca. 10 m<sup>3</sup>/s), men de er ikke behandlet her.

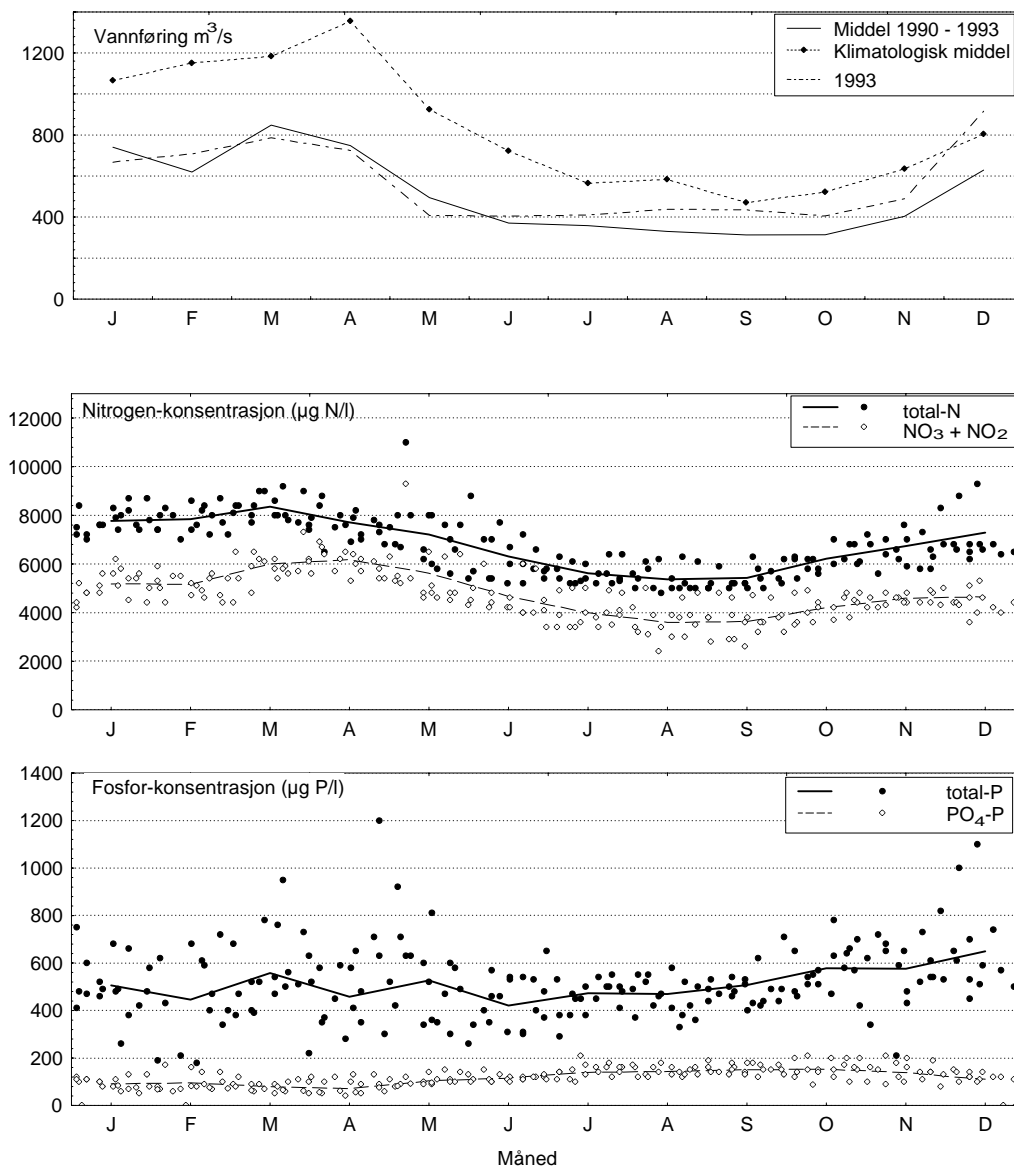
Data nevnt under punkt 1 og 2 er stilt til rådighet av *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit* i Bonn og *Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe* i Hamburg. De ulike delene av datamaterialet har ulike form, og plasseringen av målestasjoner har variert litt gjennom perioden.

For å se på variasjonen gjennom året er det bare sett på Elbe og Weser. Figur 7 viser månedsmidler for vannføring, nitrogen- og fosforkonsentrasjoner gjennom året for Elbe, regnet om til total vannføring ut fra opplysninger som fulgte med datamaterialet. Figuren viser også klimatologisk middelkurve for vannføring som ble brukt under modellkjøringene til DNMI, samt forløpet i 1993. Sammen med konsentrasjonskurvene er enkeltverdier plottet inn for å gi et inntrykk av variasjonen rundt middelforløpet.

---

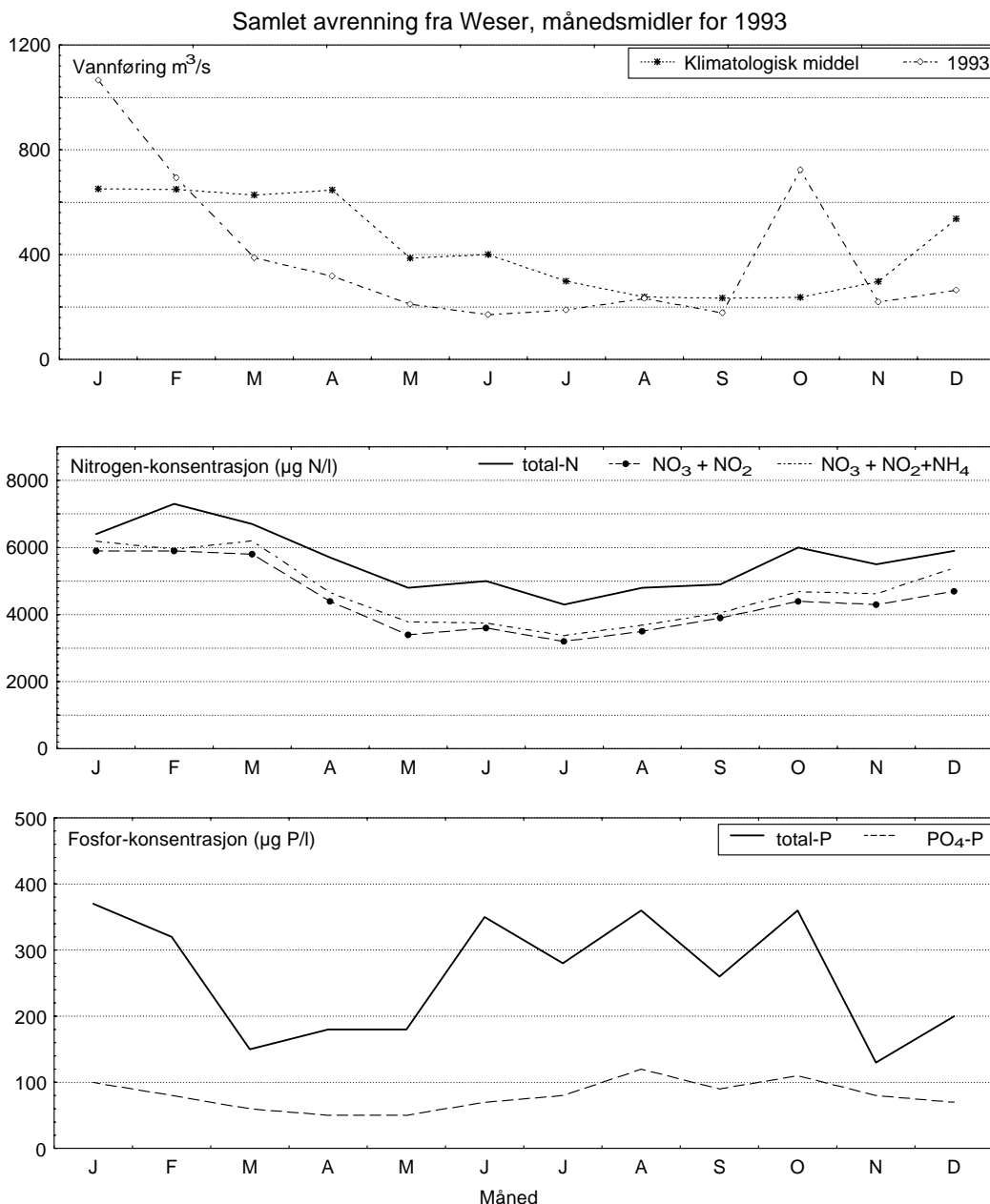
<sup>1</sup> I ferskvann oppgis silikat-konsentrasjoner på vektbasis vanligvis som mg SiO<sub>2</sub>/l, hvor vekten regnes på oppgitt molekylform. Molekylvekten av SiO<sub>2</sub> er (28.09+2·16=) 60.09, og det blir omregningsfaktoren fra µM til mg SiO<sub>2</sub>/l.

---



**Figur 7.** Månedsmidler for vannføring, nitrogen- og fosforkonsentrasjoner gjennom året for den tyske elva *Elbe* på basis av data for 1990-93. Enkeltobservasjoner for nærings salt-konsentrasjoner er også tegnet inn.

Figur 8 viser tilsvarende kurver for Weser, her bare for året 1993. Forløpet er omtrent det samme som for Elbe. Begge figurene viser det samme mønsteret som for Rhinen, men med noe høyere nitrogen-konsentrasjoner, ca. 8000  $\mu\text{g N/l}$  om vinteren, og 5000 om sommeren. Som for Rhinen er omtrent 3/4 av nitrogenkonsentrasjonen som nitrat+nitritt. Totalfosfor-konsentrasjonene er høyere enn i Rhinen, men ortofosfat ligger på omtrent samme nivå, dvs. i området 100-150  $\mu\text{g P/l}$ .



**Figur 8.** Månedsmidler for vannføring, nitrogen- og fosforkonsentrasjoner året for 1993 i den tyske elva Weser.

Hickel et al. (1993) har analysert data fra Tyskebukta, som i hovedsak er lokalt influert av Elben. Fosfatkonsentrasjonene har vinterverdier som har økt fra ca. 30 µg P/l (ca. 1 µM) i perioden 1962-70 til en topp rundt 45 µg P/l (1.5 µM) rundt 1980, og deretter en reduksjon til det laveste nivået igjen. Nitratverdiene har økt sterkere, og lå i slutten av 1980-årene vanligvis rundt 560-700 µg N/l (40-50 µM) om vinteren. Hickel et al. (1993) ser tegn til at eutrofiutviklingen i vannmasser med salinitet  $\geq 33$  psu har et forsinket mønster i forhold til mer ferskvannspåvirket vann, med en forsinkelse på 3-10 år. De ser det i sammenheng med binding og resirkulering av næringssalter via partikler og sediment. Det kan tyde på at en heller ikke nødvendigvis bør vente noen direkte sammenheng mellom elvetilførslene og virkningen i Nordsjøen når det gjelder variasjonene gjennom året. Ifølge opp-



lysninger fra *Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe* vil partikulært N og P bli holdt tilbake om sommeren i elveestuariet om sommeren og bare fraktes ut i Tyskebukta ved høy vannføring om våren.

## 6.4 Danmark

For Danmark har vi fra Miljø- og energiministeriet i Danmark, ved Søren E. Larsen fått data for to større elver, Gudenå mot Kattegat ved Randers og Skjern Å mot Nordsjøen sør for Ringkøbing. Utenom det har vi samletall for årstransporter i 1992 (OSPARCOM 1994), samt en oversikt over danske tilførsler i 1993 (Miljøstyrelsen i Danmark, 1994). Månedsvariasjon for en mindre elv (Gjern) på østsiden av Jylland i 1992 er vist i Ekholm m. fl. (1995). Data for elvene er gitt i tabell 3.

**Tabell 3.** Data om nedbørfelt og vannføring for tre danske elver, Gudenå, Skjern Å og Gjern.

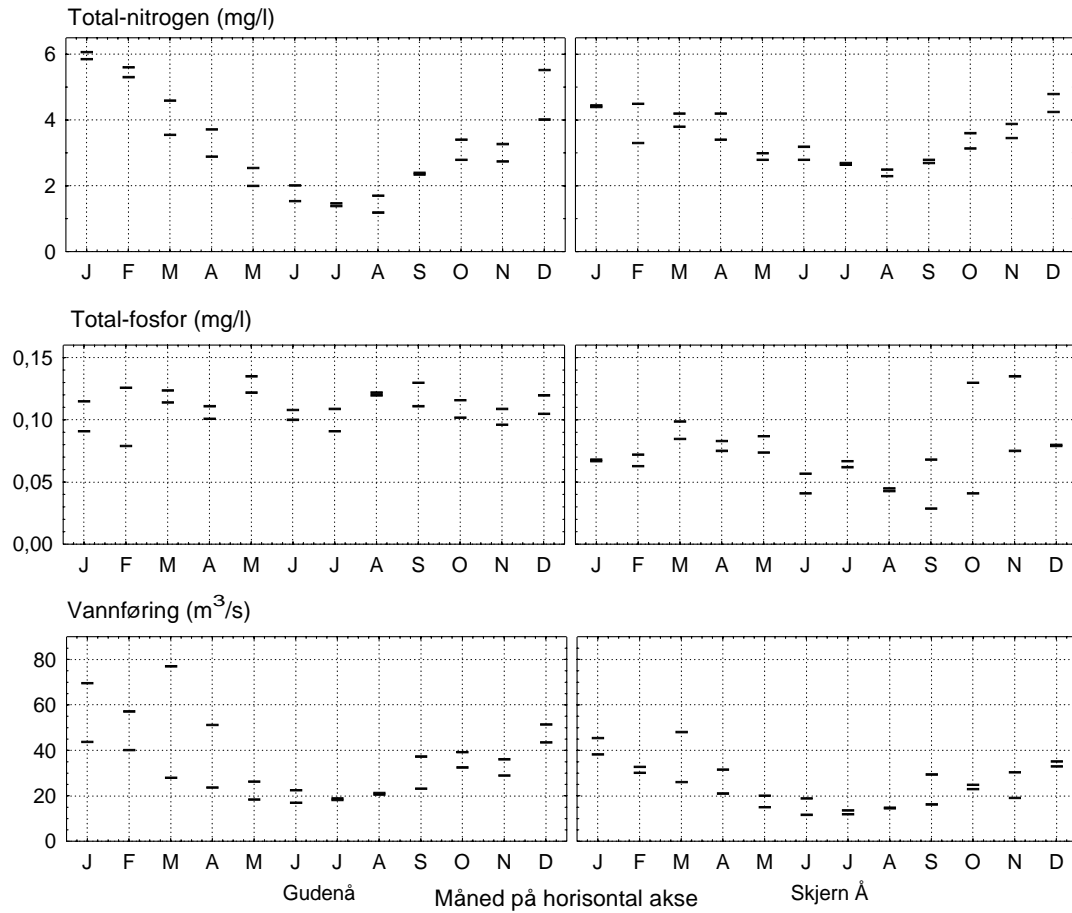
Elv	Nedbørfelt (km <sup>2</sup> )	Data for år:	Middelvannføring (m <sup>3</sup> /s)	Minste måneds-middel (m <sup>3</sup> /s)	Største måneds-middel (m <sup>3</sup> /s)	Variasjons-koeff.
Gudenå:	2602	1993-1994	35.3	16.9	77.2	0.47
Skjern Å	1558	1993-1994	25.3	11.7	48.3	0.41
Gjern	110	1988	1.27	ca. 0.7	ca. 2.6	0.50

De tre elvene har et forholdsvis likt mønster for vannføring gjennom året, med mer eller mindre markerte flomtopper om høst og vinteren (oktober-april), og forholdsvis lave verdier om sommeren. Forløpet for Gudenå og Skjern Å er vist i figur 9, med både verdier for 1993 og 1994 markert.

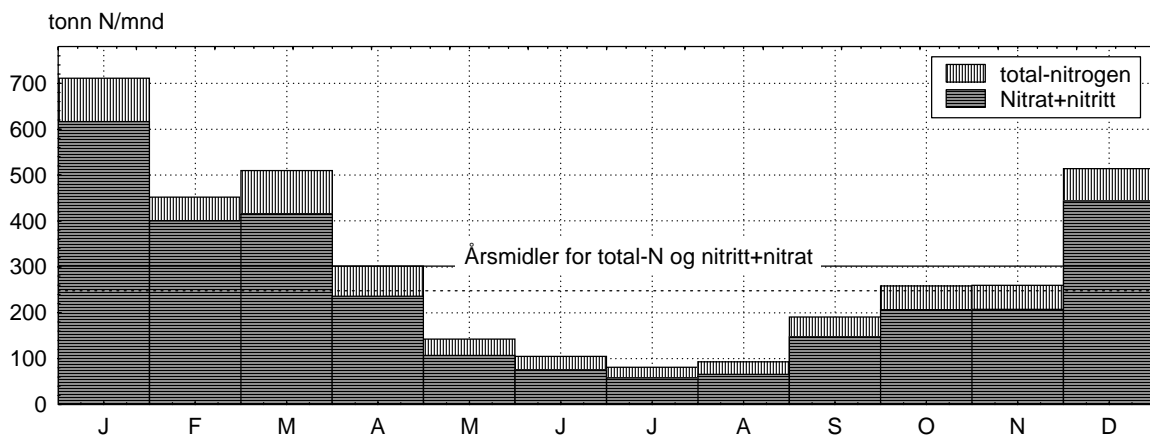
Konsentrasjonen av totalnitrogen er grovt sett proporsjonal med vannføringen, og har middelveier i området rundt 3 - 5 mg N/l i begge elvene. Det betyr at nitrogentransporten er ca. 10 ganger større i vintermånedene enn om sommeren. Samlet månedstransport av N i de to elvene er vist i Figur 10.

I vintermånedene er transporten av nitrogen pr. mnd 1.5-2 ganger høyere enn gjennomsnittet over året. Ca. 85 % av nitrogenutslippet er som nitrat+nitritt, og 2-3 % ammonium, det gjelder både sommer og vinter. Nitratandelen stemmer med det som oppgis totalt for utslippet fra Danmark til Kattegat og Skagerrak, se tabell 1. Hvis disse tallene er representative, kan vi anslå nitrogen-konsentrasjonene i ferskvannspåvirkningen fra Danmark om vinteren (inkludert både elvevann og kloakkutslipp direkte til kystsonen) ved å multiplisere årsgjennomsnittet i tabell 1 for totalt utslipp til regionen fra Danmark med en faktor 1.5, dvs. ca. 10 mg N/l, hvorav 8-9 mg N/l som nitrat.

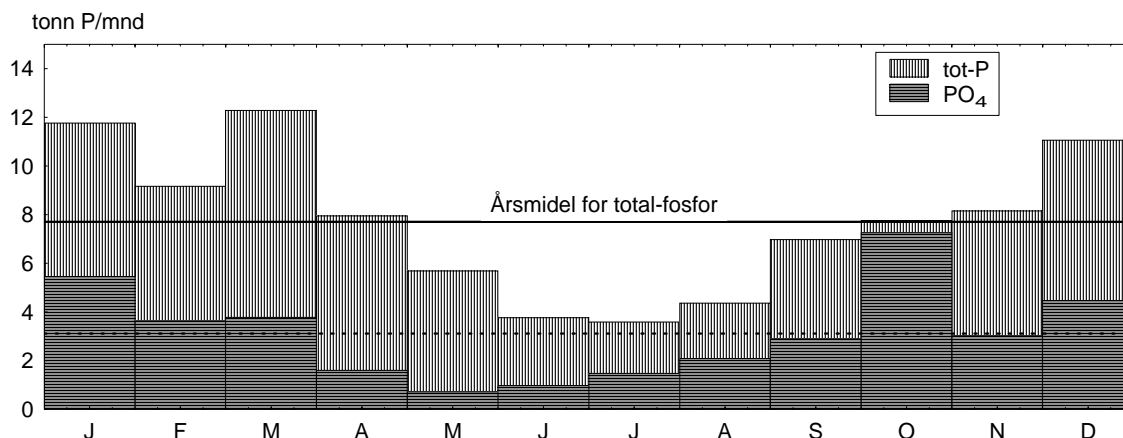
Totalfosfor har nokså forskjellig variasjonsmønster i ulike elver. Konsentrasjonen kan delvis være omtrent konstant gjennom året (Gudenå, 100-120 µg/l), ha en viss variasjon som bare delvis er proporsjonal med vannføring (Skjern Å, 30-130 µg/l), men kan også variere motsatt av vannføringen, slik at transporten pr. måned er noenlunde konstant gjennom året (Gjern, <100 til ca. 400 µg/l). For de to store elvene har fosfor noe jevnere utslipp over året, selv om vannføringsmønsteret gjør at det også her er størst transporter i vintermånedene, anslagsvis 20-30 % over årsgjennomsnittet, se figur 11. Vanlig andel fosfat er 30-40 % både sommer og vinter, selv om det tidlig på sommeren forekommer en del lavere verdier, antagelig p.g.a. at fosfatet forbrukes i algevekst i vassdragene. Fosfor-konsentrasjonene i ferskvannspåvirkningen fra Danmark om vinteren vil være 150-300 µg P/l totalt, hvorav ca. halvparten kan antas å være løst fosfat. I hvilken grad det resterende, antagelig mest partikkelbundet fosfor, er biotilgjengelig, og på hvilken tidsskala, er et åpent spørsmål.



**Figur 9.** Månedsverdier for næringsstoff-konsentrasjoner og vannføring i Gudenå og Skjern Å, 1993-94.



**Figur 10.** Månedstransport av nitrogen (tonn) i to Gudenå og Skjern Å, gj.snitt for 1993 og 1994.



Figur 11. Månedstransport av fosfor (tonn) i Gudenå og Skjern Å, gj.snitt for 1993 og 1994.

## 6.5 Sverige

Fra Sveriges lantbruksuniversitet (Bert Karlsson) har vi fått data for 1993 og 1994 for elvene på den svenske vestkysten. De viktigste av dem finnes i modellen som separate kilder. Vannføringen i hver av de elvene som ikke er med i modellen er addert til den nærmeste beliggende "modell-elven" som vist i tabellen. Vannføringstallene som er brukt i ECOM-3D i 1993-simuleringen er gitt i tabell 4.

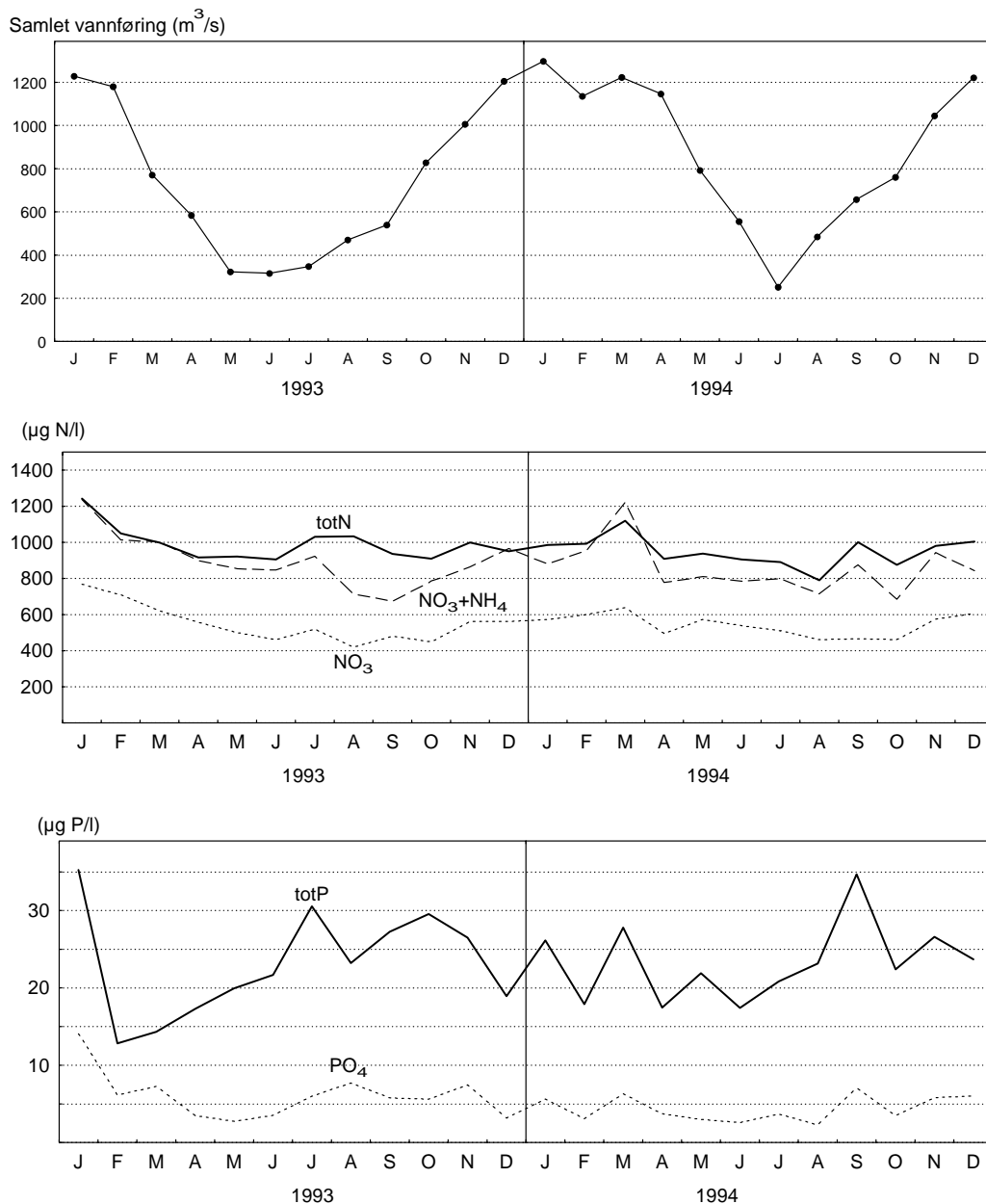
Tabell 4. Vannføringstallene som er brukt i ECOM-3D i 1993-simuleringen for svenske vestkyst-elver.

Basert på opplysninger fra Sveriges lantbruksuniversitet (Bert Karlsson).

Modell-elv:	Andre elver inkludert (m <sup>3</sup> /s)	Vannføringer (m <sup>3</sup> /s), månedsmidler og års-gj.snitt 1993. Gjennomsnittsverdi er gitt i parentes for de inkluderte småelvene.												
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Samlet snitt
<b>Lagan</b>	Rönneån(12.2), Stensån (5.1)	145	148	126	81	26	23	38	73	96	105	86	125	89
<b>Nissan</b>	Fylleån (7.5), Genvadsån (3.6)	106	67	51	29	13	11	34	63	33	47	40	93	49
<b>Ätran</b>		102	71	52	40	18	13	27	42	33	39	40	64	45
<b>Viskan</b>		89	52	43	15	7	4	20	42	18	29	29	64	34
<b>Göta älv</b>	Bäveån(2.7), Ørkilsälv (17), Enningdalsälv(7.8)	786	843	500	418	258	266	229	251	360	608	810	859	515

Når det gjelder nitrogen og fosforkonsentrasjonene er det også her, som i de danske elvene, nokså ulike mønstre for variasjon gjennom året. Lagan, Nissan, Göta älv, Bäveån, Ørkilsälv og Enningdalsälv har alle nokså konstante nitrogenkonsentrasjoner omkring 1 mg/l. Som det fremgår av tabellen ovenfor, omfatter det alle de største elvene. Fylleån, Ätran og Viskan har noe mer varierende verdier i

overkant av 1 mg N/l, og Rönneån, Stensån og Genevadsån verdier rundt 2-3 mg/l. Også når det gjelder fosfor har noen elver jevnt lave verdier rundt 30  $\mu\text{g P/l}$  eller mindre, mens det i andre elver forekommer vesentlig høyere verdier enkelte måneder, med ulikt forløp fra elv til elv. I denne sammenheng er vi mest interessert i det totale bildet.



**Figur 12.** Månedsverdier for samlet vannføring og vannføringsvektet midlere N- og P-konsentrasjoner i svenske vestkyst-elver 1993 og 1994.

Figur 12 viser månedsforløpet gjennom 1993 og 1994 for samlet avrenning fra alle de svenske vestkyst-elvene som vannvolum, og som tonn/måned av nitrogen, totalt og som nitrat og sum oppløst uorganisk og av fosfor totalt og som ortofosfat. Det fremgår av figuren at nitrogenutslippet i det alt vesentlige finnes som uorganisk nitrogen. Nitrogen-konsentrasjonene ser ut til å variere forholdsvis lite systematisk med årstid, selv om det kanskje er en tendens til noe høyere konsentrasjoner tidlig på

året, og noe mindre andel uorganisk N i siste halvdel av året. Det er forholdsvis små variasjoner i nitrogenkonsentrasjon, med tendens til høyere verdier om vinteren, og fordi vannføringen er mye større om vinteren, er det klart at nitrogentransporten begge år er mye større om vinteren enn om sommeren. Konsentrasjoner av nitrat+ammonium er mellom 900 og 1200 mg N/l i vintermånedene.

Også fosfor har konsentrasjoner som varierer usystematisk med årstid eller vannføring, og de store transportene om vinteren skyldes for det meste større vannføring. Andelen ortofosfat er vanligvis 25 % eller lavere, bortsett fra vinteren 1993 da den var opp mot 50 %.

Tilsvarende data for silikat viser derimot sterkt årstidsavhengig konsentrasjon, med lave konsentrasjoner om våren og sommeren. Om vinteren er silikat-konsentrasjonene 1.2-1.6 mg Si /l. Omregnet gir det et N:Si-forhold som stort sett er mellom 1 og 2 (atom:atom) i perioden september til og med april. N:P-forholdet er høyt, spesielt om vinteren, 80-180 (atom:atom) for total-konsentrasjoner, og 200-700 hvis vi ser på uorganisk N mot ortofosfat.

## 6.6 Direkte atmosfæriske tilførsler

Tall for direkte avsetning av N på havoverflaten er hentet ut av figurer i Balino (1994), som har beregnet dem ut fra EMEP-modellen. Tallene gjelder 1985. På årsbasis kan det anslås samlede tilførsler på ca. 120 kt N til Skagerrak og de nordlige deler av Nordsjøen, ca. 12 kt N til sentrale Nordsjøen, og ca. 13 kt N til de sørlige deler av Nordsjøen. Tilførslene er (for 1985) ujevnt fordelt over året, men med en stor del (anslagsvis halvparten) i vintermånedene. Samlet utgjør altså disse tilførslene et tillegg på ca. 15 % til nitrogentilførslene fra land, dersom forholdene mht. atmosfæriske tilførsler har vært omtrent uendret fra 1985 til 1992. Det kan selvsagt ha skjedd endringer i perioden når det gjelder fordeling mellom luftutslipp og utslipp til vann.

## 6.7 Oppsummering av data om tilførsler fra andre land

Som data foran viser, er tilførslene fra andre land til Nordsjøen sterkt konsentrert til vinterhalvåret, mens det er mye lavere tilførsler om sommeren. Det gjelder særlig for nitrogen, hvor både store vannmengder og høyere konsentrasjoner bidrar til høye tilførsler om vinteren. Det aller meste av nitrogenet foreligger som oppløste næringssalter (nitrat, nitritt + ammonium) i de datasettene som gir informasjon om dette.

Også fosfortransporten er høyest om vinteren p.g.a. høy vannføring, men variasjonen i transporttallet gjennom året er ikke så kraftig som for nitrogen. For engelske tilførsler er konsentrasjonen av ortofosfat høyest om vinteren, men variasjonen gjennom året er svakere enn for nitrogen. For mange av de andre kildene det er gitt data for her, er ortofosfat-konsentrasjonene høyest på sensommer og høst, ved forholdsvis lave vannføringer. Det ser ikke ut til at variasjon i totalfosforkonsentrasjoner kan knyttes klart til hverken årstid eller vannføring. Det kan henge sammen med at fosforet i stor grad er knyttet til partikler, og med en mer episodisk preget transport, som ikke kan beskrives godt med den prøvetakingshyppighet som er vanlig. Hvor stor del av de totale fosfortilførslene som skal anses for å være biotilgjengelige er usikkert.

Bedømt ut fra de data som er vist foran kan det anslås at ca. 60 % av den totale N-tilførselen og 50 % av fosfortilførslene til Nordsjøen kommer i de fire månedene desember - mars. Til sammenligning står sommerhalvåret (her regnet fra mai t.o.m oktober) for bare hhv. 25 og 30 % av de totale tilførslene, dvs. at tilførsel pr. måned i vintermånedene av N og P er hhv. 2.5 og 3.4 ganger høyere enn i sommerhalvåret.

## 7. Tilførsler av ferskvann og næringsstoffer fra norsk område til ytre Oslofjord

Ytre Oslofjord mottar tilførsler direkte fra befolkning, industri og landbruk i omkringliggende land-områder, men også fra et mye større område via Glomma, Dramselva og indre Oslofjord. Vi konsentrerer oss her om de norske tilførslene. De svenske tilførslene til Oslofjordområdet anses inkludert i de tallene som er gitt foran for de totale tilførslene fra den svenske vestkysten.

De norske tilførslene til området beregnes nå hvert år av NIVA og rapporteres til Pariskommisjonen. Disse estimatene bygger på målinger i de største vassdragene, bl.a. Dramselva og Glomma, og på andre målte og beregnede tall for tilførsler fra ulike kilder (Holtan et al. 1994, 1995).

Det er også anslått tilførsler spesielt i Dramselva, til Drammensfjorden og til indre Oslofjord i forbindelse med lokale vurderinger av disse resipientene (Sørensen et al. 1995, Bjerkeng 1994). I disse vurderingene er det også satt opp estimater for tilførsler i 1970-80, dvs. i årene før mange av de viktigste rensiltakene ble gjennomført. Det er også gjort et anslag for hvor mye som holdes permanent tilbake i disse resipientene.

Fylkesmannen i Oslo og Akershus har nylig utarbeidet en oversikt over tilførsler fra disse to fylkene med tilgrensende områder i Oppland, Østfold og Buskerud (Wivestad 1995). Tilførslene er fordelt på ulike typer kilder, og det er gitt oversikt over tilførslene både kommunevis og pr. vassdrag eller fjordavsnitt. Retensjon er ikke tatt hensyn til i disse estimatene.

De norske tilførslene til ytre Oslofjord er i den herværende rapporten beskrevet på en slik måte at de tillater analyse av ulike scenarier knyttet til forskjellige tilførselsituasjoner. Det er gjort ved å utnytte den oppdeling på kilder som ligger i TEOTIL-modellen (Tjomsland og Bratli 1995). Tilførslene er beregnet for 1993, og disse tilførslene er brukt som utgangspunkt for å se på virkning av videre utslippsreduksjoner. Som referansetilstand er det dels sett på et bakgrunnsnivå, uavhengig av antropogene norske kilder, og dels også antatte tilførsler i begynnelsen av dette århundre (ca. 1910) da påvirkningen på fjordsystemet var svært begrenset (Baalsrud et al. 1990).

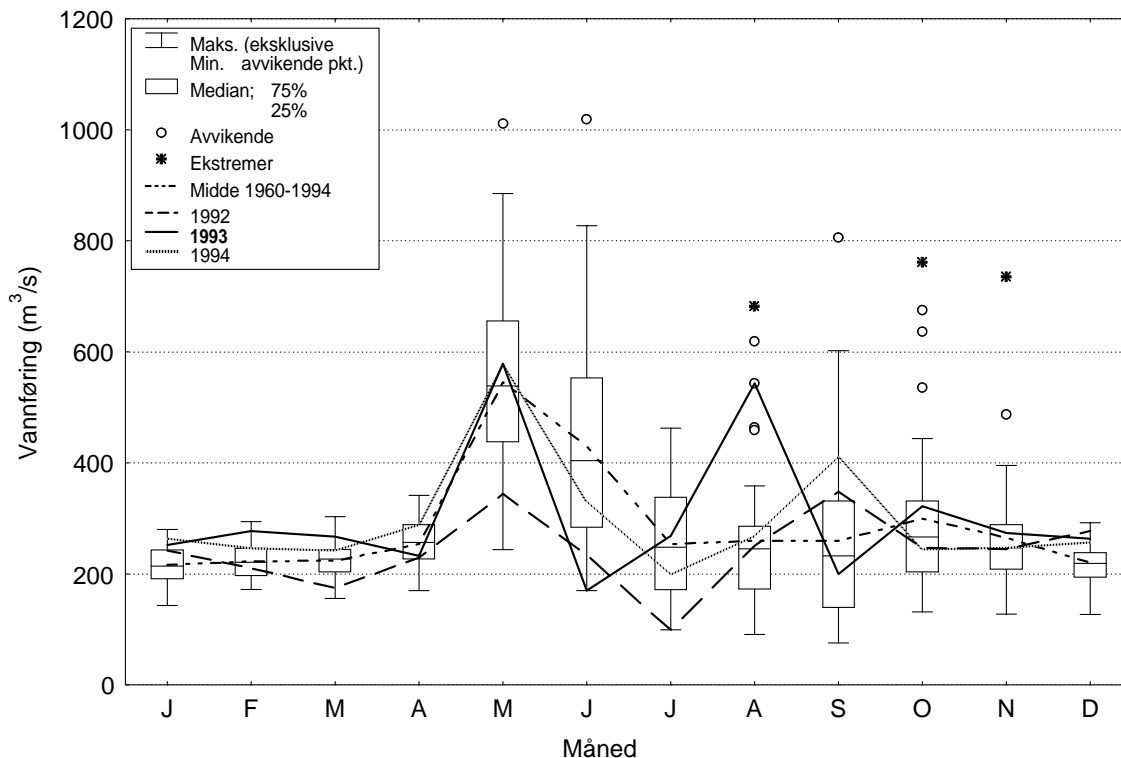
Beregningen bygger på en oppdatert detaljert oppstilling av lokale utslipp til ytre Oslofjord for 1993 med data hentet fra TEOTILs database, hvor tilførsler av N og P er splittet opp på de geografiske områdene, på ulike kildetyper og på månedsbasis. For arealavrenningen i de store elvene er månedsfordelingen gjort proporsjonalt med vannføringen i 1993, for andre kilder er det antatt jevnt fordeling over året. Resultatene av denne beregningen er brukt som grunnlag i stoffbudsjett- og konsentrasjonsberegningene.

De ulike estimatene bygger i stor grad på overlappende datamateriale, men kan likevel avvike en del fra hverandre, bl.a. ut fra hvilke antagelser som er bygget inn i beregningene. Nedenfor gjennomgås de ulike beregningene som er gjort, og forskjellene drøftes. Beregningene som er gjort med TEOTIL er dessuten beskrevet nærmere i kap. 7.7 og vedlegg Vedlegg B. .

### 7.1 Data fra Dramselva

For Dramselva har vi hatt tilgang til døgnvannføringer fra 1960 og frem t.o.m. 1994. Vannføringen i Dramselva var i denne perioden i gjennomsnitt ca. 290 m<sup>3</sup>/s, men årsgjennomsnittet kan variere mellom 200 og 400 m<sup>3</sup>/s. Det er nokså konstant vannføring i vinterperioden (desember til april), med mer varierende verdier i resten av året. Mai og juni er de mest markerte flommånedene. Figur 13 viser hvordan månedsmidler for vannføring i Dramselva kan variere gjennom året og fra år til år for samme

måned. Figuren viser også kurven for 1993 som ble benyttet i DNMI's modellsimulering. Månedsmidlene for 1993 ligger stort sett innenfor vanlig variasjonsintervall, med unntak av juni, hvor vannføringene var forholdsvis lave, og august, hvor middelvannføringen lå blant de 5 høyeste verdiene i løpet av alle årene for denne måneden.



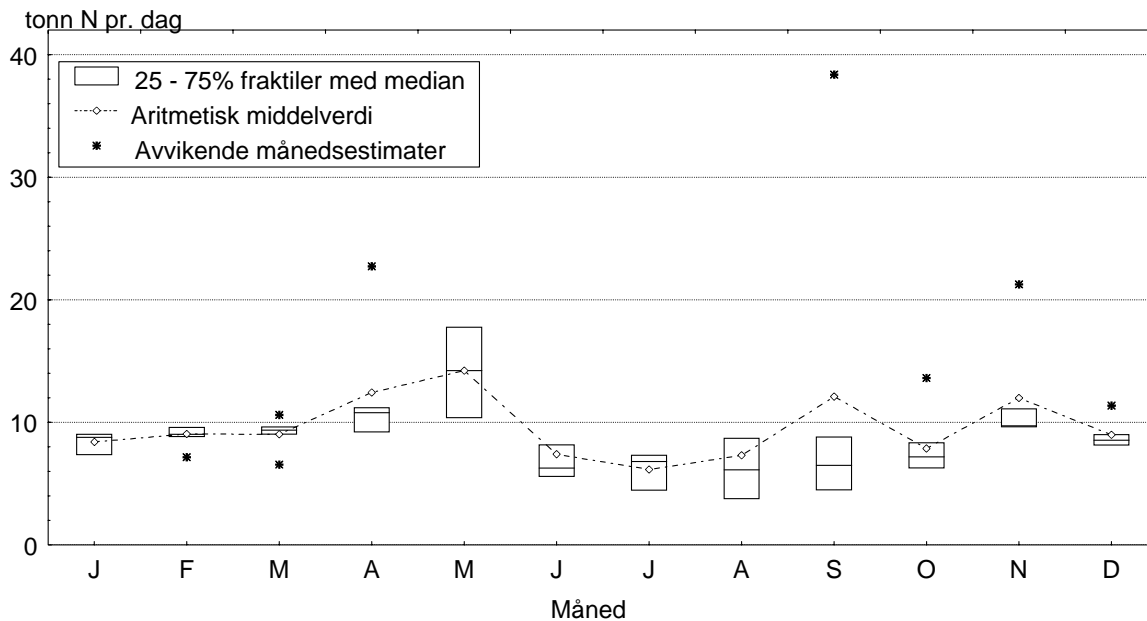
Avvikende verdier: avstand til median >1.5 ganger forskjell mellom 75 og 25 persentilen.  
Ekstremverdier: avstand til median > 3 ganger forskjell mellom 75 og 25 persentilen

**Figur 13.** Vannføringsstatistikk på månedsbasis for Dramselva. Data for 1960-1994.

### Nitrogen

Måledata fra PARCOM-programmet og eldre observasjonsserier, bl.a. fra 1982-1984 (Lingsten 1985) viser at nitrogenkonsentrasjonene i Dramselva vanligvis ligger rundt 350-400  $\mu\text{gN/l}$ , med enkeltstående observasjoner rundt 1000  $\mu\text{gN/l}$ . Vannføringsvektet middelvei for perioden 1990-94 er 420  $\mu\text{gN/l}$ . Totalkonsentrasjonen er vanligvis høyest på sen vinteren, opp mot 500  $\mu\text{gN/l}$ , mens den er lavere enn gjennomsnittet om sommeren.

Årsvariasjonen i nitrogentransport er for dette prosjektet beregnet ved å multiplisere konsentrasjoner i en enkelt vannprøve hver måned med månedsmidlet for vannføring basert på døgnobservasjoner. Dette gir månedsmidler for nitrogentransporten i elva som stort sett varierer mellom 4 og 18 tonn/dag. Statistisk fordeling av månedsmidler for årene 1990-1994 er vist i figur 14. Vi ser at for nitrogen er mai den måneden som i snitt gir den største transporten.



**Figur 14.** Statistisk fordeling av månedsmidler for nitrogenertransport med Dramselva, på basis av PARCOM-data for 1990-94.

Vinterstid er ca. 70 % av nitrogenet i Dramselva nitrat. I sommermånedene synker andelen nitrat ned mot ca. 45 %, samtidig som også totalkonsentrasjonen av nitrogen synker noe i forhold til vinterverdiene. Sett i sammenheng med målte klorofyllverdier fra 1982-84 på rundt 3 µg/l om sommeren (Lingsten 1985) virker det rimelig å se disse endringene som i stor grad et uttrykk for at en større andel av nitrogenet er bundet i fytoplankton om sommeren (Lingsten 1985, Sørensen et al. 1995) og at N også holdes tilbake i vassdraget p.g.a. biologisk aktivitet (opptak i fastsittende alger, sedimentasjon av plankton) i større grad enn om vinteren. Det er derfor ikke nødvendigvis slik at minsket andel løst uorganisk N om sommeren betyr at en mindre del av nitrogenet da kan delta i den biologiske omsetningen. Også om vinteren er det noe klorofyll i elva, ca. 0.3 µg/l, hvilket betyr at noe nitrogen er bundet i plantemateriale.

Noe av nitrogenet finnes også som ammonium. Det er målt de siste par årene i Dramselva, og utgjør mellom 8 og 35 µg N/l. Middelveien er 17 µg N/l, eller ca. 5 % av total-nitrogen. Ammoniumkonsentrasjonene ser ikke ut til å variere systematisk hverken med årstid, vannføring eller total nitrogenkonsentrasjon. Det foreligger ikke ammoniumtall fra januar og februar.

Basert på fargetall og bakterietellinger fra 1982-84 (Lingsten 1985) er det anslått at opptil 20 µgN/l kan være bundet i humus, og anslagsvis 2-4 µgN/l i bakterier om vinteren (Sørensen et al. 1995).

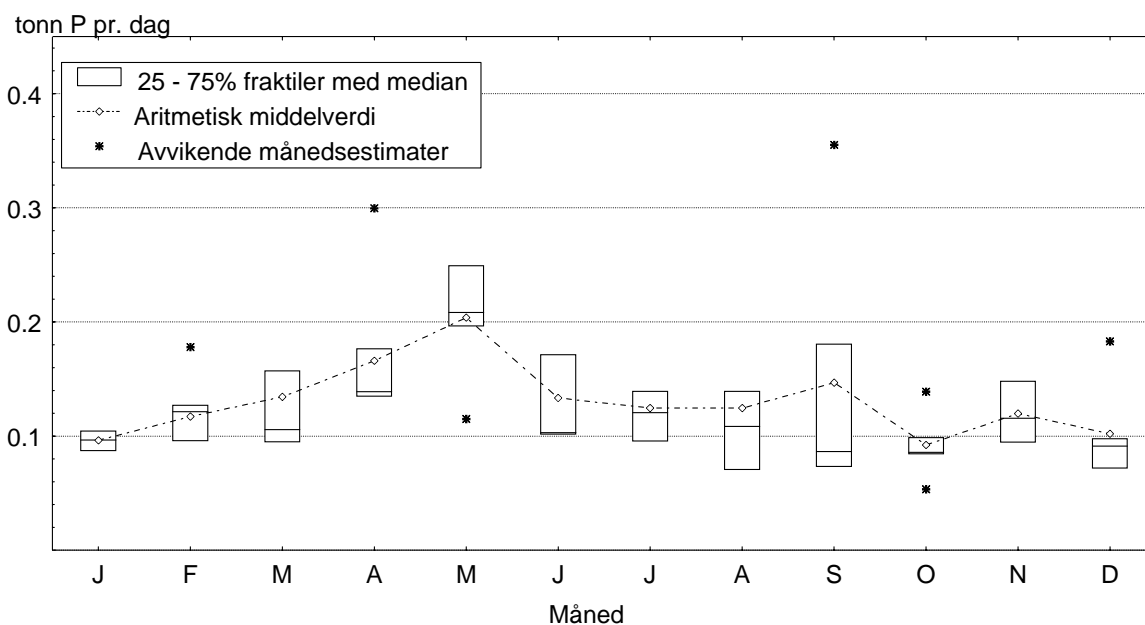
De siste to år er også målt totalt organisk karbon i elva. Verdiene varierer mellom 2 og 4 mgC/l, uten noen klar årstidsvariasjon (data for januar og februar mangler). Det meste av dette er antagelig løst organisk karbon, bedømt ut fra en enkelt stikkprøve med DOC-analyse, samt data fra 1982-84, se Lingsten (1985) og Sørensen et al. (1995). Det er en viss tendens til sammenheng mellom rest-nitrogen (total-nitrogen - løst uorganisk) og total organisk karbon, men med for store variasjoner til at noen kvantitativ sammenheng kan utledes. Forholdet mellom TOC og rest-nitrogen varierer mellom 15:1 og 30:1 (atom:atom), med de høye verdiene typisk for vintersituasjonen, mens det såkalte Redfield-forholdet for planktonisk materiale er ca. 6.6. Det høye C:N-forholdet tilsier at materialet i stor grad er av terrestrisk opprinnelse og kan være vanskelig nedbrytbart. Imidlertid er C:N-forholdet for jordsmonn og terrestrisk plantemateriale angitt å variere sterkt, fra 10 til 110 (atom:atom) i avfall fra skog ifølge Mellilo og Gosz (1983), fra 10 til 20 for jordsmonn og typisk i området 50-100 for avfall



fra ulike typer vegetasjon ifølge McGill og Christie (1983). Hvis C:N-forholdet er høyt i tungt nedbrytbart materiale, kan derfor forholdet mellom TOC og rest-nitrogen i Dramselva godt være resultat av en blanding av tungt nedbrytbart materiale med høyt C:N-forhold, som inneholder en mindre del av restnitrogenet, og lettere nedbrytbart materiale med forholdsvis lavt C:N-forhold, hvor det meste av restnitrogenet er å finne.

Vi kan altså anslå at ca. 75 % av nitrogenet om vinteren er klart biotilgjengelig eller biologisk bundet og raskt omsettelig (uorganisk N + bakterier). Restmengden av nitrogen på ca. 100 µg N/l er 5 ganger større enn øvre grense for humusinnhold av N anslått ut fra fargetallet. Ut fra N:C-forholdet kan de resterende 25%, eller ca. 100 µg N/l, være av varierende biotilgjengelighet innenfor oppholdstidene i ytre Oslofjord. Hvis vi vilkårlig antar at 50 % av restnitrogenet er nedbrytbart på aktuell tidsskala, gir det en mulig tilgjengelighetsgrad for N totalt på 85-90 %. Om sommeren synker andelen løst uorganisk nitrogen, men hvis dette er knyttet til produksjon av lett nedbrytbart materiale i vassdraget kan det tenkes at en tilgjengelighetsgrad på 85-90 % er realistisk for året som helhet.

Totalfosfor-konsentrasjonene varierer også systematisk gjennom året, med høyest verdier på senvinter og første del av sommeren, og lavest verdier om høsten, men det er også store variasjoner fra år til år for en gitt periode på året. Vannføringsvektet middelerdi for 1990-94 er 5.7 µgP/l. Andelen ortofosfat av total fosforkonsentrasjon varierer fra 5 til 80 %, i middel er ca. 30 % av årstransporten av P som ortofosfat. Det er en viss tendens til at høye totalfosforkonsentrasjoner forekommer ved høye partikkelkonsentrasjoner, men det er ingen sterk sammenheng. Figur viser statistikk for månedstransport av totalt P for 1990-94, beregnet på samme måte som for nitrogen ovenfor.



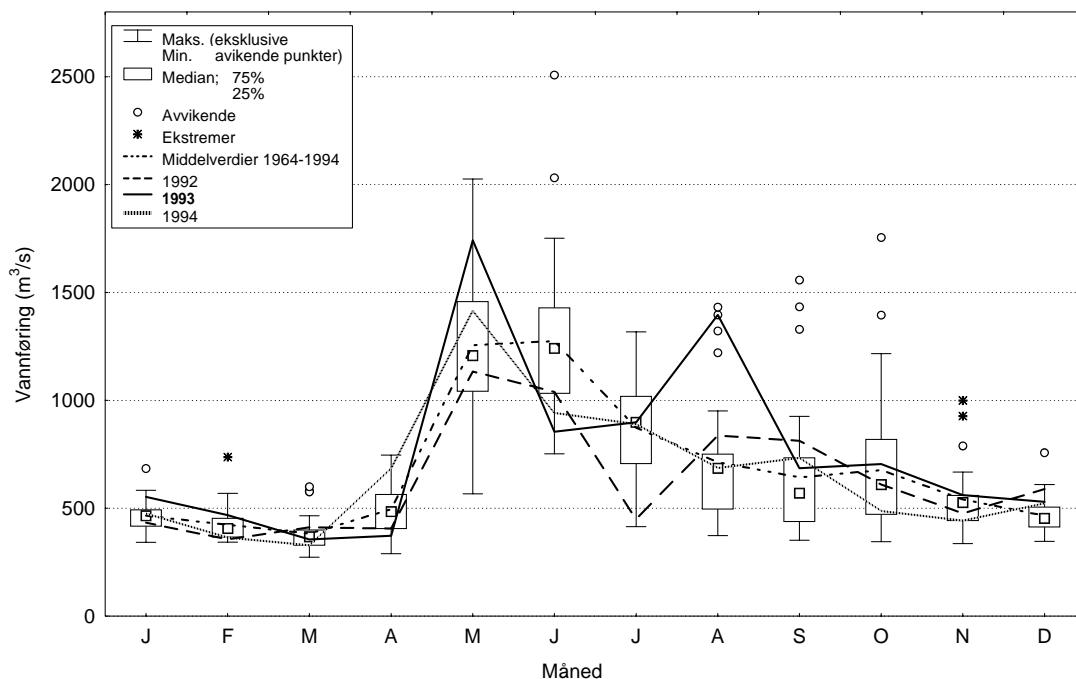
**Figur 15.** Statistisk fordeling av månedsmidler for fosfortransport i Dramselva, på basis av PARCOM-data for 1990-94.

Partikkelinnholdet i Dramselva varierer mellom 0.7 og 6 mg/l, med de største variasjonene i flom-periodene vår og høst, og relativt lave verdier om sommeren. Halvparten av verdiene ligger mellom 1 og 2 mg/l. Målinger med sedimentfeller har vist at det meste av partiklene sedimenterer i den nordlige del av Drammensfjorden selv under stor flom, slik at påvirkningen på ytre Oslofjord av partikler fra Dramselva burde være relativt liten (Magnusson & Næs 1986, Sørensen et al. 1995).

Silikatverdier ble målt til sammen 7 ganger i perioden 1982-84 fordelt fra slutten av mai til slutten av september. Verdiene i mai og juni var 2.3-2.4 mg SiO<sub>2</sub>/l (ca. 40 µM Si), mens det i august-september ble målt 1.5-2.0 mg SiO<sub>2</sub>/l (25-33 µM Si). Verdiene stemmer godt med det som ble målt under den hydrologiske dekaden 1965-74 (Goffeng ed. 1971, 1973, 1977).

## 7.2 Data fra Glomma

For Glomma har vi hatt tilgjengelig døgnvannføringer for perioden 1964 - 1994 ved Solbergfoss. Det er nedenfor antatt at vannføringen i Sarpsfoss er 2.5 % høyere i overensstemmelse med forholdet mellom nedbørareal oppstrøms målestasjon ved Solbergfoss og totalt nedbørfelt (Holtan et al. 1994, 1995). Gjennomsnittlig vannføring i Glomma i denne perioden var ca. 685 m<sup>3</sup>/s, med månedsmidler som varierte mellom 300 og 2500 m<sup>3</sup>/s. Figur 16 viser hvordan månedsmidler for vannføring i Glomma kan variere gjennom året og fra år til år for samme måned. sammen med den statistiske fordelingen er tegnet inn årskurver for 1992, 1993 og 1994. I 1993 var det forholdsvis stor, men ikke ekstrem vårflo i mai, mens månedsmiddel for august var uvanlig høyt for måneden, i likhet med i Dramselva.



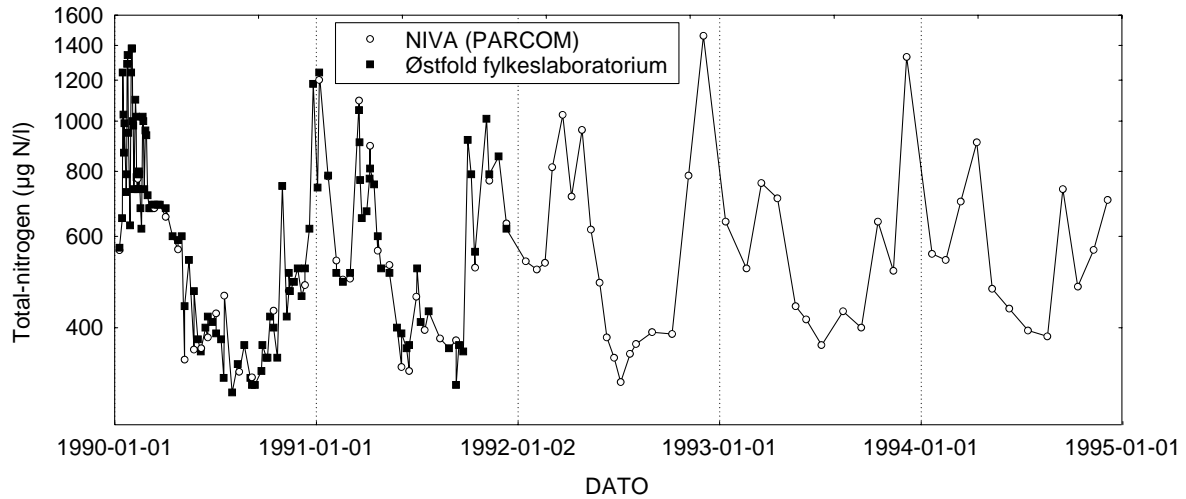
Verdier omregnet til vannføring i Sarpsfoss, antatt 2.5 % høyere enn Solbergfoss.  
 Avvikende verdier: avstand til median >1.5 ganger forskjell mellom 75- og 25-persentilene.  
 Ekstremverdier: avstand til median > 3 ganger forskjell mellom 75- og 25- persentilene.

**Figur 16.** Vannføringsstatistikk på månedsbasis for Glomma. Data for 1964-1994 (Solbergfoss) omregnet til vannføring ved Sarpsfoss.

For vannkjemien har vi brukt data fra NIVAs PARCOM-overvåkning fra perioden 1990-94 (Holtan et al. 1994, 1995) sammen med data fra Østfold fylkeslaboratorium 1990-91.

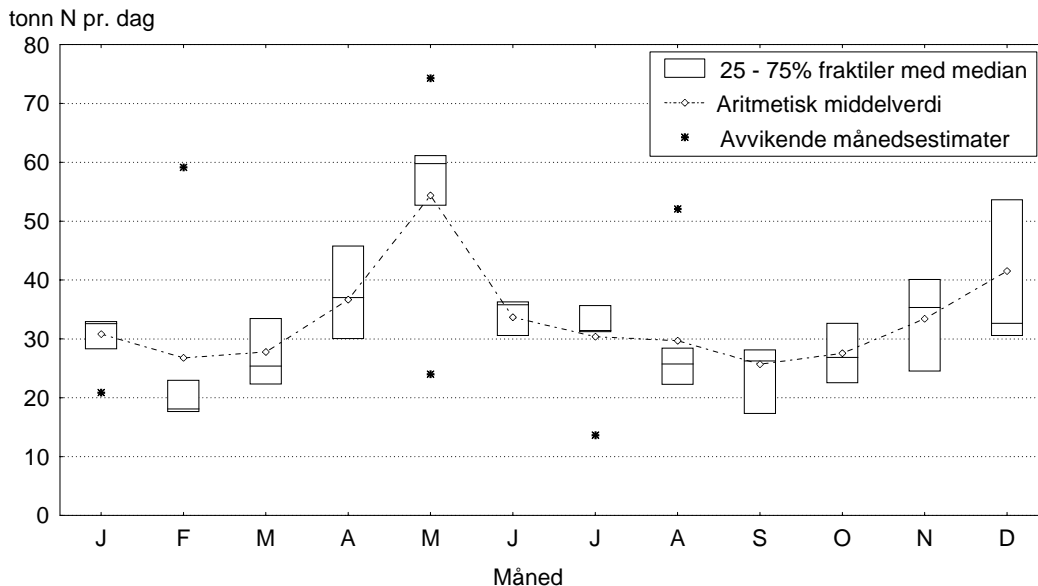
## Nitrogen

Nitrogeninnholdet i Glomma er noe høyere enn i Dramselva, idet vannføringsvektet middelværdi for årene 1990-94 er 545  $\mu\text{gN/l}$ . Årstidsvariasjonen følger det samme mønsteret som i Dramselva. Det er gjennomgående høye verdier i perioden desember til april, typisk i området 600-1000  $\mu\text{gN/l}$ , men av og til opp i 1500  $\mu\text{gN/l}$ . Om sommeren er det lavere verdier, som regel mellom 300 og 500  $\mu\text{gN/l}$ . Figur 17 viser målte konsentrasjoner gjennom de fem årene.



NB! Log-skala på vertikal-aksen

**Figur 17.** Målte nitrogenkonsentrasjoner i Glomma 1990-1994.



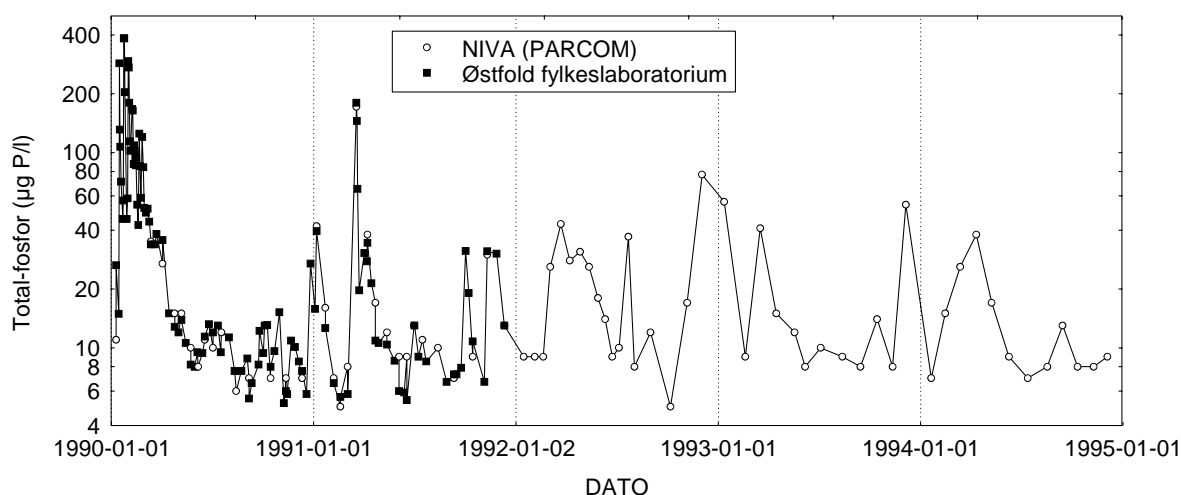
**Figur 18.** Statistisk fordeling av månedsmidler for nitrogentransport med Glomma, på basis av PARCOM-data for 1990-94.

Statistikk for nitrogenertransporten i Glomma basert på de samme årene er vist i figur 18. Månedsmidlene er beregnet ved lineærinterpolering i tid mellom observerte konsentrasjoner, kombinert med døgnverdier for vannføring. Nitrogenertransporten har et maksimum i mai samtidig med vårflommen og sent på høsten.

Andelen nitrat om vinteren er ca. 70 % som i Dramselva, men holder seg forholdsvis høyt også om sommeren, rundt 60 %. Ammonium er ikke målt i Glomma, men noen målinger ved lave saliniteter i Hvalerområdet tyder på at konsentrasjonene ligger innenfor 20-30  $\mu\text{gN/l}$ , altså ca. 5 % som i Dramselva.

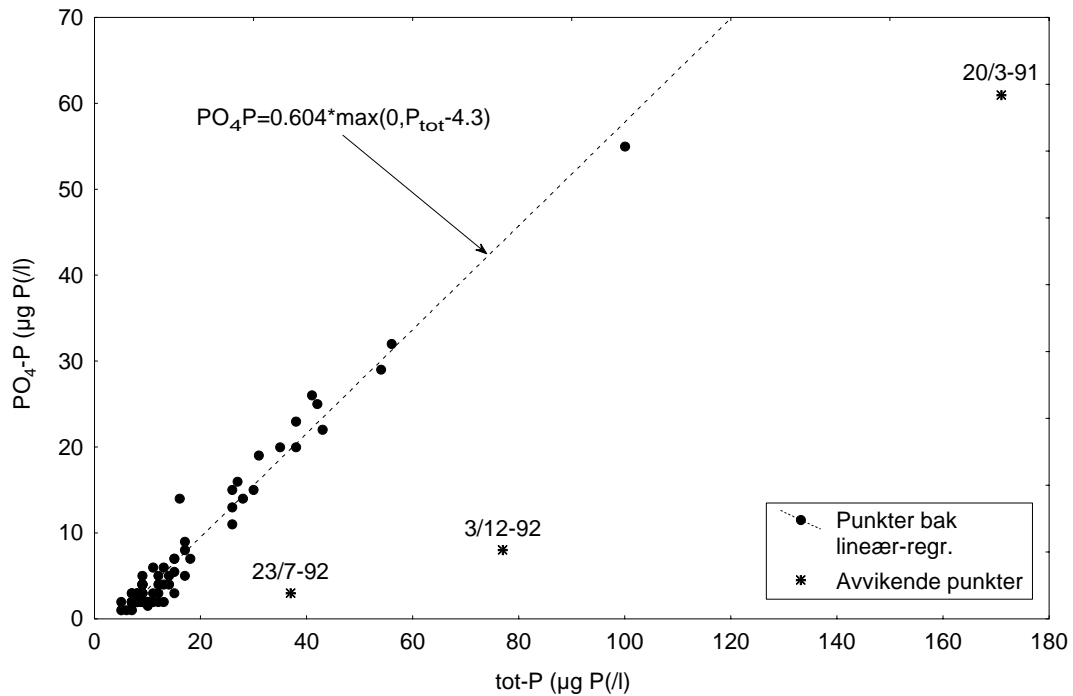
Organisk stoff er målt både som totalt og oppløst. Totalt organisk karbon varierer mellom 2 og 6  $\text{mgC/l}$ , og partikulært C, beregnet som forskjellen mellom TOC og DOC, ligger vanligvis innenfor 0.5  $\text{mgC/l}$ . Forholdet mellom totalt organisk karbon og rest-nitrogen beregnet som  $N_{\text{tot}} - \text{NO}_3$  varierer mellom 13:1 og 40:1 (vekt), med høyest verdier om våren, altså ikke så ulikt Dramselva. Også her kan det derfor være usikkert hvor mye av restnitrogenet som er biotilgjengelig. Totalt kan vi anslå at minst 75 % av nitrogenet er biotilgjengelig, forutsatt at nedgangen i nitratandel om sommeren skyldes produksjon av lett nedbrytbart biomasse i vassdraget, og opp mot 90 % dersom vi antar at halvparten av det nitrogenet som ikke er løste næringssalter også er nedbrytbart.

Målte totalfosforkonsentrasjoner i Glomma, vist i figur 19, varierer sterkere gjennom året enn nitrogen, men viser kvalitativt mye av det samme mønsteret. Om vinteren er det sterkt varierende verdier, med toppverdier på 200-500  $\mu\text{g P/l}$  om vinteren, mens det er gjennomgående lave verdier, mellom 5 og 10  $\mu\text{g P/l}$ , ellers i året. Som figur 20 viser, er det gjennomgående god sammenheng mellom total fosfor og analysert ortofosfat, målt på ufiltrerte prøver. Ved små totalfosforkonsentrasjoner (<10  $\mu\text{g P/l}$ ), dvs. om sommeren og høsten, er det relativt lite som finnes som ortofosfat, men ved økning i totalfosfor ut over denne fraksjonen synes ca. 60 % vanligvis å finnes som ortofosfat. Høye verdier vil vanligvis være statistisk korrelert med høyt partikkelinnhold. Tre unntak fra dette er spesielt angitt i figuren. Siden det er ufiltrerte prøver som er analysert på ortofosfat er det usikkert i hvor stor grad dette ortofosfatet er direkte biotilgjengelig, og det kan også være et analytisk problem med interferens med partiklene (Faafeng et al. 1996) som gir for høye verdier. Figur 21 viser statistikk for variasjon i månedsmidler for fosfortransporten som tonn P/dag. Det er vanligvis høyest fosfortransport om vinteren (desember - mai), mens verdiene gjennom sommerperioden er jevnt over lave.



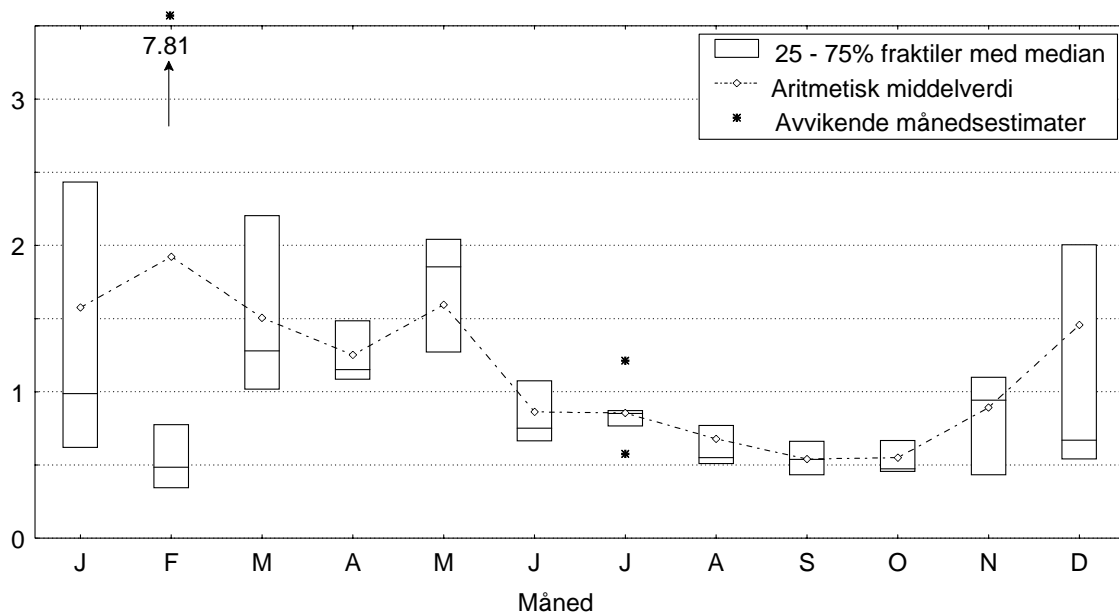
NB! Log-skala på vertikal-aksen

**Figur 19.** Målte fosforkonsentrasjoner i Glomma 1990-1994.



**Figur 20.** Sammenheng mellom total-fosfor og ortofosfat (ufiltrert) i Glomma, på basis av PARCOM-data for 1990-94. G

tonn P pr. dag



**Figur 21.** Statistisk fordeling av månedsmidler for fosfortransport med Glomma, på basis av PARCOM-data for 1990-94.

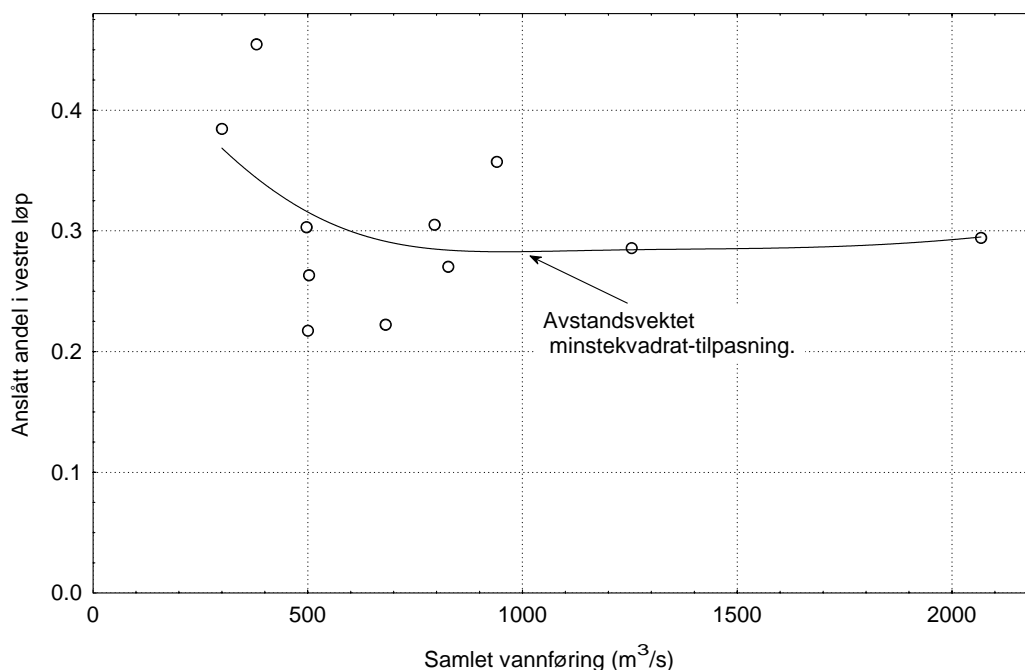
Glomma har et mye mer varierende, og generelt mye større partikkelinnhold enn Dramselva, også ved utløpet til ytre Oslofjord. Laveste verdi er 0.8 mg/l, månedsmidiane for PARCOM-målingene

varierer mellom 2.5 og 20 mg/l, og høyeste verdi i årene 1990-1994 er over 200 mg/l. Vanligvis måles de høyeste verdiene på sen vinteren ved forholdsvis lav vannføring, ved flomvannføring er det ofte lavere verdier. De høyeste verdiene forekom regelmessig i perioden mars-mai, og de laveste verdier om sommeren og høsten (juli - november). Ved flommen i mai-juni 1995 ble det registrert en kortvarig topp i partikkelinnholdet på opp mot 60 mg/l idet vannføringen nådde maksimum, deretter sank det raskt til mer vanlige verdier på 10-20 mg/l. Denne toppen varte bare 2-3 dager.

Silikatinnholdet i Glomma ble målt under den hydrologiske dekadene i 1965-74 (Goffeng ed. 1971, 1973, 1977). Månedsmidlene for desember til og med mai ligger mellom 3 og 3.5 mg SiO<sub>2</sub>/l, juni og oktober har middelverdier omkring 2.5, og i juli-september ca. 1.5 mg SiO<sub>2</sub>/l.

### 7.3 Fordeling av Glommas vannføring på østre og vestre løp

Glomma har to utløp til havet - Østerelva med utløp sørover til det indre Hvalerbassenget med hovedtransportretning rett sørover gjennom Løperen, og Vesterelva med utløp til Leira. Magnusson og Skei (1984) har beregnet fordelingen av vann i de to elveutløpene ut fra saltholdighets-sjiktning og tverrsnittsareal, basert på 10 observasjonstidspunkter for 1982, med vannføringer varierende mellom 300 og 2070 m<sup>3</sup>/s. De fant at i gjennomsnitt ca. 30 % av vannføringen gikk ut Vesterelva. Estimert fordeling varierer mellom 22 og 45% i Vesterelva, men figuren gir ikke et tilstrekkelig bilde av en systematisk variasjon med vannføring, selv om et par punkter antyder mer lik fordeling ved helt lave vannføringer. Det er derfor valgt å bruke gjennomsnittlig fordeling som en konstant, med 30 % i vestre løp mot Leira, og 70 % i østre løp mot Hvalerbassenget og Løperen. Det er lagt til grunn både i ferskvannsfordelingen i DNMI's modellsimulering (Hackett et al. 1995) og ved geografisk fordeling av tilførslene basert på TEOTIL-beregningen i kap. 7.7 og vedlegg Vedlegg B. .



**Figur 22.** Beregnet fordeling av vann på østre og vestre løp av Glomma ut fra saltholdighets-sjiktning og tverrsnittsareal (Magnusson og Skei 1984).

## 7.4 Tidligere estimater av tilførsler til Dramselva og Drammensfjorden.

Sørensen et al. (1995) har beregnet tilførsler til Drammensfjorden basert på eldre og nyere målinger til og med 1991, justert til en 1995-situasjon mht. utbygging av avløpsnett og renseanlegg. Disse estimatene er basert på data om utbyggingen av renseanlegg rundt fjorden. Ut fra disse beregningene skulle Dramselva pr. i dag føre ca. 3300 t N og ca. 50 t P pr. år, hhv. 90 og 80 % av dette antas å være biotilgjengelig. I tillegg kommer kommunal kloakk, industri og sideelver direkte til fjorden med ca. 650 t N og 26 t P pr. år, slik at totalt beregnet utslipp blir ca. 3950 t N og 76 t P.

Basert på data for sedimentering og kjøring med NIVAs eutrofimodell for fjorder er det i Sørensen et al. (1995) regnet med at ca. 17 t P og 310 t N holdes permanent tilbake i Drammensfjorden innenfor Svelviksterskelen hvert år. For P henger dette bare sammen med permanent sedimentering, antagelig delvis av P som er bundet til partikler og ikke er biotilgjengelig. For N er det naturlig denitrifisering som gir det største bidraget, og dette bidraget er bare grovt anslått.

Tabell 5 gir tilførselstall for 1993 og 1994, bygd på daglige vannføringstall og månedlig observasjon av konsentrasjoner. Tallene er hentet fra det norske PARCOM-programmet (Holtan et al. 1994, 1995).

**Tabell 5.** Tilførselstall for 1993 og 1994 til Oslofjordområdet, iflg. det norske PARCOM-programmet. (Holtan et al. 1994, 1995)

	N (t/år)		P (t/år)	
	År 1993	År 1994	År 1993	År 1994
Dramselva	3753	5414	49	59
Lierelva	178	265	8	14
Industri	152	16	40	0.2
Kommunalt avløp	237	249	45	18
Direkte tilrenning	134	117	3.6	3.5
SUM	4454	6061	145.6	94.7

I vedlegg Vedlegg B. er tilførslene slik de beregnes av TEOTIL fordelt på de ulike fjordområdene. Der er tilførslene til Drammensfjorden for 1993 satt til 4435 t N og 85 t P pr. år. TEOTIL-verdiene og PARCOM-verdier stemmer godt for nitrogens vedkommende, hvor hovedmengden kommer med Dramselva, men ikke for fosfor, som har relativt mye større bidrag fra lokale kilder rundt Drammensfjorden.

I oversikten over tilførsler til ytre Oslofjord i tabell 7 er det tatt hensyn til retensjon i fjorden som beskrevet ovenfor, og tallet for tilførsler via Drammensfjorden er da satt til 4126 t N og 68 t P. Alle estimatene er selvsagt mye mer upresise enn det som skulle fremgå av antall siffer tallene er oppgitt med.

Tallene endres en god del fra 1993 til 1994. Det fremgår av PARCOM-rapportene (Holtan et al. 1991-1995) at nitrogenutslippet med Dramselva i 1994 var vesentlig høyere enn i de tidligere årene. Mye av forskjellen skyldes to svært høye verdier i forbindelse med vår- og høstflommer i 1994, men det ser også ut til at konsentrasjonene har økt ellers i 1994 sammenlignet med tidligere. Det høye P-utslippet for 1993 henger vesentlig sammen med et mye større tall for P-utslipp fra industrien dette året, og det er 1994-tallet som stemmer best med de andre estimatene.

## 7.5 Tidligere estimater av tilførsler til Indre Oslofjord

For indre Oslofjord er tilførslene behandlet detaljert bl.a. av Bjerkeng (1994). Tallene der er basert på målinger og opplysninger for perioden 1987-91. Totalt anslås at det da ble tilført 3850 t N og 115 t P pr. år. Nesten halvparten av nitrogenutslippet kom fra sentralrenseanlegget på VEAS, som fra 1995 har nitrogenrensing på forsøksbasis. Hvis en går ut fra en N-rensing på 70 % for dette anlegget vil fremtidige verdier for nitrogen ligge rundt 2660 t N /år. Av dette kommer ca. 800 t N/år, eller 30 %, fra renseanlegg uten nitrogenfjerning. Av det totale P-utslippet er ca. 25 % restutslipp fra renseanlegg med P-fjerning.

Vedlegg Vedlegg B. , basert på TEOTILs data, gir for 1993 et totalutslipp til indre Oslofjord på 3460 t N og 97 t P, hvilket er i rimelig overensstemmelse med tallene ovenfor, selv om det er noe lavere. En reell nedgang kan tenkes p.g.a. økt rensegrad på renseanleggene gjennom perioden.

Som for Drammensfjorden vil indre Oslofjord også gi en viss retensjon, slik at mengdene som transporteres til ytre Oslofjord blir noe lavere. Bjerkeng (1994) anslår gjennom analyse av data og simuleringer med NIVAs eutrofimodell for indre Oslofjord at ca. 450 tonn N fjernes fra det biologiske kretsløp ved biologisk omsetning, for det meste knyttet til naturlig denitrifisering, men påpeker at dette kan være for lavt. Ved innføring av nitrifisering av ammonium til nitrat i renseanleggene ved indre Oslofjord anslår modellen at den naturlige denitrifiseringen i fjorden vil gå ned med ca. 50 tonn. Fjerning av nitrogen ved denitrifisering i renseanleggene skal ifølge modellkjøringene ikke føre til noen ytterligere reduksjon av den naturlige denitrifisering i fjorden.

Noe vil også holdes tilbake i sedimentene. Det finnes en del data for nitrogeninnhold, men lite data for totalt fosforinnhold i sedimentene i indre Oslofjord. De eneste data vi kjenner til som inneholder tall for både N og P i sedimenter gjelder en del sedimentprøver som ble samlet inn som ledd i overvåkningen av indre Oslofjord i 1978 (Magnusson et al. 1979). Data ble da samlet inn for en rekke stasjoner både i Bunnefjorden og indre Vestfjord. Data viser et P:N-forhold etter vekt på mellom 1:5 og 1:2, gjennomsnittsverdien er ca. 1:3. P-innholdet var omtrent likt eller opp mot det dobbelte av hva som er målt i den permanent anoksiske Drammensfjorden, og det tyder på at en vesentlig del er knyttet til den utfellingen av P med partikler en kjenner til i oksisk miljø. P:N-forholdet varierer imidlertid sterkt uten noen klar sammenheng med om sedimentet var oksisk eller anoksiske. Ut fra estimert permanent sedimentering av N i dag på ca. 25-30 t/år (Bjerkeng 1994, Eutrofimodell rapport 1), kan det være sannsynlig at P sedimenterer permanent med ca. 10 t/år i indre Oslofjord. Dvs. at ca. 90-95 % av dagens P-tilførsler til indre Oslofjord eksporteres videre til ytre fjord. Det meste av dette vil gå til primærproduksjon, synke ned og nedbrytes i dypere lag, og eksporteres ut i forbindelse med dypvannsfornyelser i indre Oslofjord.

Det er valgt å beregne tilførsler av N via indre Oslofjord til ytre Oslofjord ved å bruke TEOTILs estimat for 1993 med fradrag av 400 tonn N, slik at tilførslene til ytre fjord via indre Oslofjord er 3060 tonn. Når det gjelder fosfor er det skjønnsmessig antatt en permanent sedimentering på 7 tonn /år, slik at tilførslene til ytre fjord via indre Oslofjord er ca. 90 tonn P /år.

## 7.6 Tilførsler til Indre og ytre Oslofjord sett samlet

I vedlegg Vedlegg B. er tilførslene også gitt for Glomma og direkte til ytre Oslofjord. For Leira og Hvaler/ Singlefjorden beregnes tilførslene til ca. 13,100 t N og 370 t P. Det er i hovedsak tilførsler med Glomma, men det inkluderer også Tistedalsvassdraget og direkte avrenning, bl.a. et renseanlegg i Halden med utslipp på 122 t N og 5 t P. Fra de andre områdene rundt ytre Oslofjord er det anslått tilførsler på 3468 t N og 162 t P, hvorav ca. 1/3, hhv. 1124 t N og 57 t P, kommer fra større og mindre renseanlegg rundt fjorden (tabell 8).



Totalt gir TEOTIL-data et utslipp på ca. 20,000 t N og 700 t P til indre og ytre Oslofjord utenom det som kommer fra Drammensfjorden, og utenom tilførslene til Larviksfjorden, som også er inkludert i tabell i vedlegget.

De norske OSPARCOM-rapportene gir nokså like tall for N-tilførslene i de samme områdene i 1993 og 1994 (Holtan et al. 1994, 1995), men en del lavere tall når det gjelder fosfor. Resultatene derfra er oppsummert i tabell 6.

**Tabell 6.** N- og P-tilførsler til ytre og indre Oslofjord (Drammensfjorden holdt utenfor) for 1993 og 1994, ifølge OSPARCOM-programmet.

	N (t/år)		P (t/år)	
	År 1993	År 1994	År 1993	År 1994
Glomma	13265	11470	417	279
Sideelver (Tistedalsvassdraget)	1150	1205	19	21
Elver indre Oslofjord	640	603	19	18
Direkte tilrenning Glomma/ytre Oslofjord	990	792	29	27
Direkte tilrenning indre Oslofjord	162	120	5.4	4.6
Industri	197	166	41	33
Kommunalt avløp	3012	2916	38	55
SUM	19416	17272	568	438

## 7.7 Beregning av tilførsler med TEOTIL - oppsplitting på område, kilde og måned

Tilførslene er i dette prosjektet beregnet ved å kombinere måleresultater i de større vassdragene fra prosjektet "Paris Convention for the prevention of Marine Pollution from Landbased Sources" (Holtan et al. 1994, 1995) med til dels teoretiske verdier beregnet med modellen "TEOTIL". Det bygger på et program som er utviklet i forbindelse med "Overvåking av elvetilførsler til norske havområder" (Holtan et al. 1991). Månedlige tilførsler ble beregnet for hvert av de aktuelle delfeltene til ytre Oslofjord og spesifisert på de viktigste kildene. Målet var at tilførslene skulle splittes opp slik at det kan beregnes tilførsler ved ulike scenarier for gjennomføring av tiltak.

Som grunnlag for å bedømme virkning av økningen av tilførsler i vårt århundre er det også anslått tilførsler for perioden omkring 1910. Det kan betraktes som en slags referansesituasjon.

### 7.7.1 Fordeling på kilder

Tilførslene ble spesifisert på følgende kilder:

- naturlig bakgrunnsavrenning (innsjø, skog, fjell m.m.)
- jordbruksarealer (åker og eng)
- jordbruk - punktkilder
- befolkning - spredt bosetning
- befolkning - tett bosetning (inkl. industri o.l. til kommunalt avløp)

- industri og andre punktkilder

### **7.7.2 Beregningsmetode for tilførsler i 1993**

Modellen "TEOTIL" (Tjomsland og Bratli 1995) beregner årlige tilførsler, eventuelt pr. måned, av fosfor og nitrogen. Resultatene er basert på opplysninger om utslipp fra kommunalt avløp og industri, og beregnet avrenning fra jordbruksarealer og naturområder. Modellens romlige oppløsning er tilpasset de ca 1200 statistikkområdene som Norge er delt inn i. Det tas blant annet hensyn til retensjon av stoff ved transport gjennom innsjøer. Resultatene kan presenteres for utvalgte punkter i et vassdrag, for vassdragsavsnitt, for kyststrekninger og fylker i den grad dette passer med statistikkområdenes avgrensninger. Datagrunnlaget er stort sett hentet fra offentlige databaser. Vi nevner spesielt at tilførsler fra befolkning og industri blir beregnet årlig på grunnlag av målinger i renseanlegg og av industriutslipp. Årsverdien blir fordelt månedsvis ved at avrenning fra arealer antas å være proporsjonal med vannføringen, mens øvrige tilførselskilder fordeles jevnt over året.

Prosjektet "Paris Convention for the prevention of Marine Pollution from Landbased Sources" ga årstransporten nederst i de største vassdragene basert på målinger av stoffkonsentrasjon og vannføring (Holtan et al. 1994 og 1995).

For områder med observerte årsverdier ble disse benyttet. Fordeling av årstransporten på kilder og måneder ble satt lik modellen TEOTILs verdier skalert etter forholdet mellom "observert årsverdi" og "TEOTILs årsverdi". I områder uten observasjoner ble resultater fra TEOTIL benyttet direkte. Mer detaljert presentasjon av bakgrunnsdata og resultater av beregningene finnes som nevnt tidligere i vedlegg Vedlegg B. . Her er også beregningene sammenlignet med målinger for en del elver.

### **7.7.3 Beregningsmetode for tilførsler omkring 1910**

Det er tidligere beregnet årlige fosfor- og nitrogentilførsler til Oslofjorden for 1910 (Holtan 1989). Det ble her kun regnet ut sum månedlige tilførsler for 1910. Spesifisering på kilder ble ikke ansett for hensiktsmessig da tiltak for 1910 jo er uinteressant. Den prosentvise fordelingen pr. måned ble antatt å være den samme som i 1993. D.v.s. at sum månedlige tilførsler for 1910 for et område ble funnet ved å multiplisere månedlige 1993-verdier med forholdet mellom årlig 1910-verdi og årlig 1993-verdi. Tabell 18 viser en sammenligning mellom 1993-situasjonen og antatte tilførsler pr. 1910.

### **7.7.4 Resultater av tilførselsberegningene.**

Resultatet av beregningen er vist på årsbasis i tabell 7 . Her er det også tatt med tall for 1910 beregnet som beskrevet ovenfor, og ut fra dette er beregnet de forholdstallene som brukes i beregningene av stoffbudsjetter<sup>1</sup>. Den oppdelingen som er brukt tidligere ved beregning av tilførsler (område A-I, se Holtan 1989 eller Baalsrud og Magnusson 1989) er grovere, og stemmer bare delvis med den oppdelingen i 17 delområder som er benyttet nå. Ved sammenligningen mellom tallene for 1993 og 1910 er hvert område etter den nye oppdelingen tilordnet ett av områdene i den tidligere, grovere inndelingen. Dette fremgår av tabellen. Forholdstallene mellom 1993 og 1910 er beregnet for summen av tilførsler innenfor hvert av de eldre områdene. Den fullstendige oversikten over 1993-tilførslene fordelt på måneder er vist bakerst i tabell 19 og tabell 20 i vedlegg Vedlegg B. .

---

<sup>1</sup> I budsjettberegningene brukes de inverse verdiene av det som står i tabell 7 for å regne om fra 1993-tilførsler til 1910-situasjon

---

**Tabell 7.** Tilførsler til Oslofjorden pr. delområde i 1993 og i 1910.

Tall for 1910 hentet fra Holtan (1989).

Delområder		1993		1910		Forholdstall 1993/1910			
Oppdeling i denne rapporten	Brukt i tidl. rapp.	P (tonn)	N (tonn)	P (tonn)	N (tonn)	P	N		
Drammensfjorden	A	67.6	4126	75.4	1090	0.90	3.78		
Indre Oslofjord m. Drøbaksundet	B1+B2	89.7	3062	56.9	653	1.58	4.69		
1 Breidangen øst	E	57.9	906	5.7	121	10.16	7.49		
2 Breidangen vest	D	4.4	75	1.4	46	3.16	1.63		
3 Sandebukta	C	22.0	335	4.6	129	4.77	2.60		
4 Moss/Larkollen	F	12.6	242	5.6	147	5.87	4.99		
5 Bastøyrenna		2.1	50					↓	↓
6 Larkollen/Missingen		0.7	22						
7 Slagenstangen/Fulehuk		17.4	420						
8 Hvaler/Singlefjorden (Glomma øst) <sup>1</sup>	I	337.9	9423	159.1	2350	2.98	5.56		
9 Leira (Glomma vest) <sup>1</sup>		135.8	3639	↓	↓				
10 Området rundt Søstrene	H	1.4	13	2.5	96	0.83	0.36		
11 Færderområdet		0.7	21	↓	↓				
14 Hvalerdypet vest	G	37.7	1239	39.3	648	2.65	4.92		
Skagerrak (Larviksfjorden)		66.2	1949	↓	↓				
SUM		854	25522	350.5	5280	2.44	4.83		

## 7.8 Kloakkrensaneanlegg med utslipp direkte til ytre Oslofjord

Tabell 8 viser en oversikt over kloakkrensaneanlegg med utslipp direkte til ytre Oslofjord. Tabellen skal først og fremst gi bakgrunn for å ta hensyn til dykking av kloakkutslipp ved beregning av massebudsjettene i ytre Oslofjord. Utslipp via elver, Drammensfjorden og indre Oslofjord er derfor ikke med her. Utslipp via vassdrag vil gå til overflaten. Tabellen bygger på en tilsvarende tabell i Baalsrud et al. (1988), supplert med nyere opplysninger. Data om utslippsdyp er innhentet fra de forskjellige kommunene, mens stige høyden fra utslippsdyp til innlagingsdyp er anslått skjønnsmessig. Tilførsels-tall for nitrogen og fosfor er hentet fra det statistikk materialet TEOTIL benytter. For et par rensaneanlegg (Vestby/SFK og Borre/Steinbrygga) er det ikke funnet utslippstall i statistikken; da er utslipp fra tett bebyggelse i vedkommende kommune brukt.

<sup>1</sup> Korrigerte tall for 1993 i forhold til PARCOM-rapport, se fotnote på side 127.

**Tabell 8.** Kloakkrenseanlegg med utslipp direkte til ytre Oslofjord i 1995.

Kommune Renseanlegg	Modell- område	Statistikk -område	Type	Data om utslipps- arrangement (m)			Årlig utslipp (kg)	
				Lengde	Dyp	Antatt stige- høyde	N	P
<b>Hurum</b>								
Sagene r.a.	1	010.0-0	Kjemisk		15	5	591	74
Rulleto r.a.	1	010.0-0	Mekanisk		22	7	9411	1004
<b>Vestby</b>								
SFK*	1	004.-1					88527	2052
<b>Moss</b>								
Kambo r.a.	1	003.-1	Primærfell	400	40	15	46220	1467
Fugleviken (tall for Fuglevik, Rygge)	4	003.-1		600	50	20	150808	5906
<b>Råde</b>								
Hestvold r.a.	4	002.-1			10	5	19768	1515
<b>Onsøy</b>								
Engelsviken	6	003.-1	Silanlegg		25	8	4993	707
<b>Halden</b>								
Remmendalen r.a.	8	001.-2	Primærfell		40	15	122805	4872
<b>Sande</b>								
Lersbrygga	3	013.0-1	Mek. (silanl.)	300	25	8	17980	412
Vammen	3	013.0-2	Biol. (kjem.) simultanfelling	150	2	2	526	21
<b>Holmestrand</b>								
Solbergskogen	3	013.0-2	Mek. (silanl.)	210	27	9	20212	1349
<b>Borre</b>								
Steinbrygga*	2		Mek. (silanl.)	450	10	4	2714	93
Åsgårdstrand	5	013.0-3	Mek./kjem. (primærfelling)	500	20	5	10100	357
<b>Horten</b>								
Falkensten	2	013.0-3	Mek. (sedimentering)	900	70	30	62185	3850
<b>Stokke</b>								
Vårnes	14	014.0-4	Mek. (sedimentering)	1000	40	15	26189	1382
<b>Tønsberg</b>								
Tau r.a. (inkl. Nøtterøy)	2	013.0-3	Mek. (sedimentering)	770	38	14	26400 6	9861
<b>Tjøme</b>								
Bektuvika	11	014.0-3	Mek. (sedimentering)	200	30	10	11503	449
<b>Sandefjord</b>								
Enga	14	015.0-1	Mek. (sedimentering)	1400	40	15	154356	6788
<b>Larvik</b>								
Hølen	14	015.0-2	Mek. (sedimentering)	800	43	15	111515	15209
<b>SUM</b>							<b>1124 t</b>	<b>57 t</b>

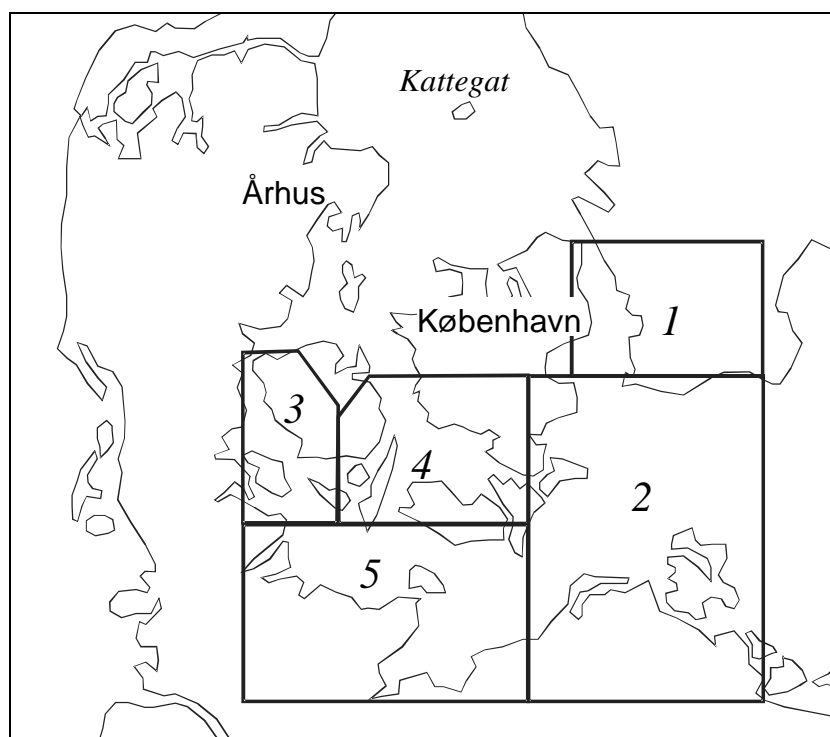
\*: ingen utslippstall, har brukt tall for tett bebyggelse i kommunen

## 8. Hydrografiske og hydrokjemiske data i randområdene til modellen

I dette kapitlet gjennomgås data om hydrografi og konsentrasjoner av N og P i de aktuelle havområder, dvs. i Nordsjøen generelt, i Beltene og Øresund og i Skagerrak, dvs. de områdene som utgjør randområder for modellene.

### 8.1 Østersjøen - de danske beltene og Øresund

Kattegat har stor vannutveksling med Østersjøen. Østersjøen er beregnet å ha en ferskvannstilrenning på ca. 15,000 m<sup>3</sup>/s (Stigebrandt 1983), og dette vannet strømmer ut som et brakkvannslag med salinitet 8 - 12 psu, se nedenfor. Hvis vi antar at det fornyingsvannet som strømmer inn fra Kattegat har salinitet 30-35 psu (i middel 33 ifølge Stigebrandt 1983), tilsvarer det en brutto utstrømning på 20,000 - 25,000 m<sup>3</sup>/s fra selve Østersjøen. Det meste av vanntransporten mellom Østersjøen og Kattegat skjer via Beltene, og går derfor via farvannene mellom Danmark og Tyskland, avgrenset mot Østersjøen ved en terskel. Brutto innstrømning over modellens randområde, dvs. gjennom beltene og Øresund er beregnet til 40-45,000 m<sup>3</sup>/s av Hackett et al. (1995) ut fra vannstandsdata. Det kan være riktig hvis det skjer en medrivning av vann nedenfra i områdene rett sør for de danske beltene og Øresund, slik at de 45,000 m<sup>3</sup>/s inkluderer en sirkulasjon som ikke rekker inn i selve Østersjøen, men bare foregår i selve randområdet, dvs. i Øresund og Beltene.

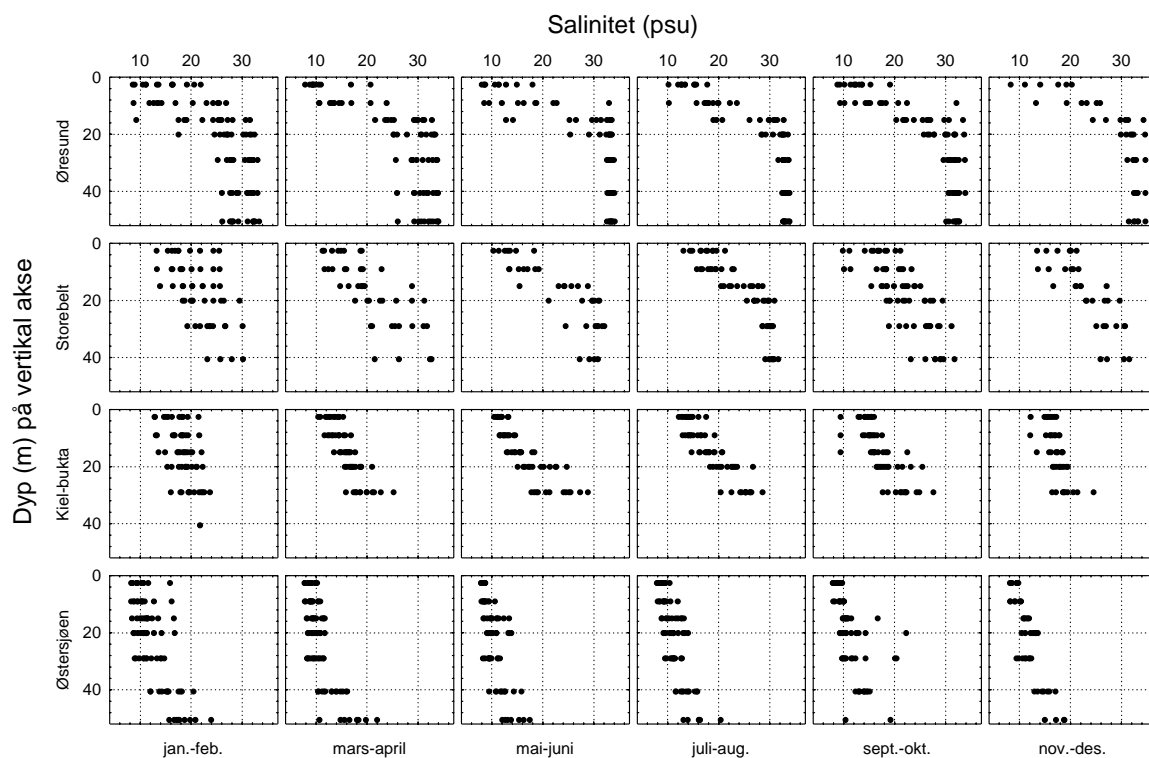


**Figur 23.** Kart over Øresund/Beltene og sørvestre del av Østersjøen.

Fra ICES har vi fått statistikk på månedsbasis for hydrografi og hydrokjemii for hvert av 5 områder, med avgrensning som fremgår av kart i figur 23.

1. Området fra Øresund sørover til innsnevring rett vest for Trelleborg.
2. Det sørvestre område av Østersjøen, sør for område 1 mellom 12 og 14° østlig lengde.
3. Lille-bælt.
4. Store-bælt.
5. Områdene mellom Danmark og Tyskland sør for beltene, og vest for 12. lengdegrad.

Data omfatter årene 1988 - 1994, siste år bare frem til april. For område 3 fantes data for bare ett tidspunkt, men for de andre områdene var alle år ganske godt dekket. Eksakt stasjonsplassering og datoer var ikke angitt i materialet, som bare gir månedsmidler for alle observasjoner i hvert område, og i dypintervaller på 5 meter ned til største observasjonsdyp ned til 50 m dyp. Det er derfor vanskelig å tolke forskjeller over tid, det kan bl.a. skyldes ulik stasjonsplassering eller forskjellig vekt på forskjellige stasjoner innenfor områdene, men dataene bør være brukbare til å gi et generelt bilde av forholdene.

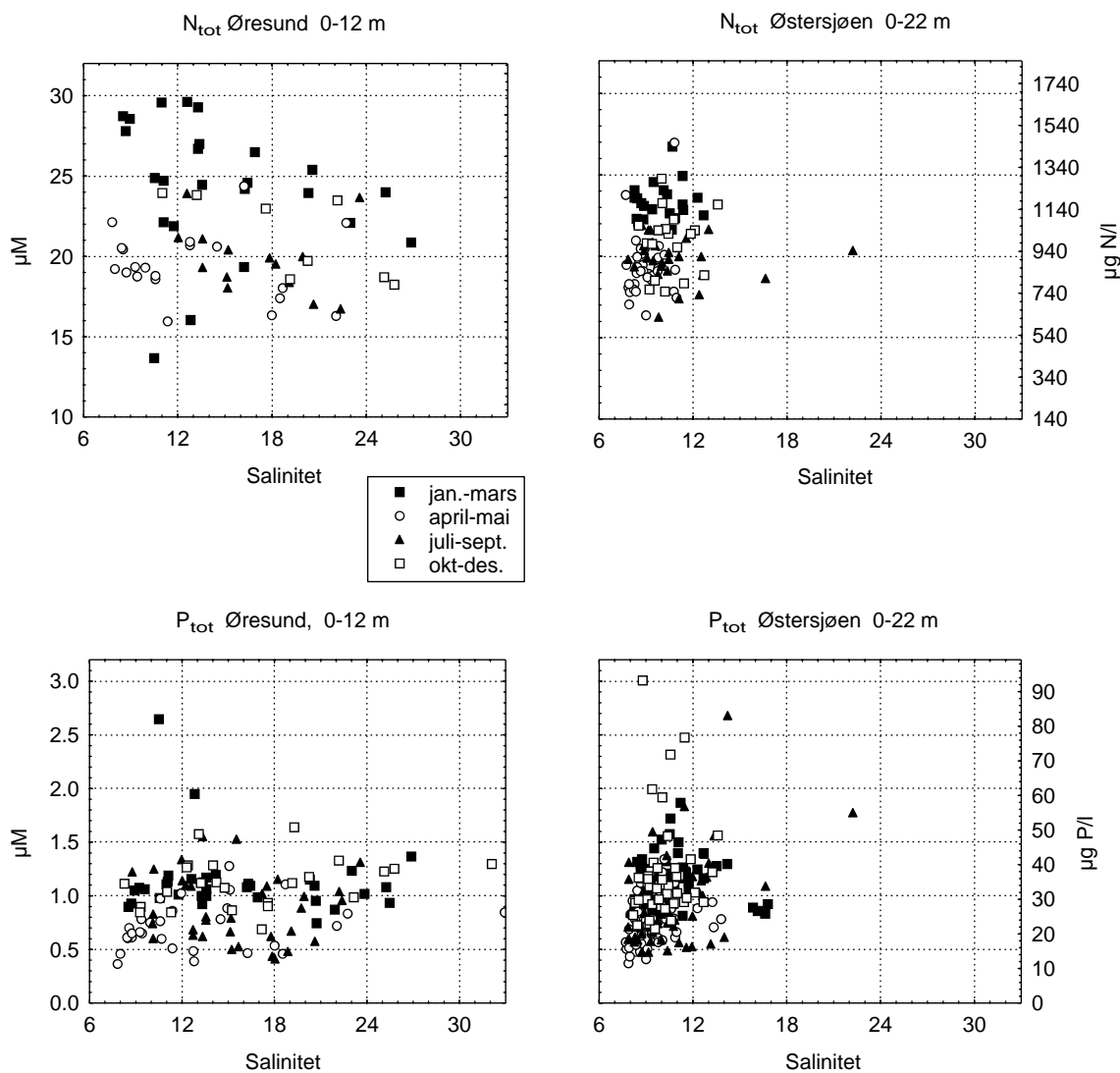


**Figur 24.** Salinitet som funksjon av dyp oppdelt på områder definert i figur 23 og årstider (perioder å to måneder) i randområdene sør for Kattegat

Figur 24 viser datamaterialet fra ICES med salinitet som funksjon av dyp, inndelt etter område og årstid. I område 2 i figur 23 (Østersjøen) er saliniteten nokså konstant 8-12 psu i de øverste 30 meterne gjennom hele året, og øker bare langsomt mot større dyp. Vannkvaliteten her kan antagelig betraktes som representativ for det vannet som strømmer ut av Østersjøen.

Områdene 1 og 4 kan antas å være mer overgangsområder, som i perioder kan være dominert av innstrømmende vann til Østersjøen og i andre perioder av vann som strømmer sørover fra Kattegat. I

disse områdene er det som regel en nokså markert lagdeling med salinitet mellom 10 og 20 i et ca. 5-10 m tykt overflateag. Under ca. 20 m i Øresund-området varierer saliniteten mellom 28 og 35 det meste av året, men ligger ofte omkring 31-32. Sør for Storebælt varierer saliniteten under 20 m dyp noe mer. I disse områdene vil vi vente at en inndeling etter salinitet av overflateobservasjonene i stor grad vil skille mellom utstrømmende og innstrømmende vannmasser.



**Figur 25.** Totalnitrogen og totalfosfor som funksjon av salinitet i Øresund og Østersjøen for ulike årstider. (Data fra ICES).

Figur 25 viser konsentrasjonen av totalnitrogen og totalfosfor som funksjon av salinitet i Øresund (0-12 m) og i den aktuelle delen av Østersjøen (0-22 m). Verdier er markert for forskjellige symboler for å vise årstid. For januar-mars (fylte rektangler) i Øresund er konsentrasjonene av totalnitrogen høyest for lave saliniteter, med opp til ca. 420  $\mu\text{g N/l}$  (30  $\mu\text{M}$ ) ved salinitet 8-15 psu, og avtagende til 280 - 350  $\mu\text{g N/l}$  (20-25  $\mu\text{M}$ ) ved salinitet rundt 20 psu. For høyere saliniteter dypere ned er vinterverdiene også i dette området. Det kunne være rimelig å tolke dette slik at konsentrasjonen av totalnitrogen er høyest i Østersjøen, men det tilsvarende plott for Østersjøen (øverst til høyre i figur 25) viser jevnt over noe lavere verdier enn i Øresund for vintermånedene, mellom 310 og 350  $\mu\text{g N/l}$  (22-25  $\mu\text{M}$ ).

Totalfosforkonsentrasjoner i Øresund om vinteren ligger stort sett rundt 25-35 µg P/l (0.8-1.2 µM), med lite variasjon med salinitet. I Østersjøen er det mer tendens til forhøyede fosfor-verdier om vinteren, med verdier opp mot 100 µg P/l (2.5 - 3 µM), men de fleste fosforverdiene ligger også her i intervallet omkring 25-35 µg P/l.

På grunn av mulig usammenlignbart datagrunnlag skal en som nevnt ikke trekke for mye ut av dette datamaterialet, men vi antar likevel at det gir et bilde av hvilke verdier det kan være rimelig å bruke for brutto innstrømning fra Østersjøen.

## 8.2 Skagerrak

De tilførselsdata som er beskrevet i de foregående avsnittene, kan kombineres med transporttall fra modellen for ferskvann fra forskjellige områder ("sporstoffer"), og derved gi estimer for de bidrag ulike kilder ville gi til transporter av N og P gjennom det nordlige Skagerrak og ytre Oslofjord dersom stoffene fulgte vannmassene passivt uten omsetning.

En må imidlertid regne med at det skjer en viss omsetning og partikkelbundet transport av næringsstoffer. Bennekom og Wetsteijn (1990) har sett på vinterkonsentrasjoner av uorganiske næringsstoffer i *Southern Bight* (havområdet mellom England og Nederland) over 7 år, og finner at konsentrasjonene i februar alltid er påvirket av planktonproduksjon i form av tydelige lokale minima, og også kan være det i januar. Bare i 2 av 7 år ble det ikke funnet noen tegn til primærproduksjon ut fra næringsstoffsdata.

Det betyr at det som regel foregår biologisk omsetning på veien nordover mot i Skagerrak også om vinteren, og det er derfor av interesse å se direkte på målte konsentrasjoner i Skagerrak som et korrektiv til den rene transportberegningen, for å anslå påvirkningen utenfra på ytre Oslofjord.

### 8.2.1 Observerte konsentrasjoner av N og P i Skagerrak

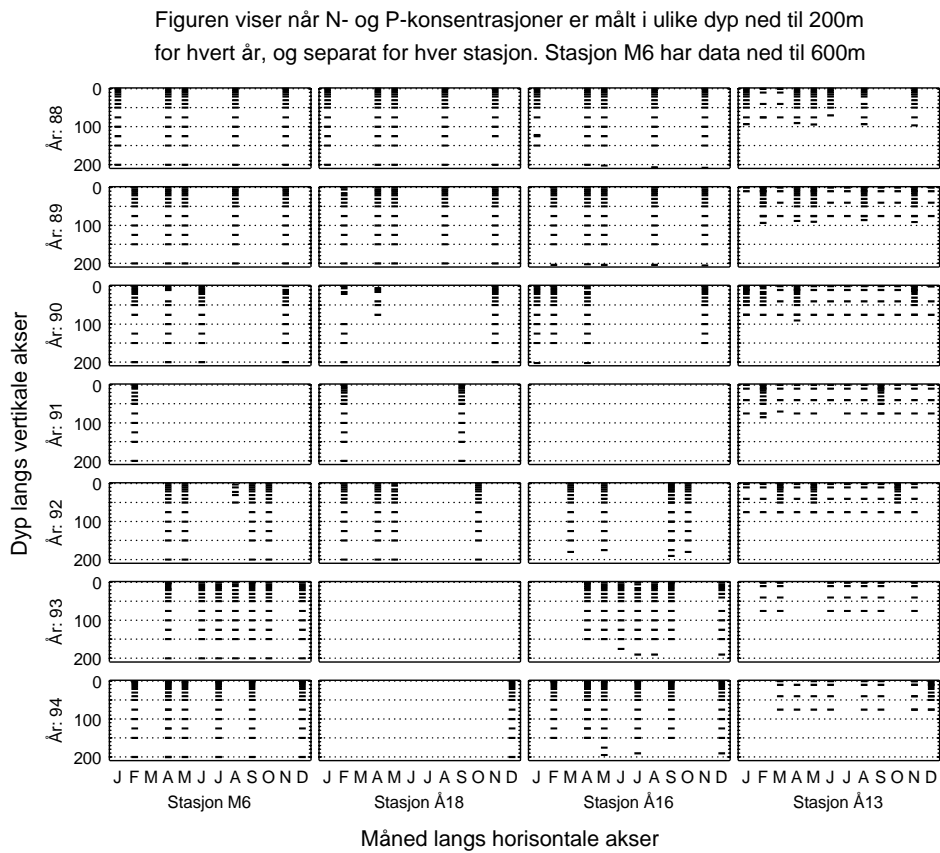
Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institusjon (SMHI) har samlet inn data gjennom en årrekke fra flere stasjoner i Skagerrak, bl.a. i et snitt omtrent rett vestover fra Smögen, det såkalte Å-snittet, og også fra en stasjon M6 lenger vest, ikke så langt fra snittet Arendal-Hirtshals. Beliggenheten til stasjonene er vist i figur 26.

Til bruk i dette prosjektet har vi fått SMHIs data fra stasjonene Å13, Å16, Å18 og M6, som har det største datamaterialet, for årene 1988 til og med 1994. Figur 27 gir en oversikt over observasjonsfrekvens og måledyp for N og P. Det fremgår at observasjonsfrekvensen varierer en god del mellom stasjoner og år, det må tas i betraktning hvis en vil se på forskjellen mellom stasjoner statistisk. Materialet inneholder data fra alle stasjoner for N og P i april for alle år unntatt 1991, i dette året finnes bare data fra stasjon Å13 nærmest svenskekysten, og da med begrenset dypopløsning.





**Figur 26.** Kart over Skagerrak/Kattegat med SMHIs hydrografiske stasjoner (Å-snittet) markert.



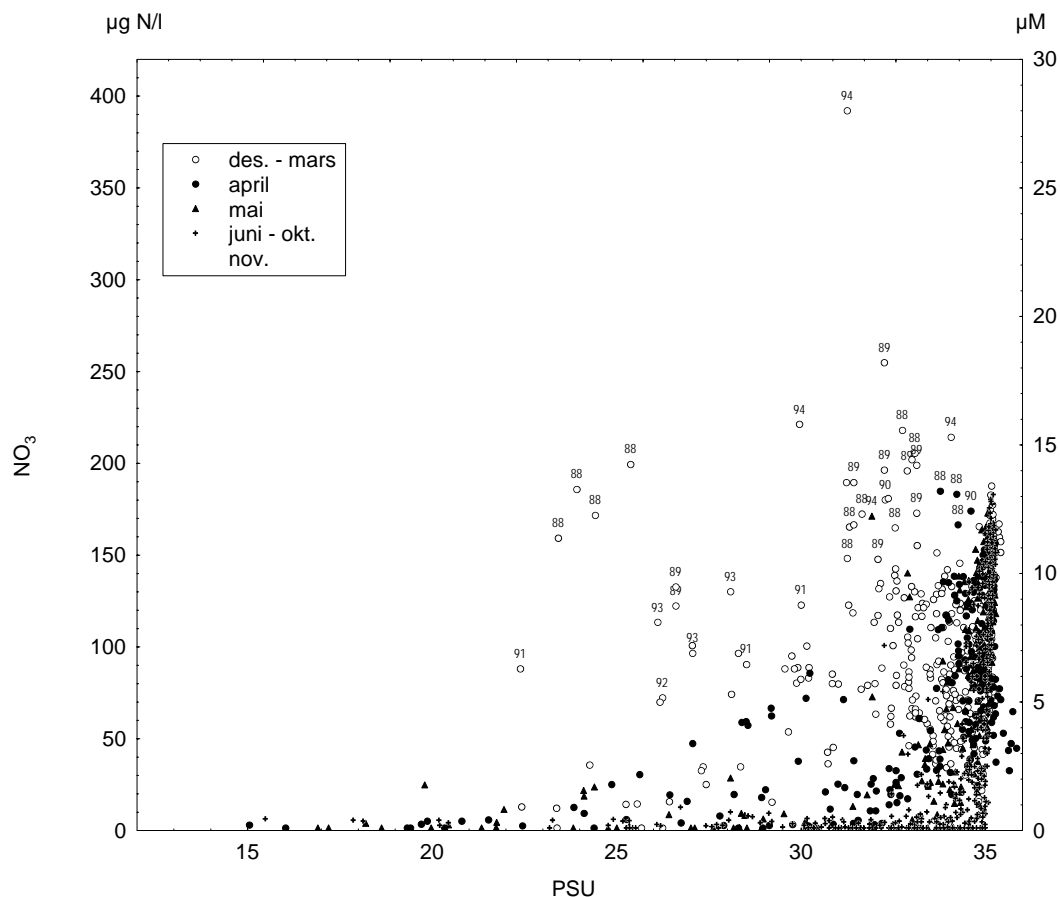
**Figur 27.** Oversikt over observasjonsfrekvens og måledyp for N og P i SMHIs datamateriale fra Skagerrak.

Det kan være hensiktsmessig å dele opp materialet etter salinitet og måned, og vise hva konsentrasjonene av N og P vil være i de forskjellige modell-lagene som er definert for uttak av verdier fra modellsimuleringene. Inndelingen i modell-lag gjøres ut fra tetthet, dette beskrives i kap. 10.4. Tabell 9 viser hvordan gjennomsnittlig salinitet i de fire tetthetsdefinerte lagene varierer i de faktiske resultatene fra modellen til Hackett et al. (1995) (se kap.11). Tabellen viser den inndeling i salinitetsintervaller som stemmer best med den tetthetsdefinerte inndelingen i lag ifølge modellkjøringene. Ved å bruke den samme inndeling på datamaterialet fra Skagerrak kan vi sette opp verdier som kan brukes som inngangsverdier i et stoffbudsjett for ytre Oslofjord. Dette budsjettet kan så sammenlignes med resultatet av kildebaserte beregninger av virkningen av langtransporterte næringsalter via Skagerrak.

**Tabell 9.** Inndeling av vannmasser i salinitetsområder som best stemmer overens med de tetthetsdefinerte lagene i ytre Oslofjord i DNMI's modellkjøringer.

Lag nr.	Tetthetsintervall ( $\sigma_t$ ) som definerer lagene, kfr. kap. 10.4.	Det salinitetsintervall (psu) som stemmer best med laginndelingen i modellkjøringene
1	<22	23.5 - 28.8
2	22 - 24	28.8 - 31.5
3	24 - 26.85	31.5 - 34.8
4	>34.3	34.8 - 36.2

For å se om det er mulig å spore påvirkning på vannmassene i Skagerrak om vinteren, har vi plottet nitrat-konsentrasjoner mot salinitet i figur 28. Vi ser at for de aller fleste datapunktene ligger nitrat-konsentrasjonene lavere enn de 140-170  $\mu\text{g N/l}$  (10-12  $\mu\text{M}$ ) vi kan regne som vanlige bakgrunns-konsentrasjoner, men det skiller seg ut noen avvikende høye verder opp mot 420  $\mu\text{g N/l}$  (30  $\mu\text{M}$ ).



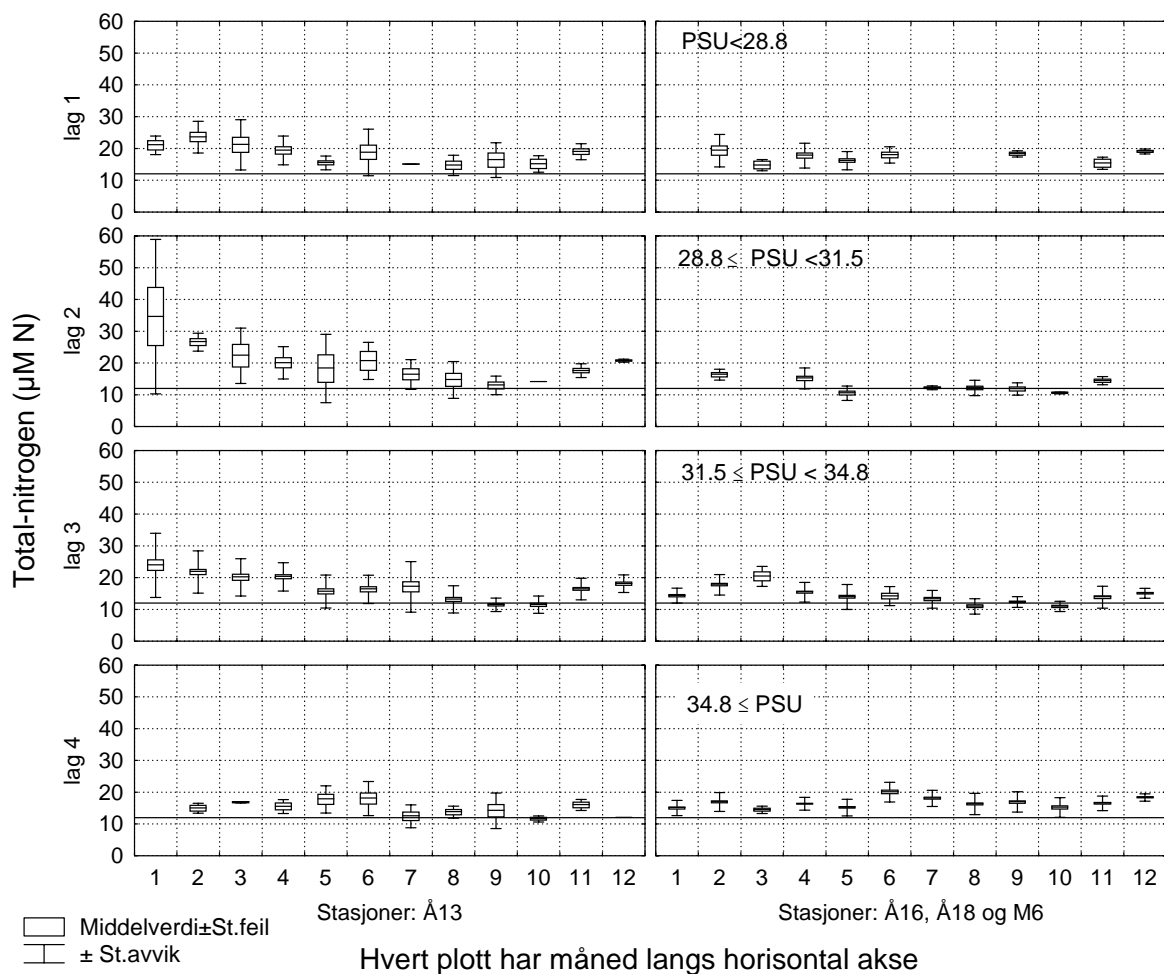
Årstid er vist ved ulike symboler. Årstall (88-94) er angitt for en del av observasjonene.

**Figur 28.** Nitrat-konsentrasjoner plottet som funksjon av salinitet i Skagerrak.

Figur 29 og figur 30 viser statistikk for konsentrasjoner av total-nitrogen og total-fosfor i Skagerrak. Stasjon Å13 nærmest svenskekysten avviker noe i vinterkonsentrasjoner sammenlignet med de andre stasjonene og er derfor skilt ut, mens det vises gjennomsnitt for de andre tre stasjonene.

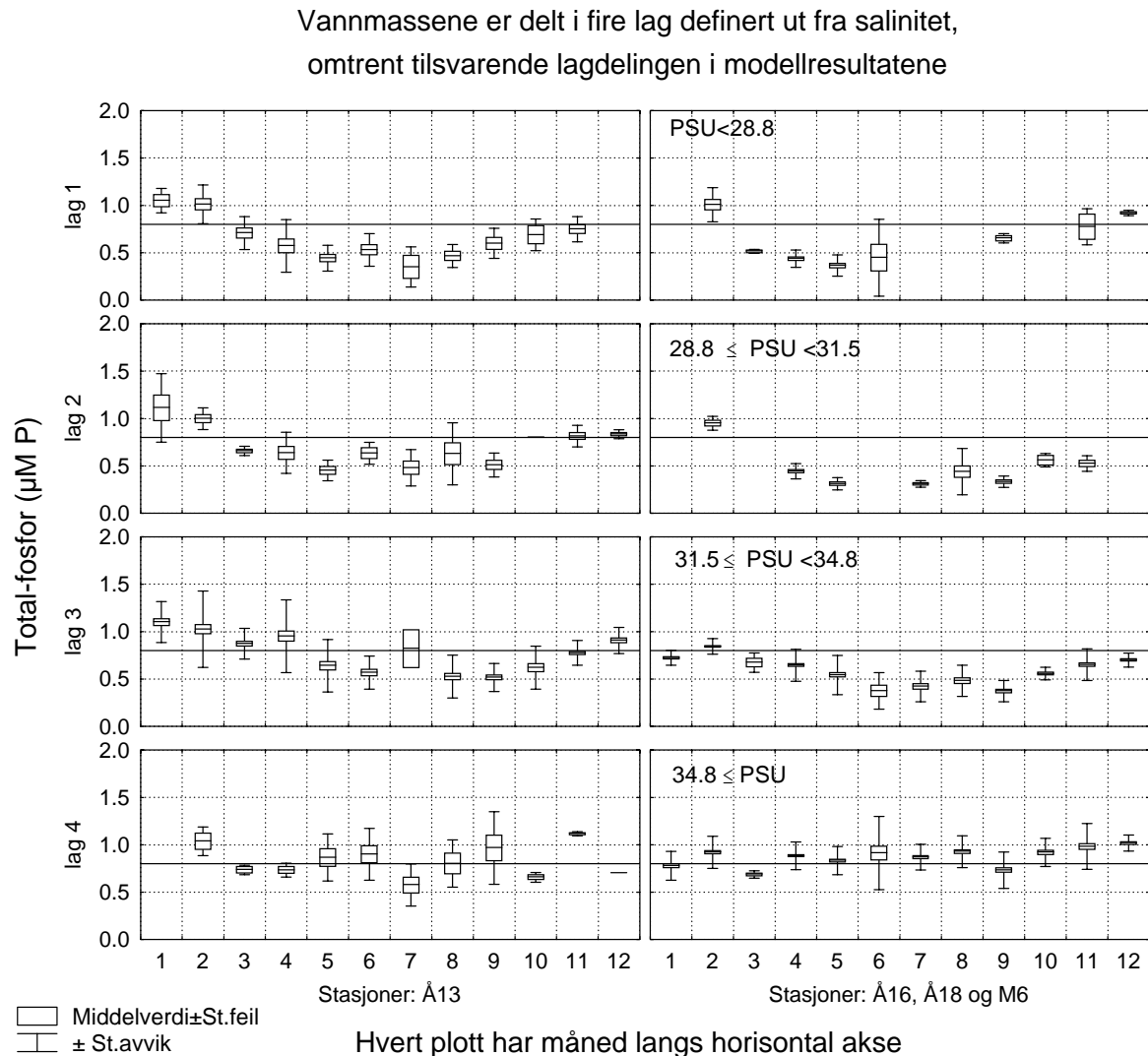
Totalkonsentrasjonene av nitrogen om vinteren er som regel mellom 10 og 20  $\mu\text{M}$  for alle lag, og som oftest er ca. 60 % av dette uorganiske løste næringssalter. Det forekommer også en del verdier opp mot 400-550  $\mu\text{g N/l}$  (30-40  $\mu\text{M}$ ) total-nitrogen, så og si bare på stasjon Å13 nærmest svenskekysten, men uorganiske konsentrasjoner øker da ikke tilsvarende, de holder seg nesten alltid under 200  $\mu\text{gN/l}$  (15  $\mu\text{M}$ ). I januar 1988 var total-konsentrasjonen av nitrogen opp mot 1000  $\mu\text{g N/l}$  (60-70  $\mu\text{M}$ ) ved salinitet 31-33 psu på stasjon Å13, men fortsatt bare med ca. 200  $\mu\text{g N/l}$  som uorganiske næringssalter. Vinterkonsentrasjonene av uorganisk N varierer ned til 30-45  $\mu\text{gN/l}$  (2-3  $\mu\text{M}$ ) også om vinteren, og avtar med minskende salinitet, fra typiske verdier 140-200  $\mu\text{gN/l}$  (10-15  $\mu\text{M}$ ) ved psu=30, ned til rundt 70  $\mu\text{gN/l}$  (5  $\mu\text{M}$ ) ved psu=20 til 25. Unntaksvis forekommer nitrat-konsentrasjoner så høye som 300-450  $\mu\text{g/l}$  (20-30  $\mu\text{M}$ ), høyest forholdsvis nær svenskekysten.

Vannmassene er delt i 4 lag definert ut fra salinitet, omtrent tilsvarende lagdelingen i modellresultatene



**Figur 29.** Statistisk fordeling av konsentrasjoner av total-nitrogen i Skagerrak.

To nitrogenkonsentrasjoner kan være aktuelle å bruke som mål på vannkvalitet i Skagerrak. For det første kan en se på konsentrasjonen av løst, biotilgjengelig N som ikke er tatt opp i plankton. Denne konsentrasjonen kan estimeres ved å addere til uorganisk N (nitritt+nitrat+ammonium) et tillegg på inntil  $2.3 \mu\text{M}$ , men slik at summen alltid er mindre enn total nitrogenkonsentrasjon. Med bakgrunn i undersøkelser av Kaas et al. (1994) antas dette tillegget å representere løst organisk N som er biotilgjengelig på 14 dagers tidsskala, men som ikke er tatt opp i biomasse. For det andre kan en se på andelen av total-konsentrasjonen av N som omfattes av relativt rask biologisk omsetning (dager - uker). Denne konsentrasjonen kan beregnes ved å addere til en anslått mengde biologisk bundet N satt til  $16 \cdot (P_{\text{tot}} - PO_4)$ , idet vi antar at restmengden av P representerer organisk stoff med N:P Redfield-forhold. Dette er selvsagt bare en røff indikasjon på total mengde N som deltar i den biologiske omsetningen.



**Figur 30.** Statistisk fordeling av konsentrasjoner av total-fosfor i Skagerrak.

Typiske vinterkonsentrasjoner (januar - april) av fosfor er stort sett innenfor 30-45  $\mu\text{gP/l}$  (1-1.5  $\mu\text{M}$ ) totalt, og med ca. halvparten som ortofosfat. Total fosforkonsentrasjon synker i middel nokså jevnt fra ca. 35  $\mu\text{g P/l}$  (1.1  $\mu\text{M}$ ) i januar til ned mot ca. 15  $\mu\text{g P/l}$  (0.5  $\mu\text{M}$ ) i april i de to øverste lagene, mens ortofosfat-konsentrasjonen er 10-15  $\mu\text{g P/l}$  lavere. Totalfosfor-konsentrasjonene mot slutten av vinteren i Skagerrak vil typisk være ca. 15-20  $\mu\text{g P/l}$  (0.5-0.7  $\mu\text{M}$ ), med ortofosfatkonsentrasjoner 10-15  $\mu\text{g P/l}$  lavere, men det er store variasjoner for gitt salinitet. Det kan se ut til at stasjon Å13 har høyere konsentrasjoner enn de andre stasjonene ved psu i området 31.5 til 34.8 (modell-lag 3), men dette kan tenkes å skyldes forskjeller i observasjonshyppighet for de forskjellige stasjonene. Ut fra undersøkelser av Kaas et al. (1994) kan det antas at det meste av P er biotilgjengelig eller bundet til raskt omsettelig organisk materiale, se kap. 8.2.2.

Ifølge NSTF 1993 har det atlantiske vannet som kommer inn i Nordsjøen typiske vinterkonsentrasjoner på 170  $\mu\text{gN/l}$  (12  $\mu\text{M}$ ) nitrat og 25  $\mu\text{gP/l}$  (0.8  $\mu\text{M}$ ) fosfat, hvilket kan regnes som bakgrunnskonsentrasjoner for Nordsjøen. Oksygenrikt dypvann i Skagerrak (>300 m) har stort sett 140-170  $\mu\text{gN/l}$  (10-12  $\mu\text{M}$ ) nitrat, silikatkonsentrasjoner omkring 5  $\mu\text{M}$  og ortofosfat-konsentrasjoner omkring 25  $\mu\text{gP/l}$  (0.8  $\mu\text{M}$ ). Konsentrasjonene varierer med oksygen på disse dypene. For fosfat og silikat øker konsentrasjonen noenlunde lineært med minskende oksygenkonsentrasjon.

Sammenlignet med slike bakgrunnsverdier og dypvannsverdier er det ingen stor økning av fosforkonsentrasjonene i Skagerrak. Derimot er det generelt en viss overkonsentrasjon av nitrogen. Overkonsentrasjonene er størst for stasjon Å13 nær svenskekysten.

### 8.2.2 Biotilgjengelighet av ulike N- og P-fraksjoner i Skagerrak og Kattegat

Kaas et al. (1994) har undersøkt biotilgjengelighet av oppløste nitrogen- og fosfor-forbindelser i de vannmasser som kommer inn i Kattegat fra Østersjøen. Det ble gjort med bioassay-forsøk over 14 dager, delvis med lagring av vann i mørke, dvs. med måling av vekst i heterotrofe organismer (bakterier), delvis med vekstforsøk på algekulturer hvor det også var bakterier tilstede. Forsøk ble gjort både uten nærings salttilsetninger, og med forskjellige kombinasjoner av N- og P-tilsetning.

Økningen av samlet mengde N og P som var biologisk bundet i bakterier eller alger (beregnet ut fra celltall for bakterier, målt som partikulært for alger) i løpet av forsøksperioden ble sammenlignet med nedgangen i uorganisk N og P. Det var i grove trekk en lineær sammenheng hvor økningen av biologisk bundet N i middel tilsvarte nedgangen i uorganisk N, men med et tillegg på mellom 30 og 45  $\mu\text{gN/l}$  (2-3  $\mu\text{M}$ ) som antas å være tatt fra organiske oppløste forbindelser. Dette var omtrent likt for bakterier alene og med både bakterier og alger tilstede. For P ble det ikke funnet noe signifikant opptak fra organiske løste forbindelser ved lagringsforsøkene, mens algeforsøkene tyder på et opptak av ca. 7  $\mu\text{gP/l}$  (0.23  $\mu\text{M}$ ) organisk løst P i algene over 14 dager.

Størrelsesfraksjonering viste at oppløst organisk N i vann fra Skagerrak og vestlige del av Østersjøen for det meste var lavmolekylære forbindelser som ikke er av terrestrisk opprinnelse. Partikler med molekylvekt  $<1\text{kD}^{\S}$  utgjorde henholdsvis 75 % av 185  $\mu\text{gN/l}$  (13.2  $\mu\text{M}$ ) og 92 % av 270  $\mu\text{gN/l}$  (19.2  $\mu\text{M}$ ) for vann fra de to områdene.

### 8.2.3 Mulig innvirkning fra regionale tilførsler på vannkvalitet i Skagerrak

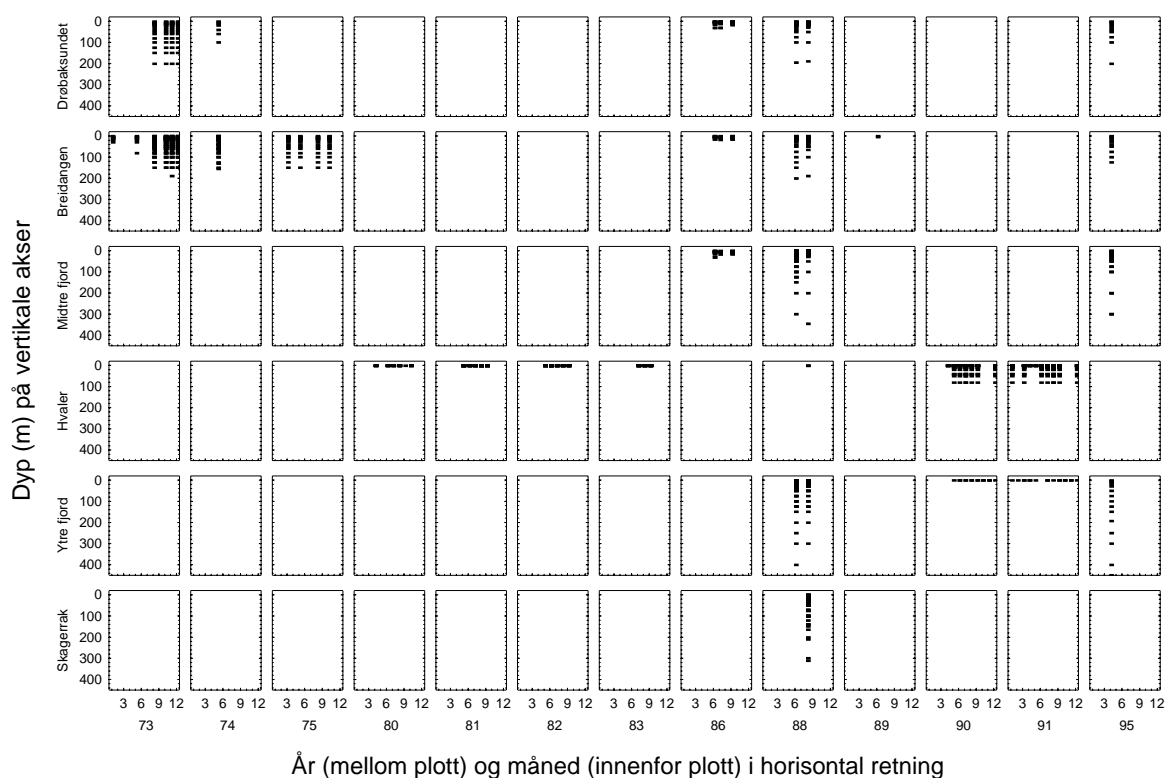
Samlede næringsstofftilførsler fra Danmark og Sverige direkte til Kattegat er ca. 70 kt N og 1.65 kt P, og til Skagerrak ca. 5.5 kt N og 0.115 kt P (Tabell 1, side 27). Det meste av dette kommer med elvene, og hhv. ca. 80 og 40 % av dette er målt som uorganiske næringsalter. Hvis dette fordeles på en midlere brutto gjennomstrømning i Kattegat på ca. 40.000  $\text{m}^3/\text{s}$ , vil det gi overkonsentrasjoner på ca. 60  $\mu\text{g N/l}$ , og 1.4  $\mu\text{gP/l}$ . Hvis vi tar i betraktning at utstrømningen er ujevn over året og at det er perioder med innstrømning eller lite utstrømning (Hackett et al. 1995), og at en god del av tilførslene også er ujevnt fordelt med doble utslippsrater for nitrogen om vinteren, virker det ikke urimelig at en kan få overkonsentrasjoner av nitrat på ca. 150  $\mu\text{g N/l}$  om vinteren i Kattegat bare pga. de danske og svenske utslippene til området. Forholdene her må antas å kunne påvirke deler av vannmassene i Skagerrak vesentlig under spesielle forhold. De svenske og danske utslippene kan derimot ikke påvirke i noe særlig grad middelkonsentrasjonene i gjennomstrømningen i Skagerrak, som ifølge NSTF (1993) er ca. 700,000  $\text{m}^3/\text{s}$ . Forhøyde nitratkonsentrasjoner forekommer i størst grad ved saliniteter omkring 31-34, og kan således stemme med vann fra Tyskebukta, men det kan ikke utelukkes at danske og svenske utslipp står for en viktig del av påvirkningen i området.

---

<sup>§</sup> kD : 1000 ganger massen til et deutron, dvs. kjernen i deuterium-atomet (1 proton + 1 neutron).

## 9. Hydrografiske og hydrokjemiske data fra ytre Oslofjord

Fra tidligere undersøkelser finnes et materiale som dekker alle deler av fjorden og alle årstider, men bare for ett eller to år av gangen, og ikke sammenhengende over et større tidsrom. Vi har ikke rukket å sammenstille alle eldre data i denne undersøkelsen, men har samlet en del av de data som finnes. Det datamaterialet vi har hatt tilgang til for N og P har litt ulikt omfang i de forskjellige deler av fjorden. Forekomst av data om N- og/eller P fordelt på geografiske områder, år, måned og dyp i det materialet som er brukt er vist i figur 31.



**Figur 31.** Oversikt over fordelingen av N- og P-data for ytre Oslofjord, geografisk, i dypet og over tid.

For Drøbaksundet og Breidangen omfatter materialet årene 1973-75 (kjernekraftundersøkelsen), 1986, 1988-89 og dessuten er det data fra april 1995. Data er fra 0-150 m dyp, og i hovedsak fra månedene mars-juni, august, samt oktober til desember. I tillegg er det noe data januar for 0-30 m dyp.

I midtre fjord (mellom Moss-Horten og Fulehuk - Missingen) er dataene hovedsakelig fra 1988, men det er også noe fra 1986 og fra våren 1995. De dekker månedene april, juni og august over dybdeintervallet 0 - 300 m, supplert med overflatedata for januar, mars, juni, september og desember.

Fra Hvaler/Singlefjorden har vi data fra 1980-83, noe fra 1988 og ellers fra 1990-91. De fleste data er fra månedene januar, mars - september, samt desember, dessuten er det noe fra oktober.

Fra Færder er det data fra 1990-91 fordelt på alle årets måneder, ellers i det ytre åpne fjordområdet er det data fra juni og august i 1988. Det finnes også data fra det nordlige Skagerrak fra et tokt i august 1988.

Disse data er tidligere analysert i andre sammenhenger. I denne rapporten brukes de delvis til å velge hvordan den vertikale inndelingen av vannmassene skal gjøres (kap. 10.4), delvis ser vi på dem for å vurdere innvirkningen av norske tilførsler kontra påvirkningen utenfra (kap. 12.3).



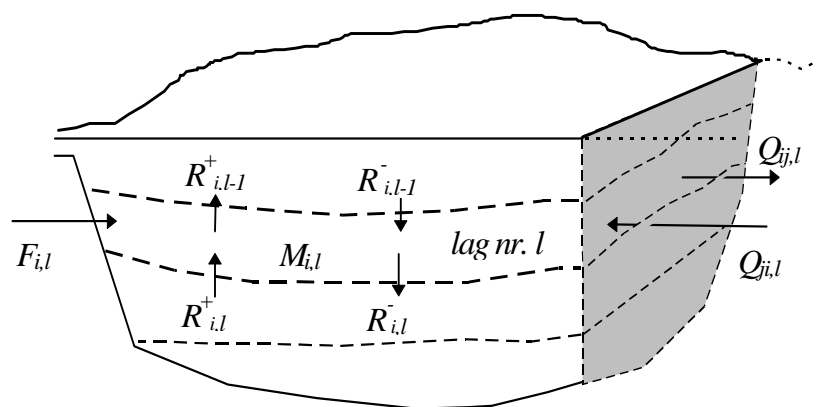
## 10. Metode for beregning av stoffbudsjetter for ytre Oslofjord

I dette kapitlet drøftes de beregningsmetodene som er brukt senere i kap. 11 til å beregne N- og P-budsjetter for ytre Oslofjord.

### 10.1 Aggregering av resultater fra ECOM-3D

Som nevnt i kap. 3.3 var det nødvendig å aggregere resultater fra simuleringen med en mye grovere geografisk og vertikal oppløsning til bruk for slike budsjetter. For dette formålet ble ytre Oslofjord delt inn 16 geografiske områder (“bokser”) etter faste grenselinjer, og hvert område betraktes som bestående av 4 lag med grenseflater definert av bestemte tetthetsverdier, dvs. med variable tykkelser. Oppdelingen er nærmere beskrevet i kap. 10.4 og 10.5. Med 1 times mellomrom under simuleringen ble tilstanden tatt vare på i form av samlet mengde eller volum innenfor hvert delvolum, både for vann totalt og for de ulike merkede vanntypene, og dessuten ble det akkumulert toveis transportverdier mellom alle delvolumer som sto i forbindelse med hverandre. Nærmere spesifisering av hvordan resultatene er tatt ut av ECOM-3D er gitt i vedlegg Vedlegg C. , og i Hackett et al. (1995).

Næringsstoffbudsjettenes beregnes ved hjelp av en enkel dynamisk boksmodell for de hovedvannmassene som er definert. Figur 32 viser hvilke elementer som inngår i stoffbudsjetten for ett lag innenfor en boks. Beregningen gjøres på prinsipielt samme måte for volum, dvs. total mengde vann (konsentrasjon  $\equiv 1$  pr. def.), for mengde av de forskjellige merkede vannmassene og for konsentrasjon av N og P. Fremstillingen her gjelder generelt, anvendelsen på de forskjellige komponentene drøftes nedenfor. Vi tenker oss altså at alle størrelsene i figuren gjelder en bestemt “substans” (vann, et av sporstoffene, eller konsentrasjon av næringsstoff N eller P). Det kunne angis med en indeks  $k$  for type substans på alle størrelsene. En slik indeks brukes eksplisitt i kap. 10.2, men er her underforstått.



Indeks  $k$  for stoff (substans) er underforstått i alle størrelsene i figuren

**Figur 32.** Generell skisse av elementene i vann- og sporstoffbudsjetten for ett lag innenfor et geografisk område (en boks).

En mengde innenfor lag  $l$  i boks  $i$  betegnes generelt  $M_{i,l}$ . Budsjettberegningen tar sikte på å følge denne størrelsen som funksjon av tid ved å summere tilførsler og transporter inn i og ut av boksene.

Når det gjøres for både total volum og de forskjellige komponentene, kan konsentrasjoner av merkede vannmasser og N og P beregnes som grunnlag for konklusjoner om forurensningsvirkninger.

Mellom lagene innenfor en boks går det transporter. Ser vi på en grenseflate mellom lag  $l-1$  og  $l$ , vil det noen steder gå en fluks ned gjennom den tetthetsdefinerte flaten, andre steder oppover. All fluks nedover integreres over de aktuelle delene av flaten og den resulterende transporten, betegnet  $R_{i,l-1}$ , har enhet mengde/tid. Fluks oppover integreres over resten av flaten og den samlede transporten oppover betegnes  $R_{i,l-1}^+$ .

Det går også fluks gjennom de faste grenseflatene mellom bokser som ligger inntil hverandre. Fluksen er definert på grenseflaten, og går derfor bare mellom lag med lik indeks, dvs. som omfatter samme tetthetsintervall. Fluksene integreres separat for hver retning på samme måte som de vertikale fluksene, og vi får to verdier, en for samlet transport i hver retning. For to bokser  $i$  og  $j$  lar vi  $Q_{ij,l}$  betegne samlet transport fra  $i$  til  $j$  av vann med tetthet som tilhører lag  $l$ . Den motsatt rettede transporten er  $Q_{ji,l}$ . En boks vil kunne stå i direkte kontakt med flere andre bokser, og vi må da ta i betraktning flere slike transportpar for å beregne budsjett for boksen. Noen bokser står også i kontakt med den ytre randen til modellområdet (Skagerrak), og tilsvarende transporter må da beregnes også her.

Tilførslene fra land til boks  $i$ , lag  $l$ , betegnes  $F_{i,l}$  og har også dimensjon mengde/tid. Mye av tilførslene vil stort sett gå til lag 1, men fordi lagtykkelsen varierer med tid (og det tetthetsdefinerte lag 1 ikke alltid er til stede), og fordi den tredimensjonale simuleringsmodellen fordeler elveutløp vertikalt over et visst dyp, vil de kunne gå til andre lag. Når det gjelder N og P skal de dessuten inkludere dykkede utslipp fra renseanlegg. Ved budsjettberegningen er de samme data for ferskvannstilførsler brukt som i ECOM3-D, med månedsmidler syklisk lineærinterpolert i tid. Ferskvannet (og "sporstoff") fordeles til hvert tidspunkt vertikalt ut fra vannbalansen i transporter og volumendringer, slik at det i størst mulig grad blir balanse, med prioritet på å oppfylle balansen i overflatelaget, se vedlegg Vedlegg D. punkt 1.

ECOM-3D gir verdier både for mengder  $M$  og transportledd  $Q$  og  $R$  for vann totalt (dvs. volum), salt (som sporstoff) og merkede vannmasser, som øyeblikksverdier hver time. Budsjettberegningen tar utgangspunkt i disse verdiene, og bruker dessuten eksakt de samme inngangsdata som ECOM-3D til å beskrive ferskvannstilførslene ( $\sum_l F_{i,l}$ ) innenfor modellområdet. Fordelingen på lagene gjøres som beskrevet nærmere i vedlegg Vedlegg D. side 138.

Det må påpekes at noen  $M_{i,l}$  kan være  $\equiv 0$  i hele eller deler av en simulering, dvs. at ikke alle områder nødvendigvis har vann innenfor alle tetthetsintervallene. En kan også ha transporter  $Q_{ij,l}=0$  over en kontaktflate  $ij$  selv om både  $M_{i,l}$  og  $M_{j,l}$  er  $>0$ , kfr. vedlegg Vedlegg D. side 141.

## 10.2 Skissering av beregningsmetoder for N- og P-budsjetter

Det er brukt to ulike metoder for å beregne N- og P-budsjetter. Metodene er beskrevet i de to etterfølgende underkapitler, og resultatene er beskrevet hhv. i kap. 12.1 og 12.2.

### 10.2.1 Direkte bruk av konsentrasjon av merkede vanntyper

Den første metoden består i å bruke realistiske verdier for N- og P-innhold i de ulike merkede vannkildene sammen med beregnede/simulerte konsentrasjoner av vann fra disse kildene i ytre Oslofjord. Vi bruker da de mengdene  $M_{i,l,k}$ , gitt direkte av ECOM-3D som tidsserier. Indeksen  $k$ , som var det var underforstått i forrige avsnitt, angir nå eksplisitt de ulike ferskvannskildene.

For lag  $l$  innenfor boks  $i$  beregner vi bidraget  $C_{i,l}$  til konsentrasjonen av et næringsstoff som

$$C_{i,l}(t) = \frac{\sum_k M_{i,l,k}(t) \cdot c_k}{V_{i,l}(t)} \quad (4)$$

hvor indeks  $k$  står for de ulike merkede vanntypene.  $M_{i,l,k}$  er mengden av vanntype  $k$ , altså et delvolum, mens totalt volum (gitt som mengde av ECOM-3D) betegnes  $V_{i,l}$  ( $\equiv M_{i,l,0}$ ). Utgangskonsentrasjon av konsentrasjonen av næringsstoff i ferskvannskilde nr.  $k$  betegnes  $c_k$ . Størrelsene  $M_{i,l,k}$  og  $V_{i,l}$  er gitt som tidsserier fra modellkjøringen, mens vi bruker passende konstanter for  $c_k$ , valgt ut fra de data om de ulike kildene som er presentert i kap. 6 og 7. Hensikten med beregningen er å kvantifisere den mulige virkning av ulike ferskvannskilder ut fra hvor mye av vannet derfra som finnes i ytre Oslofjord.

### 10.2.2 Beregning av transport-budsjett ut fra volumtransporter og tilførsler

Den andre beregningsmåten består i å bruke tidsseriene for både volumer og vanntransporter til å integrere virkningene av lokale N- og P-utslipp. Beregningen foregår som en integrasjon i tid, hvor endring i mengde av N og P innenfor hvert delvolum akkumuleres som virkningen av tilførsler og N- og P-transporter mellom delvolumene og mellom modellområdet og randen. Transportene beregnes til et hvert tidspunkt ved volumtransportene gitt av ECOM-3D multiplisert med de N- og P-konsentrasjoner integrasjonen har gitt frem til da, dvs. at det er snakk om numerisk integrasjon av et sett av differensialligninger som i prinsippet kan skrives:

$$\frac{dM_s}{dt} = \sum_r \text{Volumfluks}_r \cdot c_r \quad (5)$$

hvor  $M_s$  nå generelt betegner mengden av ett av stoffene innenfor et delvolum  $s$ , summen over indeks  $r$  angir generelt de volumstrømmer som går ut og inn av delvolumet, og  $c_r$  er konsentrasjoner av stoffet i disse strømmene, beregnet som funksjon av akkumulerte mengder og volumer. Den mest nærliggende måten å beregne  $c_r$  på er å bruke forholdet mellom mengde av stoffet og vannvolumet i det delvolum transporten går ut av, dvs. som  $M_s/Volum_s$  i alle transportert ut av delvolum  $s$ , og tilsvarende forhold i de nabovolumer som er involvert for de strømmene som går inn i delvolumet.

Derved kan det beregnes hvordan tilførslene med Glomma og Dramselva og andre lokale tilførsler, bl.a. fra renseanlegg, bidrar til å øke N- og P-konsentrasjoner i ytre Oslofjord for ulike utslippsscenarioer. Bakgrunnskonsentrasjoner i det vannet som kommer inn i systemet utenfra settes ut fra data for Skagerrak (kap 8.2), dvs. at konsentrasjoner i ulike ferskvannskilder i andre land nå ikke lenger inngår direkte. Disse kildene inngår i stedet indirekte gjennom den virkning de har på observerte verdier i Skagerrak.

I vedlegg Vedlegg D. , side 138ff er det forklart nærmere hvordan beregningen gjøres rent teknisk. Der er også drøftet et par problemer som måtte løses for å få beregningen til å fungere. For det første var det visse problemer forbundet med beregningen av de vertikale transportene i ECOM-3D, som gjorde de ikke var helt riktige (Hackett et al. 1995). For det andre var transporttallene var tatt ut som øyeblikksverdier, og representerte ikke ekte gjennomsnitt over de tidsintervallene de representerte.

Når det gjelder vertikale transport  $R$  mellom lagene, ble det som forklart i vedlegget valgt å basere beregningen på volumbalanse, ved at netto transport ble satt slik at avviket mellom netto transport og volumendring summert over alle fire lag blir jevnt fordelt på alle fire lag. For å få en viss vannutveksling ble det lagt inn en toveis transport (utveksling) i tillegg som var 50 % av nettotransporten.

For å få bukt med problemet med at transportene er gitt som øyeblikksverdier og derfor ikke stemmer med mengdeendringene, ble integrasjonsprosessen modifisert noe. Totalt vannvolum integreres i tid

parallelt med mengdene N og P og sammenlignes med "sant" volum fra ECOM-3D. Dersom integrert volum på et tidspunkt er mindre enn "sant" volum, reduseres alle transporter ut av delvolumet tilsvarende, og hvis integrert volum skulle bli  $<0$  settes alle transporter ut av volumet til 0. Ved hjelp av denne korreksjonen ble det oppnådd å holde avvikene innenfor visse grenser, stort sett slik at avviket i volum lå godt innenfor en faktor 2 den ene eller andre veien. Se vedlegg Vedlegg D. , side 138ff for en nærmere forklaring av dette.

Det ble ellers underveis i prosjektet prøvd andre løsninger for å forbedre estimatene, med kalibrering av stofftransporter ut fra forholdet mellom vanntransporter og transport av merket vann og salt, se vedlegg 4, side 141. Justeringen innebar bruk av vektete gjennomsnitt av konsentrasjon i de to involverte delvolumene med vekt tall kalibrert ut fra transporter av merkede vanntyper. Det ble til slutt valgt å ikke bruke noe slik justering.

### **10.3 Drøfting av noen metodiske problemer ved bruk av resultater fra detaljerte sirkulasjonsmodeller i enkle massebudsjetter**

Når massebudsjettene baseres på resultater fra en finmasket 3D modell akkumulert til større volumer eller tverrsnittsarealer, er det en del faktorer som må tas i betraktning ved vurderingen av hvor godt resultatene representerer virkeligheten.

Transport av vann gjennom et avgrenset vannvolum vil delvis være advektiv, dvs. som et varig transportmønster i forhold til betraktet tidsrom, med innstrømning noen steder og utstrømning andre steder. Her bidrar også de lokale ferskvannstilførslene som setter opp en estuarin sirkulasjon. Strømningsmodellene vil direkte beskrive dette med den rom- og tidsoppløsning som gjelder for simuleringen.

I tillegg vil det foregå en utveksling av vannmasser av diffusiv karakter, dvs. som skiftende strømmer i tid på et gitt sted, med større og mindre virveldannelser som har et tilfeldig preg og over tid gir blanding av vannmasser. Slike strømmer bidrar til netto stofftransport dersom det er konsentrasjonsgradienter.

Oppdelingen i advektiv og diffusiv (turbulent) strøm er avhengig av hvilken tidsoppløsning og romoppløsning systemet beskrives med. Tidevannsvexlinger vil f.eks. være advektiv transport hvis tidsoppløsningen er på en time, mens den må behandles som et diffusivt bidrag dersom en midler transportene over ett eller flere døgn. Generelt kan en si at de diffusive transportene er de transporter som ikke kan beskrives direkte innenfor den tids- og rom-oppløsning som brukes i simuleringen. De må i stedet parametriseres som friksjonskoeffisienter (for strømfeltet) og diffusjonskoeffisienter (for stoffkonsentrasjoner).

Når en beskrivelse av transporter med forholdsvis fin tids- og rom-oppløsning skal sammenfattes i en forenklet beskrivelse med akkumulerte transporter over større tverrsnittsarealer og/eller lengre tidsrom, må virkningen av skiftende transporter og variasjoner i transporten på liten skala ivaretas som diffusiv transport dersom en skal få et riktig resultat for massetransporter.

Netto transport av næringssalter ut av et gitt avgrenset system, som ytre Oslofjord, må balansere de lokale tilførslene over tid (minus fjerning ved permanent sedimentering og denitrifisering). Netto transport ut er alltid gitt som akkumulert forskjell mellom transport inn i systemet med inngående strømmer og transport ut med utgående strømmer. De lokale tilførslene av næringssalter vil derfor direkte kunne regnes om til volummidlet endring av konsentrasjon i utgående vann i forhold til innstrømmende vann. Hvis vi går ut fra passiv transport, og har separate tall for akkumulert volumtransport i hver retning, er dette en eksakt omregning uansett hvordan modellresultatene er midlet i tid og over areal. Dette er imidlertid ikke i seg selv nok til å gi et dekkende bilde av situasjonen selv under disse forutsetningene.

For det første gir beregningen bare et bilde av konsentrasjonsendringer i utstrømmende vann i forhold til innstrømmende, og gir ikke noe bilde av konsentrasjonsendringene lenger inne i det systemet en betrakter. For å beregne dem, må en se på transporten mellom de ulike delvolumene innenfor systemet på samme måte som mellom systemet og omgivelsene. Det er nettopp dette en sirkulasjonsmodell med geografisk oppløsning gjør, og det vil derfor være mest naturlig å legge konsentrasjonsberegninger som en integrert del av modellen hvis en ønsker et dekkende bilde av en differensiert effekt fordelt over vannmassene i systemet.

For det andre gjelder beregnet konsentrasjonsendring bare i forhold til det en har i de inngående strømmene, og gir ikke nødvendigvis et totalt bilde av den reelle effekten. De inngående strømmene vil i alminnelighet inneholde rester av de lokale tilførslene, og det er altså en positiv tilbakekobling som gjør at den totale effekten blir større. Hvis en kan estimere i hvor stor grad inngående strømmer er påvirket av utgående strømmer, kan den reelle påvirkningen estimeres. En må da generelt gjøre betraktninger av blandingsforhold og oppholdstider for et større randområde utenfor det området en setter opp massebalanse for. I dette tilfelle ville det være naturlig å betrakte Skagerrak som et slikt randområde, og vurdere i hvor stor grad lokale tilførsler til ytre Oslofjord setter preg på vannmassene der, og påvirker konsentrasjonene i volumtransporten inn i ytre Oslofjord igjen. Imidlertid tyder både strømmålinger og modellresultater såvel fra prosjektene i 1995 som fra tidligere undersøkelser på at vannmassene i de ytre deler av ytre Oslofjord (dvs. sørvest for linjen Færder - Torbjørnshjørn) har kort oppholdstid, slik at dette ikke skulle være noe stort problem.

Å sette opp forenklete stoffbudsjetter ut fra akkumulerte volumtransporter beregnet av sirkulasjonsmodellen med en grov, mer boksvist inndeling av vannmassene, kan bare bli dekkende i spesielt enkle tilfeller, der en har kraftig begrensende transportvernsnitt. Da vil det være klart definerte transporter med god blanding i mottagende volumer, slik at gradienter innenfor hvert hovedvolum er av underordnet betydning, og det er liten grad av direkte tilbakeføring av strømmer. I slike tilfeller er det imidlertid heller ikke behov for å bruke finmaskede sirkulasjonsmodeller for å analysere hovedtrekkene i strømmønsteret.

Jo grovere oppløsning en velger for det advektive strømbildet, jo mer av strømmene må beskrives som diffusiv blanding. Hvis derfor modellresultatene skal integreres til akkumulerte strømmer over større arealer eller over lengre tidsrom, bør det inngå estimerer for den diffusive virkningen av de transporter som beregnes av modellen, men ikke løses opp i de akkumulerte resultatene, slik at det kan tas hensyn til ved stoffbudsjettene.

En mulighet til å forfine analysen noe vil være å supplere den boksmessige budsjettberegningen med beregning av gradienter ut fra analytiske løsninger som gir variasjon innenfor hver boks, f.eks. bruke endimensjonale løsninger av diffusjonsligningen for å gi et grovt bilde av variasjon i dominerende strømreretning innenfor et større volum.

Siden modellene i tillegg gir et mål på hvor stor innflytelse de ulike kildene har i forskjellige deler av fjorden (f.eks. andel vann fra Tyskebukta eller Østersjøen som konsentrasjon fra 0 til 1), kan oppgaven forenkles, idet en konsentrasjon for passive stoffer da kan beregnes på hvert avgrenset volum som en lineær kombinasjon av de forskjellige tilførslene. Når det gjelder å skille mellom lokale norske tilførsler og langtransporterte tilførsler generelt, kan en del oppnås her bare ved å utnytte saltkonsentrasjonene, som allerede inngår som en integrert del av modellen. Det skulle i prinsippet også være mulig å bruke konsentrasjoner som er resultat av finmasket simulering til å kalibrere diffusiv virkning av transporter akkumulert som toveis transport akkumulert over grenseflatene og som regnes å gå mellom de involverte volumene med full og øyeblikkelig innblanding. Dette har ikke vært mulig i dette prosjektet pga. begrenset nøyaktighet og konsistens i modellresultatene som beskrevet i kap. 10.2.2 og vedlegg 2. Det vil derfor knytte seg en del usikkerhet til resultatene. En sammenligning mellom budsjettberegnete og direkte gitt konsentrasjoner av ferskvann fra Dramselva og Glomma i kap. 12.5 viser at resultatet tildels stemmer ganske bra, men at det særlig for de indre delene av ytre Oslofjord, dvs. i Breidangen, kan være et systematisk avvik i retning av at de budsjettberegnete konsentrasjonene pga. norske tilførsler er for lave med en faktor 2.

---

## 10.4 Vertikal oppdeling av vannmassene

Målet er som nevnt foran å dele vannmassene i noen få lag, slik at vi mest mulig effektivt får skilt ut lag som har ulike roller i transport og omsetning av næringssalter. Det er naturlig å søke å knytte den vertikale oppdelingen av vannmassene til tetthet eller salinitet.

En oppdeling basert på tetthet vil i prinsippet i stor grad kunne gjenspeile reell lagdeling, dvs. utvikling av separate lag med begrenset vannutveksling mellom, fordi forskjeller i tetthet nettopp er både kan være et resultat av og en årsak til begrenset vannutveksling.

Salinitet har den fordel at det med stor nøyaktighet er en konservativ tracer<sup>1</sup> som i stor grad kan brukes til å identifisere vannmasser over tid, og at det er den viktigste egenskapen ved vannet som regulerer lagdelingen gjennom sin virkning på tettheten. Temperatur har selvsagt også betydning for tettheten, men er en sekundær faktor i fjorder og estuarområder.

I praksis har det antagelig ikke så mye å si om en velger salinitet eller tetthet, idet raske og store temperaturendringer stort sett bare vil forekomme i det øverste laget, slik at det å bruke tetthet bare vil si å bruke salinitetsgrenser som endres langsomt over tid. Uansett vil en vertikal oppdeling etter tetthet eller salinitet gi en beskrivelse som bedre er i stand til å følge vannmasser over tid enn om en skulle skille etter faste dybde-nivåer. Den numeriske modellen har faste nivåer, men større vertikal oppløsning. Når vi aggregerer resultatene i noen få lag blir det ennå viktigere å ha volumdefinisjoner som følger vannmassene også når de flytter seg til andre dybdeintervaller i forbindelse med vertikale forskyvninger eller horisontal transport.

En alternativ vertikal inndeling etter faste dyp har også fordeler, særlig når det gjelder å avgrense det laget hvor det er nok lys til primærproduksjon, og fordi det tillater valg av laggrenser etter topografiske forhold, f.eks. i henhold til terskeldyp. Dette drøftes på side 82.

Gitt valget av tetthetsdefinerte lag er det flere faktorer å ta hensyn til:

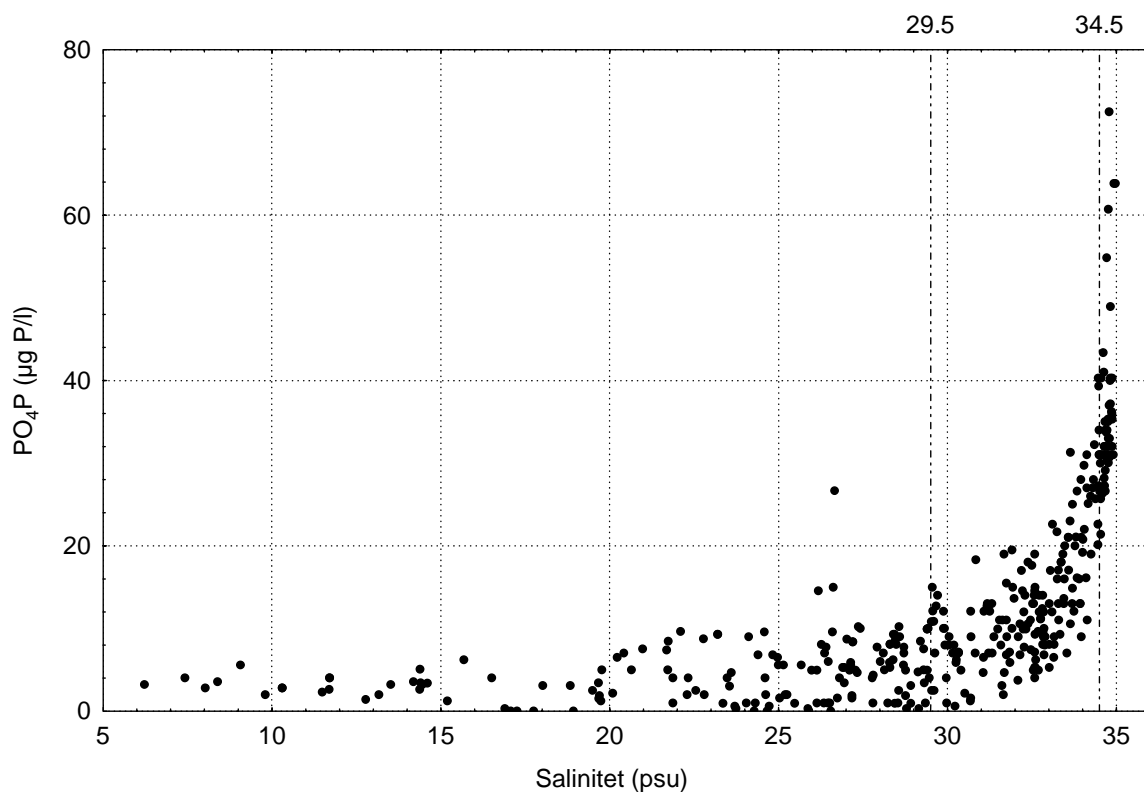
- Et viktig kriterium på en avgrensning er hvordan restinnholdet av uorganiske næringssalter varierer med dypet, eller rettere sagt med salinitet (eller tetthet). Primærproduksjonen foregår i overflate-laget, og bruker i sommerhalvåret stort sett opp de tilgjengelige reserver av næringssalter, mens næringssaltene frigjøres ved nedbrytning i dypere lag. Restkonsentrasjon av næringssalter i sommerhalvåret som funksjon av salinitet gir derfor grunnlag for å skille ut et overflatelag definert som det laget næringssaltene blir brukt opp i, enten det skjer ved primærproduksjon fordelt over hele laget, eller ved at vertikal blanding frakter næringssalter opp til den sonen nær overflaten hvor det meste av primærproduksjonen skjer.
- Det har også betydning hvordan avgrensningene fungerer i forhold til fysisk dyp, fordi vann i ulike dyp har forskjellig oppholdstid bl.a. på grunn av topografiske begrensninger (terskler, innsnevring). Det kan derfor være naturlig å se på statistikken for tetthet eller salinitet som funksjon av dyp når en skal dele inn vannmassene vertikalt.
- Endelig er det fornuftig å sammenholde resultatet med hvilke inndelinger (etter salinitet og temperatur) som er gjort tidligere, både for Oslofjorden og for Skagerrak-Nordsjøen.

For næringssalter avgrensnes vurderingen til perioden juni - oktober og det er bare sett på ortofosfat og nitrat, som det foreligger en del data for, og som finnes i markert større konsentrasjoner i dypvannet enn i overflatelaget om sommeren. Data fra stasjonene Færder, Nf1, Nh1, Nj1, No1, Ok1, On1, Oo1, Pj1, Pk1, Pk2, R11, Vn1, Æq1 er tatt med her. Silikat og ammonium finnes det mye mindre data for,

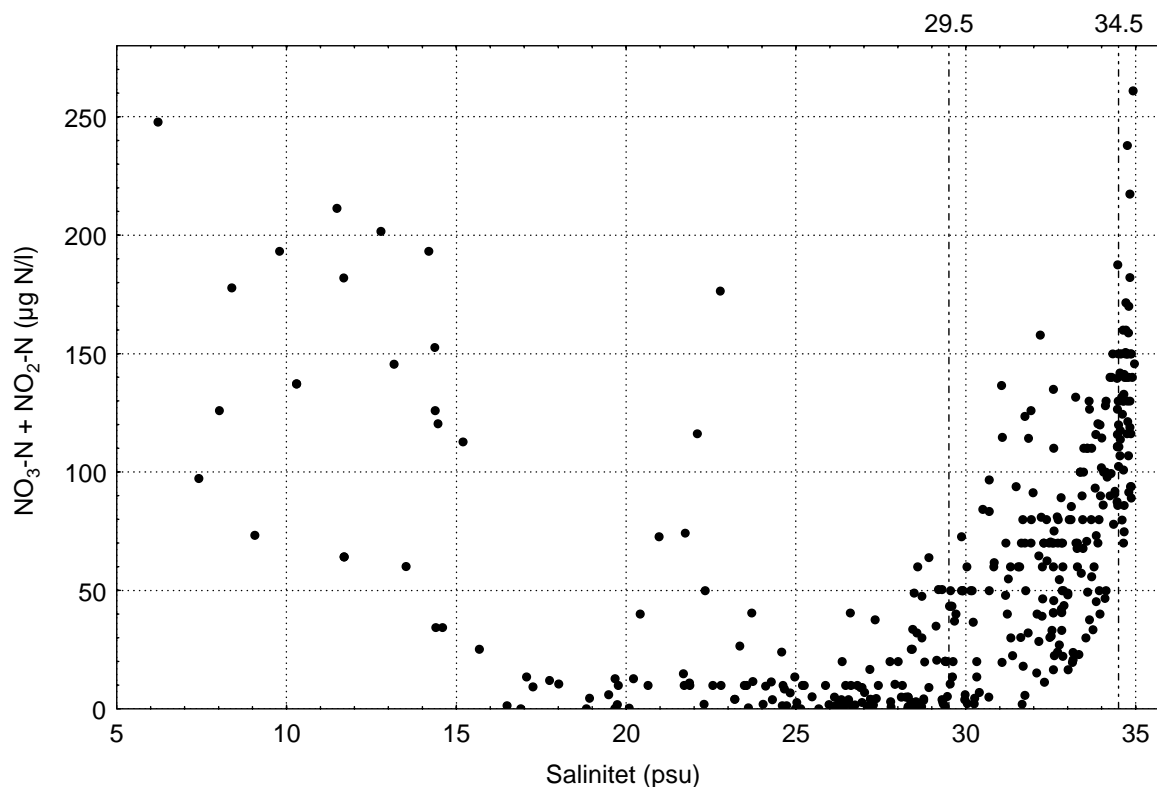
<sup>1</sup> Med unntak av fordampning og isfrysing i overflaten

og iallfall ammonium gir heller ikke et så klart bilde av lagdelingen, siden konsentrasjonene her i stor grad er knyttet til intern resirkulering av næringsstoff i det produktive laget.

Figur 33 og figur 34 viser observerte konsentrasjoner av ortofosfat og nitrat som funksjon av salinitet fra alle de nevnte stasjonene. Bildet blir omtrent tilsvarende dersom en bruker tetthet i stedet for salinitet. Figurene er statistiske oppsummeringer som viser sammenheng med salinitet generelt, både knyttet til variasjon med dyp og knyttet til variasjon i tid på gitt dyp. Data for alle dyp er med i figurene.



**Figur 33.** Fosfatkonsentrasjon som funksjon av salinitet i ytre Oslofjord, juni-oktober.



**Figur 34.** Nitrat-konsentrasjon som funksjon av salinitet i ytre Oslofjord, juni-oktober.

De to figurene viser i hovedsak det samme bildet mht. en nedre avgrensning av overflatelaget, idet næringssaltkonsentrasjonene rutinemessig blir brakt ned i lave verdier for salinitet < 29.5 psu<sup>1</sup>. Basert på nitrat kunne en også velge en grense på 27-28 psu for et overflatelag som nesten alltid har lave næringssaltkonsentrasjoner. Både for nitrat og fosfat flyttes variasjonsområdet for konsentrasjonene mot høyere verdier med økende salinitet over denne grensen, til maksimale verdier nås for salinitet omkring 34-35.5. I området 29.5-34.5 psu forekommer tidvis lave næringssaltkonsentrasjoner, mens det for saliniteter >34.5 alltid er høye verdier.

Ved minskende salinitet ned mot 10 øker nitrat-konsentrasjonene igjen til ganske store verdier, mens fosfatkonsentrasjonene heller avtar videre når saliniteten synker. Dette gjenspeiler lokal ferskvannspåvirkning, idet elvevann har svært høyt forhold mellom nitrat og løst ortofosfat i forhold til det en finner i marine områder.

Ifølge Baalsrud og Magnusson (1990) er saliniteten på fornyingsvannet til dypere lag i Breidangen typisk omkring 33 psu, med temperatur >10°C. For oppstilling av næringssaltbalanser regner de med dypvann av midlere salinitet 32 psu som fortynningsvann i den estuarine sirkulasjonen.

Når det gjelder vannmassene i Skagerrak kan vannmassene ifølge Aure et al. (1995) deles som vist i tabell 10. Omtrent den samme klassifiseringen er også gitt i NSTF 1993. I kolonnen lengst til høyre er antydnet i hvilket dypintervall en vanligvis finner vann av angitt salinitet i ytre Oslofjord, basert på det som har vært tilgjengelig av data.

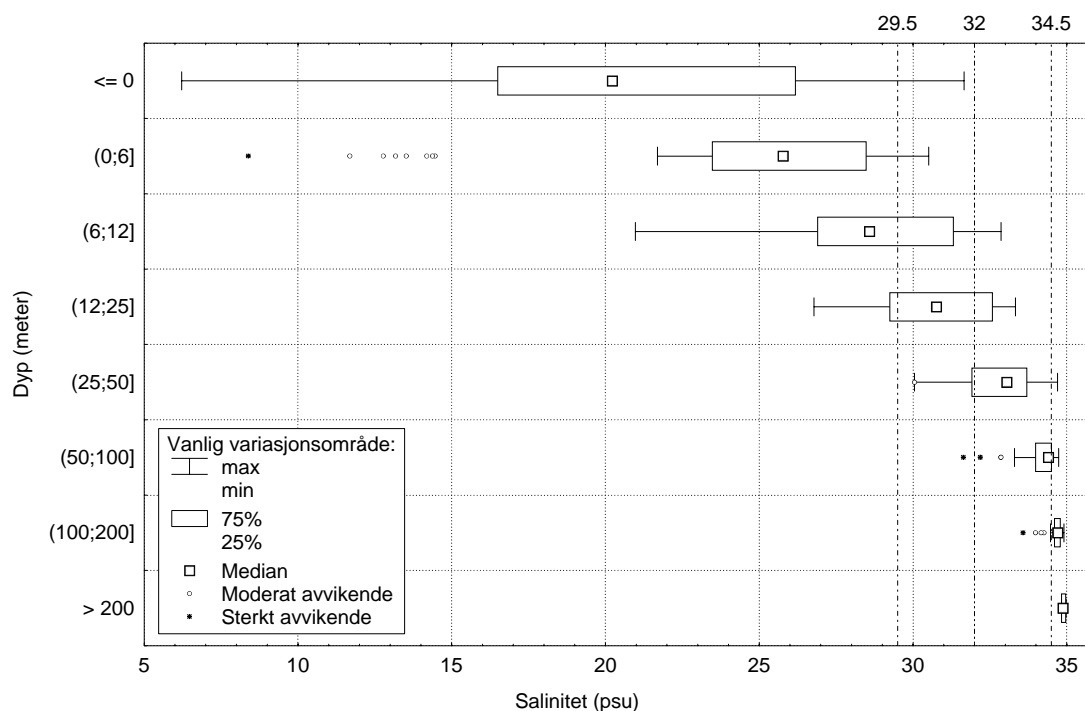
<sup>1</sup> Practical salinity units



**Tabell 10.** Inndeling av vannmassene i Skagerrak, etter Aure et al. (1995)

	Temp. °C	Salinitet (psu)	Typisk dypintervall i ytre Oslofjord
Skagerrak kystvann	0-20	25.0-32.0	0 - 20 m
Skagerrak-vann	3-17	32.0-35.0	
- øvre		32-34.5	10 - 100 m
- nedre		34.5-35.0	>100 m
Atlantisk (dyp)vann	5.5-7.5	>35.0	opptrer sjelden

Statistisk fordeling av salinitet i ulike dypintervaller er vist i figur 35. Overflate-salinitet ned mot 25 i ytre Oslofjord opptrer stort sett som resultat av lokal ferskvannspåvirkning, som regel er den høyere, men overflatelaget har stort sett alltid salinitetsverdier < 30. En salinitetsgrense i nærheten av dette, på 29.5, ble antatt å tilsvare grovt grensen for de vannmasser hvor omtrentt alt innhold av uorganiske næringssalter ofte blir brukt opp i sommerhalvåret.

**Figur 35.** Statistikk for salinitet som funksjon av dyp for hovedvannmassene i ytre Oslofjord for data fra perioden juni - oktober.

Det som kalles Skagerrak kystvann etter definisjonen i tabellen, omfatter vanligvis både dette primærproduksjonslaget hvor uorganiske næringssalter brukes opp i sommerhalvåret og den øvre del av et overgangslag med økende næringssaltkonsentrasjoner mot dypet. En statistisk avgrensning etter dyp går ved 25 m dyp, idet vann i 25-100 m dyp har salinitet >32 og tetthet >24.3  $\sigma_t$ -enheter i 75 % av observasjonene, mens vann på dyp 12-25 m bare har det i 25 % av tilfellene. Ved salinitet 32 er konsentrasjonene av nitrat og ortofosfat typisk rundt 50 % av det en har i dypvannet.

En salinitetsgrense på 34.5 tilsvarer nokså godt overgangen til vannmasser som har høye uorganiske næringssaltkonsentrasjoner (dvs. upåvirket av biologisk produksjon) også om sommeren. En slik grense vil også skille ganske godt mellom vannmasser over og under terskeldyp i ytre Oslofjord, dvs. >100-120 m.

Ut fra disse betraktningene ble det valgt følgende vertikale inndeling av vannmassene:

1. Et overflatelag som består av alt vann med salinitet <29.5. Som figurene foran viser, vil det i middel avgrense de øverste 10 m av vannmassene, og det vil også i stor grad avgrense de vannmasser hvor restkonsentrasjoner av næringssalt ofte bringes ned i lave verdier om sommeren, med nitrat <10 µg/l og ortofosfat <5 µg/l. Samtidig er grenseverdien høy nok til at det nesten alltid vil være et overflatelag med volum>0, bare i sjeldne tilfeller vil overflatetettheten kunne bli større enn grenseverdien. Det kan tenkes at en bør operere med en minste tykkelse på 5 m for dette laget, som brukes dersom saliniteten på 5 m dyp er >29.5
2. Et mellomlag fra salinitet 29.5 til 34.5, typisk beliggende mellom 15 til 70 m dyp. I dette laget vil næringssaltkonsentrasjonene gjennomgående øke ganske sterkt med salinitet, selv om de også kan variere en del for gitt salinitet, og laget bærer preg av å være et overgangslag med hensyn på vertikalblanding og estuarinsirkulasjon. Midten av salinitetsområdet ligger nær 32, som er den middelverdi Baalsrud og Magnusson antok for fortynningsvann ved estuarinsirkulasjon i sine næringssaltbudsjetter, og som er brukt som inndelingskriterium i Kystovervåkingen. Av den grunn er det fornuftig å dele dette mellomlaget inn i to:
  - Et øvre lag fra salinitet 29.5 til 32 psu.
  - Et nedre lag fra salinitet 32 til 34.5 psu.
3. Dypvann med salinitet >34.5 psu. Dette vannet har alltid forholdsvis høye konsentrasjoner av nitrat (100-200 µg/l) og ortofosfat (25-40 µg/l) i sommerhalvåret, og ligger stort sett under 100 m dyp.

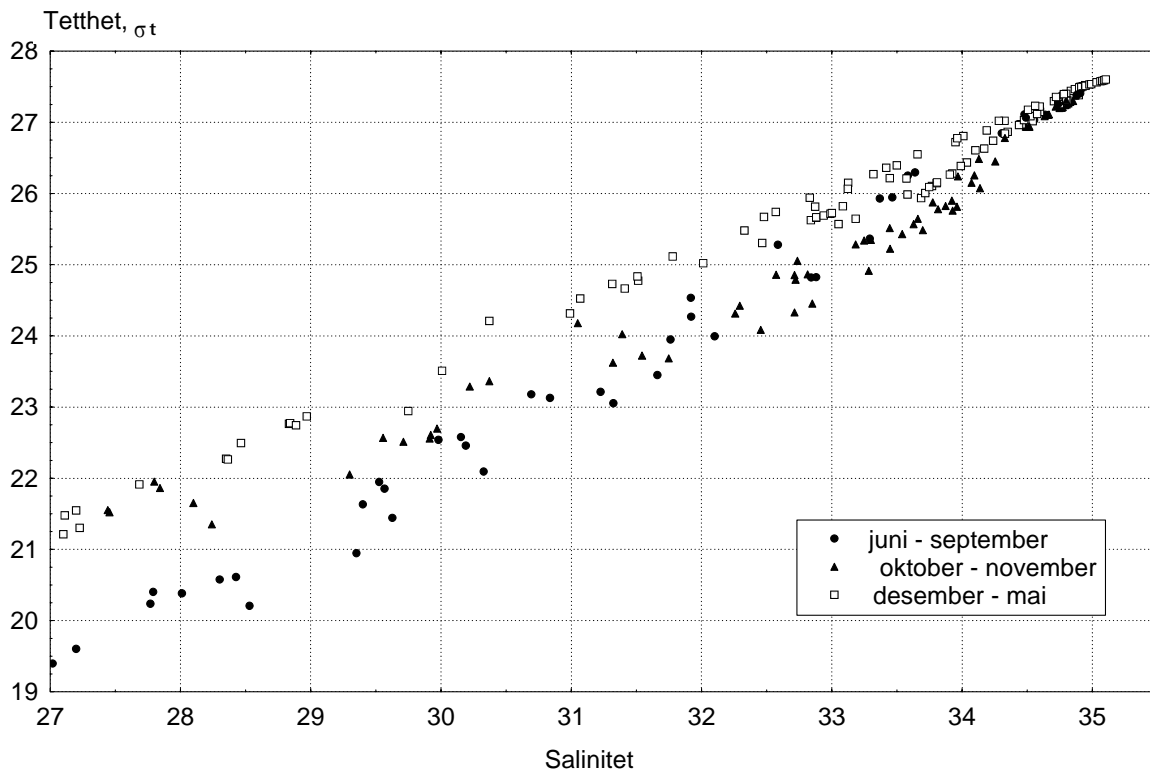
Som drøftet i kap. 3.3 og vedlegg Vedlegg C. ble det funnet mest hensiktsmessig å dele inn lagene etter tetthet i stedet for å bruke saliniteten. Sammenhengen mellom salinitet og tetthet i datamaterialet fra ytre Oslofjord er vist i figur 36. På den bakgrunn ble til slutt valgt de tetthetsgrensene som er vist i tabell 11 for å definere lagene. Formålet var å få en inndeling som i størst mulig grad stemte overens med den salinitetsbaserte oppdelingen som er brukt i forbindelse med kystovervåkingen (Aure et al. 1995).

**Tabell 11.** Sammenheng mellom salinitetsgrenser og tetthetsgrenser for lagdeling i resultatene som tas ut fra simuleringsmodellen.

Lag nr.	Nedre avgrensning	
	Salinitet	Tetthet ( $\sigma_t$ )
1	29.5	22
2	32	24
3	34.3	26.85

Erfaring med resultatene av modellen viste at det øverste laget får fornuftig tykkelse på våren og for sommeren, men blir noe tykt om sommeren (rundt 30 m). Det kan delvis ha å gjøre med at modellen bruker tetthet i stedet for salinitet som inndelingskriterium; overflateoppvarmingen om sommeren vil skyve en gitt tetthetsgrense nedover mot noe større saliniteter enn som gjennomsnitt over året.

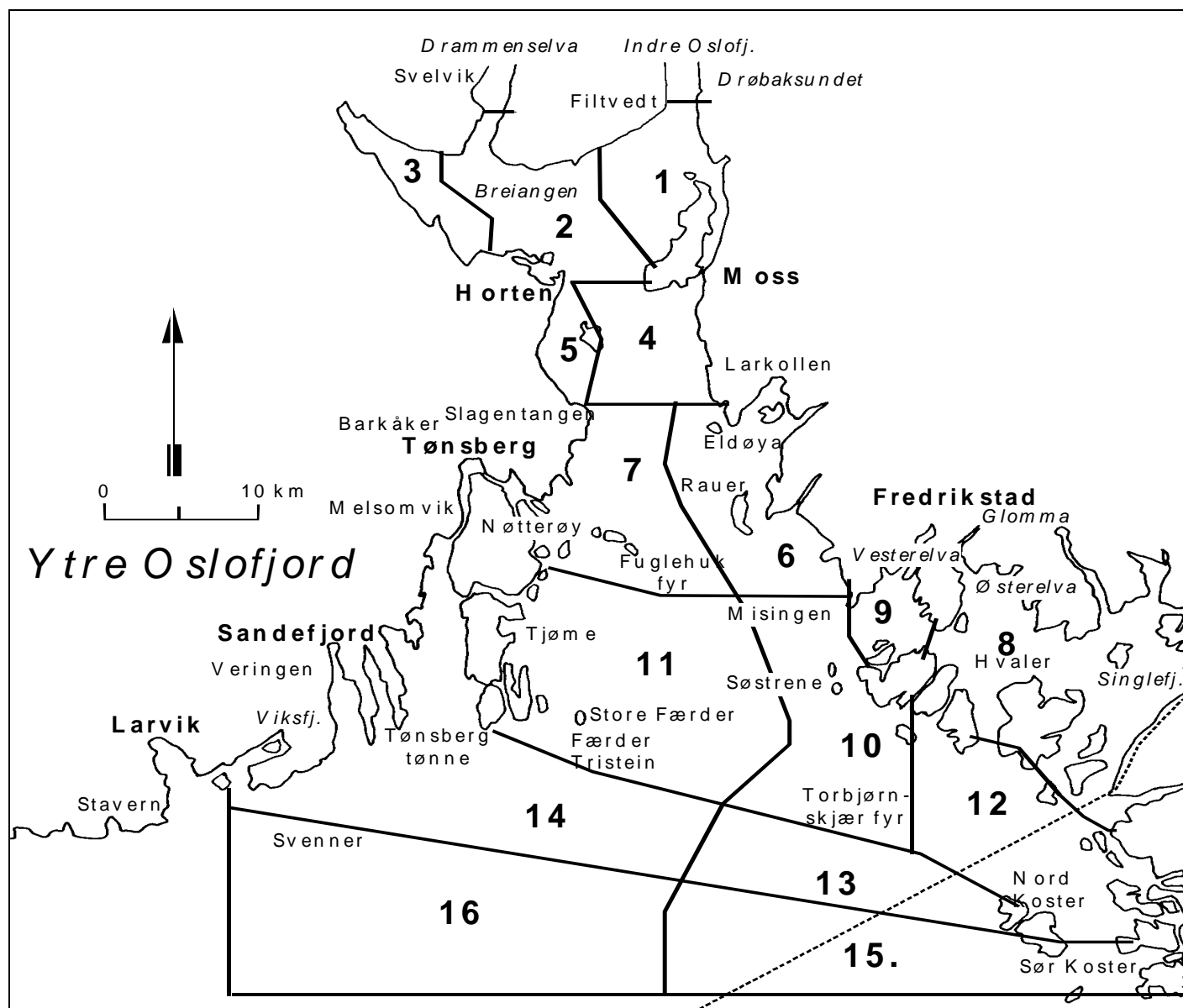
En annen løsning ville være faste dyp, som har den fordel at en kan skille ut primærproduksjonslaget og bassengvann uavhengig av salinitetsvariasjoner, men er dårligere når det gjelder å følge vannmassene. Det kan tenkes at den beste løsningen alt i alt ville være en kombinasjon, med avgrensning etter faste dyp nær overflaten, f.eks. ved 5 eller 10 m dyp, og tetthets- eller salinitets-definert avgrensning dypere ned. En kunne også ha en laginndeling som fulgte vannmassene vertikalt på kort skala, men justerte seg mot faste dyp på lang tidsskala. På den måten kunne en oppnå en tetthetsdefinert lagdeling som bedre tilpasset seg årstidsendringer i sjiktningen. Ved senere bruk av lignende metoder bør dette vurderes.



**Figur 36.** Sammenheng mellom salinitet og tetthet i ytre Oslofjord.

## 10.5 Geografiske avgrensninger av vannvolumer, valg av transporttverrsnitt.

Målet med en geografisk inndeling av fjorden er å definere volumer og transporttverrsnitt som tillater at hovedtrekkene i transport og utveksling av vann fra modellen kan beskrives, samtidig som tallmengdene reduseres slik at det er overkommelig å sette opp og diskutere massebudsjetter. Topografiske forhold, supplert med det en vet om strøm fra tidligere undersøkelser er det viktigste grunnlaget.



**Figur 37.** Kart over modellområde med oppdeling i geografiske områder

Ytre Oslofjord har flere terskler på 100-125 meter, med dypområder ned til 200-300 m og noen kraftige innsnevninger av transporttverrsnitt i mellomdyp på grunn av grunne partier. Vann fra Dramselva setter særlig preg på nordlige og vestre del av fjorden. Vann fra Glomma har et dominerende influensområde vestover fra Hvaler, men kan også spre seg nordover og sørover langs østsiden av fjorden. Tidligere modellsimuleringer har vist at strømsystemet er preget av noen storstilte virvelbevegelser på vestsiden av fjorden (Røed og Skåtun 1989, Røed et al. 1990).

Det ble valgt å heller dele opp fjorden i litt for mange enn for få områder, idet det er enkelt å slå sammen tall for flere områder, men umulig å splitte opp senere. For det første er fjorden delt inn i avsnitt ved tversgående grenselinjer. Noen av disse avsnittene er delt i underområder ved grenselinjer i nord-sørlig retning. Det er gjort for å få frem skillet mellom vest- og østsiden av fjorden, skille mellom typiske gjennomstrømningsområder og mer stillestående bakevjer, og til en viss grad kunne beskrive virkning av storstilte virvler.

Ytre Oslofjord ble delt inn i 16 områder som vist på kartet i figur 37. I tillegg var et vannvolum lagt inn som skulle representere indre Oslofjord på en forenklet måte (se Hackett et al. 1995), det ble gitt nr. 0. Avgrensningen av områdene er gitt i tabell 12. Det fremgår av denne tabellen hvordan de ulike områdene er forbundet med hverandre, dvs. den definerer hvilke kombinasjoner av områder *ij* det må beregnes horisontale transporter for som beskrevet i kap. 10.2 og vedlegg Vedlegg C. .

Det ytre området (15 og 16) strekker seg sørover til ca. 58°49' N og området 16 er dessuten begrenset vestover til omtrent 10°6' E, dvs. til grensen for relaksasjonssonen til 800 m-modellen (overgangssone mellom de nøstede modellene, se Hackett et. al 1995). Larviksfjorden med utløpet av Numedalslågen faller akkurat utenfor dette området. Det er i tabellen tatt med et område 17 for Skagerrak/Kattegat utenfor 800m-modellen. Grenselinjen mellom områdene 13-14 og 15-16 tilsvarer omtrent snittet Larvik - Koster i HIs modell og gir grunnlag for å sammenligne resultatene mellom de to simuleringsmodellene til DNMI og HI.

## **10.6 Valg av tidsoppløsning og tidsrom som budsjettet skal stilles opp for.**

Ifølge tidligere beregninger og modellresultater er oppholdstiden til overflatelaget i ytre Oslofjord 4-12 dager, mens dypvannmassene (under terskeldyp 100 m) har typiske oppholdstider på 1/2 til 1 år (Baalsrud og Magnusson 1990). Vann på mellomdyp (30-100 m) i Breiangen og Drøbaksundet fornyes ca. 2 ganger pr. år.

Modellkjøringer som i hovedsak tar sikte på å beskrive transport i overflatelaget kan derfor være nyttige selv om de bare har en varighet ned mot 1 måned, og det kan ha mening å kjøre simuleringer isolert gjennom en flom-episode som varer 2-4 uker. Slike kjøring vil imidlertid bare kunne si noe om virkningen av lokale tilførsler i forhold til det som tilføres utenfra, og ikke kunne skille ut ulike langtransporterte kilder. Til det kreves lengre kjøring, men da bare av de større modellene for Nordsjøen og Skagerrak. Som beskrevet av Hackett et al. (1995) blir disse modellene kjørt i 1 - 2 år før Oslofjordmodellen startes (spin-up), og det krever ikke så mye regnetid (Hackett, per. medd.). Det burde derfor være mulig å gjøre gjentatte simuleringer av den detaljerte modellen for ytre Oslofjord for perioder på ca. 1-2 måneder. Det skulle være tilstrekkelig for å simulere tidsforløp i overflatelaget.

Hvis modellkjøringene også skal beskrive transport og utveksling av dypvannet må det åpenbart gjøres lengre kjøring. Selv et års simulering kan da bli for kort, det idéelle ville være 2-3 år. Først da vil de konsentrasjonene som beregnes for de ulike kildene være reelle for dypvannet.

I dette prosjektet er det imidlertid bare blitt plass til en enkelt simulering av ett år. Som inngangsdata er brukt tall for 1993 der det har vært mulig, som beskrevet andre steder i denne rapporten og i Hackett et al. (1995).

**Tabell 12.** Beskrivelse av geografisk oppdeling av ytre Oslofjord - områder og grenselinjer.

Område		Tilgrensende områder, nr. <i>j</i>		
Nr. <i>i</i>	Navn eller betegnelse	<i>i</i> < <i>j</i>	<i>i</i> > <i>j</i>	Beskrivelse av grenselinjer <i>ij</i> ( <i>i</i> > <i>j</i> ), gjennomløpt med område <i>i</i> til venstre. For <i>i</i> < <i>j</i> se beskrivelse lengre ned i tabellen.
1	Breidangen øst	(2)	-1	Nordlig grense mot Drøbaksundet, Krokstrand - Filtvedt.
2	Breidangen vest		-2	Nordlige grense i Drammensfjorden, Holmsbu - Krokåsen.
		(3,4)	1	Linje nordvestover fra sørspissen av Jeløya til Mølen derfra nordover langs grunnpartiet til Hurumlandet.
3	Sandebukta		2	Linje Falkensteinbukta - Langøya. - Bjørkøya - Gylteser.
4	Moss/Larkollen	(5,6,7)	2	Snitt rett vest fra sørspissen av Jeløya til Horten.
5	Bastøyrenna		4	Slagenstangen - Bastøy - Horten
6	Larkollen/Missingen	(7,9)	4	Rett vestover fra Eldøy til største dyp.
7	Slagenstangen/ Fulehuk		4	Fra største dyp vest for Eldøy videre vestover til Slagenstangen.
		(11)	6	Langs dyprenna fra linjen Missingen/Fulehuk til linjen Eldøy/Slagenstangen.
8	Hvaler/Singlefjorden	12		
9	Leira	10		
10	Området rundt Søstrene		6	Fra østsiden av fjorden til største dyp på linjen Missingen -Fulehuk (ca. 59°10')
		(11,12,13)	9	Fra Papperøy nordover mot Strømtangen.
11	Færderområdet		7	Fra største dyp til vestsiden av fjorden på linjen Missingen- Fulehuk (59°10.3'N)
		(14)	10	Fra største dyp på linjen Heia - Tristein (12,14) (59°N, 10°41'E) nordover langs største dyp til rett sør for Fjellknausane, nord til Fjellknausane, derfra NNV over til dyprenne vest for Søstrene, og videre nordover langs største dyp til linjen Missingen-Fulehuk (59°10.3'N).
12	Hvaler/Koster		8	Nordvestover fra svenskekysten langs ytterkanten av Hvalerøyene, dvs. Over Sekken fra Tjurholmen - Herføl og over Løperen fra Hogget til Viker. På grunn av forenklet topografi i modellen er dette de eneste to åpningene ut gjennom Hvalerøyene.
		(13)	10	Rett sørover fra Akerøy til Heia over den vestlige del av Hvalerdjupet.
13	Hvalerdypet øst		10	VNV fra Heia i retning Tristein til største dyp (59°N, 10°41'E).
		(14,15)	12	Vest over Tjarnö til Koster, derfra nord-vestover til Heia.
14	Hvalerdypet vest		11	Fra endepunkt på grenselinje (13,10) (59°N, 10°41'E) videre mot Tristein og til sørspiss av Tjøme.
		(16)	13	Fra (59°N, 10°41'E) videre SSV langs største dyp til 58°54', 10°37'E, deretter rett sør til grenselinjen (14,15) 58°49'N.
15	ytre del sørøst		12	Fra den svenske vestkysten rett vest over Tjarnö til Koster.
		(16,17)	13	Fra Koster vest, og litt nord, mot største dyp.
16	ytre del sørvest		14	Fra endepunkt på grenselinje (13,10) (59°N, 10°41'E) videre mot Tristein og til sørspiss av Tjøme.
		(17)	15	Fra (59°N, 10°41'E) videre SSV langs største dyp til 58°54', 10°37'E, deretter rett sør til 58°49'N.
17	Skagerrak		15	Fra svenske-kysten rett vestover langs 58°49'N til 10°37'E.
			16	Rett vestover fra 58°49'N til 10°37'E til 10°06'E, deretter rett nord til norskekysten øst for Larviksfjorden.

# 11. Resultater av simuleringer med 3-dimensjonale transportmodeller

## 11.1 Simulering av sirkulasjon i Nordsjøen, Skagerrak og ytre Oslofjord for året 1993 (DNMI)

Modellen og simuleringresultatene fra ECOM-3D er beskrevet i Hackett et al. (1995). Modellstrukturen er helt kortfattet beskrevet i kap.3.1. Ved simuleringen av 1993 ble det innført 4 passive sporstoffer (tracere) som ble tilordnet 4 ferskvannskilder:

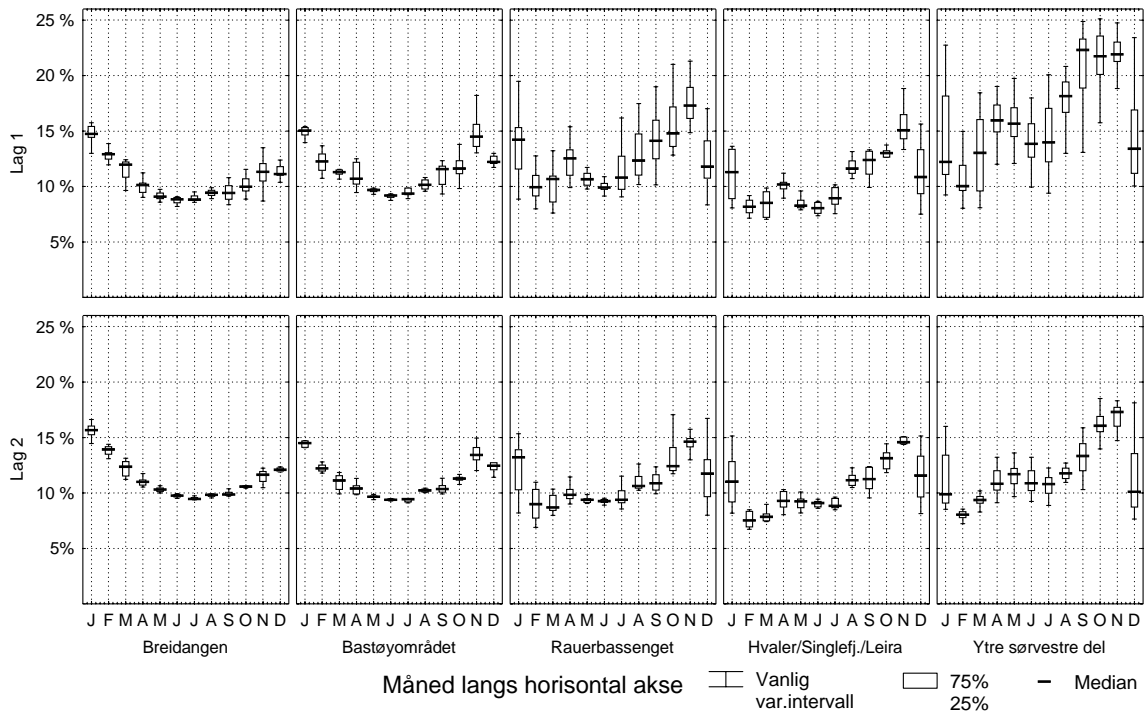
1. Kontinentale elver som renner ut i Nordsjøen
2. Ferskvann fra Østersjøen og svenske vestkystelver
3. Glomma
4. Dramselva

Ferskvann fra disse kildene ble gitt utgangskonsentrasjon 1 som så ble spredt og fortynnet i modellen som et passivt, konservativt sporstoff. Innstrømmingen fra Østersjøen ble gitt konsentrasjon 0.5, omtrent tilsvarende ferskvannsandelen her (salinitet 18 psu). I tillegg til salt og temperaturfeltene gir beregningene konsentrasjonen av de fire sporstoffene på ethvert punkt og til enhver tid i modellen, med simuleringens tidsoppløsning. Resultatene ble aggregert til større volumer som beskrevet i 3.3.1 og vedlegg Vedlegg C. , med inndeling av vannmassene som beskrevet i kap. 10.4 og 10.5, og tatt ut som øyeblikksverdier hver time som grunnlag for budsjettberegningene.

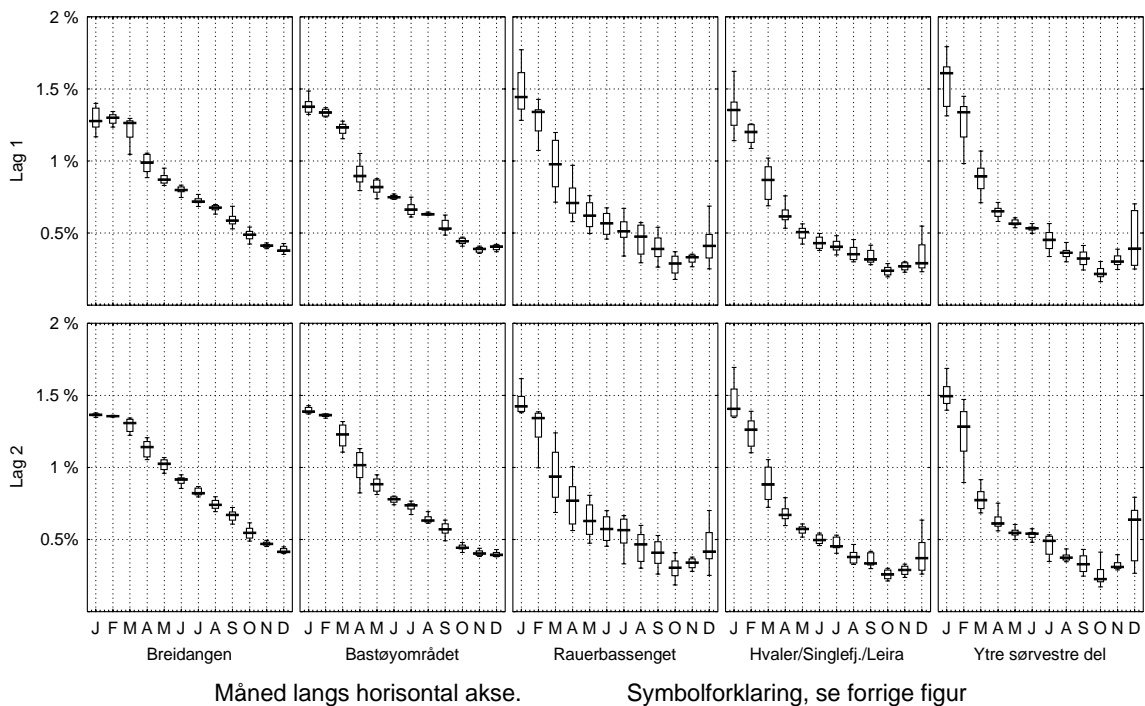
Simuleringen for 1993 ga både et utvalg av episodisk variasjon og årstidsvariasjon. Det ble ikke gjort noen systematisk sensitivitetsanalyse eller validering, men en sammenligning med strømmålinger fra Torbjørnshjørn i 1993, utført av Oceanor, viste at både strømhastigheter og retningsstabilitet i 3.5 m dyp på dette stedet stemte godt med det modellen gir for omtrent tilsvarende lokalitet (Hackett et al. 1995).

Simuleringen viste at sirkulasjonen i fjorden i stor grad er bestemt av et samspill av lokale vinder, lokal ferskvannstilrenning og strømmønsteret i Skagerrak, med det siste som en dominerende faktor.

Av de merkede ferskvannskildene var Østersjø/Sverige-komponenten den dominerende i alle deler av fjorden. Innflytelsen fra kontinentale elver ble også funnet nokså jevnt fordelt i vannmassene, men utgjorde ca. 10 ganger mindre andel av vann enn Østersjø/Sverige-komponenten. Ferskvann fra Glomma og Dramselva kan finnes i like stor konsentrasjon som ferskvannspåvirkningen utenfra i avgrensede deler av fjorden (Hvalerområdet og Breiangeren), særlig i flomsituasjoner om sommeren. Noen av de aggregerte resultatene er vist i figur 38 og figur 39. For en nærmere presentasjon av resultatene henvises til Hackett et al. (1995).



**Figur 38.** Statistisk fordeling av konsentrasjon av ferskvann fra svenske vestkystelver og Østersjøen fra DNMI's simulering, oppløst på måneder, hovedområder og vannlag.



**Figur 39.** Statistisk fordeling av konsentrasjon av ferskvann fra kontinentale elver fra DNMI's simulering for 1993, oppløst på måneder, hovedområder og vannlag.



## 11.2 Simulering av sirkulasjon i Nordsjøen og Skagerrak for årene 1988-1993 (HI)

Dette arbeidet er beskrevet av Svendsen et al. (1995). Av særlig interesse i denne forbindelsen er deres beregninger av transporten av Tyskebukt vann gjennom ytre Oslofjord. Beregnet brutto transport av Tyskebukt vann gjennom snittet Larvik-Koster varierer sterkt fra år til år, og ligger i april måned mellom 800 og 2700 m<sup>3</sup>/s. Om vinteren, fra november til februar, kan den være langt høyere, med typiske verdier på fra 5000 opp mot 10,000 m<sup>3</sup>/s som månedsmidler. Det meste av gjennomstrømningen består av vann med salinitet < 29.5; det merkede Tyskebukt vannet har nokså jevn fordeling i hele tverrsnittet, men gjennomgående noe høyere konsentrasjoner i overflatelaget. Strømmen er i stor grad preget av storstilt sirkulasjon, med motsatt rettet strøm i østre og vestre del av tverrsnittet, og med skiftende sirkulasjonsretning på 1-2 ukers tidsskala. Dette går klart frem av fig. 2a-1 til 2a-12 i Svendsen et al. (1995). Den totale transporten av Tyskebukt vann gjennom de ytre deler av Oslofjorden omregnet til opprinnelig mengde ferskvann gir for april måned ca. 100-300 m<sup>3</sup>/s, for vinterperioden ca. 500-1000 m<sup>3</sup>/s. Samlet ferskvannsfluks fra Storbritannia og kontinentet til Nordsjøen er ca. 5000 m<sup>3</sup>/s på årsbasis, en del større i vinterperioden. Det kan derfor grovt anslås at ca. 10 % av det kontinentale og britiske ferskvannet passerer gjennom ytre deler av Oslofjorden om vinteren, i april måned ca. 5 % hvis vi tar i betraktning tidsforsinkelsen.

## 11.3 Sammenligning av modellkjøringene til DNMI og HI

### 11.3.1 Fordeling av Tyskebukt vann

HI's simulering tar utgangspunkt i saliniteten i det vannet som strømmer inn i deres modellområde fra sør. Hvis dette vannet har salinitet 31 eller lavere merkes vannet med konsentrasjonen av vann fra Tyskebukta  $C_{BT} = 1$  (100 %), og denne "merkingskonsentrasjonen" reduseres lineært med salinitet ned til verdi = 0 ved psu 34.5. Det impliserer at vannet antas å være en blanding av Tyskebukt vann med psu = 31 og annet vann med salinitet = 34.5. "Rent" Tyskebukt vann med salinitet 31 vil da tilsvare ca. 10 % ferskvann, hvis vi antar salinitet 34.5 også i det blandingsvannet som inngår her. Konsentrasjonen av Tyskebukt vann må altså regnes om med en faktor som kan være ned mot 0.1 for å gi ferskvannsandelen.

I HI's simulering blir Tyskebukt vannet ganske jevnt fordelt over snittet Larvik - Koster, med konsentrasjoner som varierer mellom 0.5 og 2 % fra år til år (Svendsen et al. 1995). Det gir omregnet en andel ferskvann med opphav i Tyskebukta som varierer mellom 0.05 og 0.2 % mellom de forskjellige årene. For april 1993 ligger verdiene i nedre del av dette variasjonsområdet. Konsentrasjonene av Tyskebukt vann i snittet Larvik - Koster i april er hvert år høyest i overflatelaget, men reduksjonen mot større dyp er bare på 20-30 % i forhold til overflatekonsentrasjonene.

I DNMI's simulering av hele 1993 er andelen kontinentalt ferskvann generelt høyere enn i HI's resultater. Den er nokså jevnt fordelt i hele ytre Oslofjord i de første par tre månedene av året, med verdier på ca. 1.5 % i overflatelagene og lengst inne i fjorden, og ca. 1.0 % i dypvannet i de ytre deler av fjorden. Fra mars til april synker verdiene raskt, og reduksjonen er kraftigst i de ytre delene av fjorden (utenfor snittet Tristein - Torbjørnshjørn - Koster), men konsentrasjonen i april-mai er fortsatt 0.6 % i overflatelagene og 0.3 - 0.4 % i dypere lag, altså ca. 10 ganger høyere enn i HI's simulering. Den relative forskjellen mellom overflatelaget og dypvannet stemmer ganske godt med HI's verdier, dvs. ca. 20 - 30 % lavere i dypene enn nær overflaten. I resten av året fluktuierer nivåene i de ytre områdene, og synker ytterligere, men kommer aldri under 0.2 % som månedsmiddel. I de innerste delene av fjorden ser det ut til å henge igjen gamle vannmasser nokså lenge, konsentrasjonen synker her nokså jevnt i løpet av året, og kommer ned i ca. 0.4 % ved slutten av året.

Det er flere usikkerhetsfaktorer i sammenligningen mellom de to simuleringene.

For det første er HIs Tyskebukt-vann ikke direkte sammenlignbart med det kontinentale ferskvannet i DNMI's simulering ved en enkel omregning som beskrevet ovenfor. I DNMI's simulering er det merkede ferskvannet direkte knyttet til kildene, og konsentrasjonene er derfor ikke følsomme for en bestemt antatt salinitet i blandingsvannet. HI har som nevnt merket alt vann som kommer inn sørfra etter saltholdighet, med en skala fra 1 til 0 når saliniteten øker fra 31 til 34.5. Det kan gi for lave verdier når ferskvannet er fortynnet forholdsvis mye, ettersom det finnes saltere vannmasser i modellsystemet under simuleringen (maksimalverdi 35.2 i snittet Larvik-Koster). Hvis det f.eks. kommer vann med salinitet 33.4 sørfra inn i Skagerrak, vil det i HIs modell bli merket med konsentrasjon 0.3 (dvs. i overkant av verdiene for april i fig. 1d i Svendsen et al. 1995). Hvis blandingsvannet i modellen i realiteten har hatt salinitet f.eks. 35.0 i stedet for 34.5, vil den "reelle" ferskvannsandelen være 0.046 i stedet for 0.030 som en vil regne seg tilbake til fra  $C_{TB} = 0.3$ , altså en faktor 1.5. Hvis det i perioder forekommer innstrømning av vann med salinitet  $< 31$  fra Tyskebukta, som også er merket med konsentrasjon  $C_{TB} = 1$ , vil omregningsfaktoren på 0.1 til ferskvannandel kunne være for liten, og det gir feil den samme veien. Disse tingene trekker i retning av at en omregning av HIs tall til andel kontinentalt ferskvann med en faktor 0.1 kan gi for lave verdier, og altså bidra til å forklare forskjellen. Det kan selvsagt være avvik den andre veien også.

HI har merket alt vann som kommer inn sørfra, men ikke det som kommer inn fra vest. Innstrømningen av merket vann med antatt opphav Tyskebukta varierer sterkt fra år til år, uten at det ser ut til å skyldes sterkt varierende totalvannføringer, men kanskje heller vindretning og strømforhold. Hvis det er riktig, kan det tenkes at en del Tyskebukt vann som først spres nordvestover, og deretter mot øst inn i modellområdet, ikke blir merket i HIs simulering, mens den blir det i DNMI's simulering. Det kan også bidra til å forklare forskjellen mellom DNMI's og HIs resultater.

I HIs simulering merkes antatt Tyskebukt vann etter som det strømmer inn over den sørlige grenseflaten fra 1. september. Svendsen et al. (1995) antar at det oppnås fulle konsentrasjoner i snittet Larvik-Koster først fra november. DNMI har startet simuleringen etter en 2 års oppkjøringsperiode med storskalamodellene, og har med sporstoff i alle modellene, slik at de får en mer total tidsintegrert effekt, med merking av kontinentalt ferskvann som over lang tid har ligget i Skagerrakområdet. HIs figurer antyder nettopp en slik ansamling av forholdsvis store mengder Tyskebukt vann i Skagerrak, riktignok fordelt over dypet, som kan ha forholdsvis stor oppholdstid, og kan tenkes å gi et visst bidrag til en bakgrunnskonsentrasjon i ytre Oslofjord hvis noe av vannet sirkuleres tilbake igjen. HIs tall kan derfor i større grad være uttrykk for den episodiske, direkte påvirkningen knyttet til flomsituasjoner og transport nordover av ubrukte næringssalter om vinteren, mens DNMI inkluderer mer av bidraget til bakgrunnskonsentrasjonen fra det kontinentale ferskvannet. På den måten kan de to settene med modellresultater sies å supplere hverandre.

En annen forskjell er at HI har brukt realistiske månedsmidler for de tyske elvene Elben, Ems og Weser, og klimatologiske månedsmidler for de andre elvene (hvilket år er ikke angitt), mens DNMI har brukt klimatologiske midler for de tyske elvene, og 1993-verdier for en del andre elver. De klimatologiske midlene er vesentlig høyere om vinteren enn 1993-verdiene, og det kan også forklare at DNMI får høyere verdier. Begge simuleringene har imidlertid brukt klimatologiske midler for tilrenningen via Nederland, som er det dominerende ferskvannsbidraget fra kontinentet til den sørlige Nordsjøen.

### 11.3.2 Merking av vann fra Østersjøen og den svenske vestkysten.

I DNMI's simulering er det gjort en kombinert merking av innstrømningen fra Østersjøen og ferskvann fra svenske elver på vestkysten, med Göta elva som den største. Vannet fra Østersjøen er gitt en konsentrasjon 0.5 som omtrent gjenspeiler ferskvannsandelen, idet saliniteten i dette vannet er satt til 18 psu, mens ferskvannet er gitt konsentrasjon 1. De resulterende konsentrasjonene av dette vannet i de ytre deler av fjorden omkring HIs snitt er typisk 10-25 %, med april/mai-verdier på ca. 15 %. Det er liten forskjell mellom vestre og østre halvdel av fjorden.

HI har merket all innstrømning fra Østersjøen med en annen "sporstoff"-konsentrasjon  $C_{\phi}=1$ . April-konsentrasjoner av Østersjøvann ligger i deres simuleringer i området 3 - 6 % i snittet Larvik - Koster, med størst verdier langs svenskekysten og i de øvre 10-20 m. Hvis vi antar at innstrømningen er modellert med omtrent samme salinitet som DNMI brukte, gir det omregnet en konsentrasjon av ferskvann fra Østersjøen på ca. 1.5-3% i snittet Larvik - Koster i april.

Noe av forskjellen kan forklares av at DNMI's konsentrasjon også omfatter de svenske vestkyst-elvene. Imidlertid kan det også her tenkes at forskjellen i simuleringsperioder og oppkjøringsteknikk kan gi utslag: mens HI bare merker det vannet som strømmer inn etter 1. september, har DNMI også merket vann som har strømmet inn under oppkjøringsperioden på forhånd, og derfor kan ligge fordelt i Kattegat eller Skagerrak og resirkuleres fra kyststrømmen. Forløpet av DNMI's simulering kan tyde på at Østersjøen er det dominerende bidraget, se nærmere diskusjon på side 95.

## 12. Beregning av næringsstoffbudsjetter i ytre Oslofjord ut fra modellresultatene

Målet med prosjektet er å fremskaffe næringsstoffbudsjetter for ulike deler av ytre Oslofjord. I dette kapitlet brukes resultatene fra den numeriske sirkulasjonsmodellen DNMI kjørte mht. fordeling, transportveier og oppholdstider til de viktige vannmassene i ytre Oslofjord, og budsjetter for N og P settes opp ved å kombinere disse resultatene med tilgjengelige data for tilførsler fra land og konsentrasjoner i ulike vannmasser i Nordsjø/ Skagerrak-systemet.

Den simuleringen meteorologisk institutt har kjørt med den 3-dimensjonale sirkulasjonsmodellen ECOM-3D (Hackett et al. 1995), gir to typer informasjon som kan brukes til å vurdere ulike forurensningskilders innvirkning på ytre Oslofjord:

1. Konsentrasjoner av de 4 forskjellige merkede vannmassene som funksjon av tid og sted: Vann fra kontinentale elver, ferskvann via Østersjøen og fra svenske vestkyst-elver, ferskvann fra Glomma, og fra Dramselva.
2. Volumer av de bokser og lag som ytre Oslofjord er delt opp i som funksjon av tid, både når det gjelder vann totalt og andelen av hver av de merkete vannmassene, og parallelle data for transporter mellom de definerte delvolumene.

Hvordan denne informasjonen beregnes underveis av ECOM-3D er omtalt generelt i kap. 10.2 og i vedlegg Vedlegg C. , og mer utfyllende i Hackett et al. (1995).

De aggregerte resultatene fra ECOM-3D gjør det mulig å beregne bidraget til næringsstoff-konsentrasjoner i ytre Oslofjord fra ulike vanntyper på to måter.

- Den første metoden består i å bruke realistiske verdier for N- og P-innhold i de ulike merkede vannkildene sammen med konsentrasjoner av vann fra disse kildene i ytre Oslofjord. På den måten kan betydningen av de ulike kilder for langtransporterte forurensninger anslås.

Slike beregninger er bare en direkte anvendelse av resultatene fra ECOM-3D, og gir et forholdsvis nøyaktig resultat innenfor sine forutsetninger. Begrensningen her ligger bl.a. i at alle kilder ikke er med som merkede vannmasser, dessuten tar beregningen ikke hensyn til biologisk og partikkel-tilnyttet omsetning og vertikaltransport. Det kan spesielt være av betydning for de langtransporterte kildene. De beregnede bidrag fra de ulike kildene kan derfor antagelig betraktes som øvre grenser for det reelle bidraget hver av dem kan gi til næringsstoffkonsentrasjonene, iallfall når det gjelder episoder med spesielt store konsentrasjoner av vann fra de aktuelle kildene i ytre Oslofjord. Det er selvsagt en del usikkerhet i resultatene fra ECOM-3D. Ifølge Hackett et al. 1995 er det mulig at modellen bl.a. gir noe for stor vertikalblanding. Inndata, med månedsmidler av ferskvannstilførsler, gir dessuten bare et tilnærmet bilde av variasjonen i ferskvannstilførslene.<sup>1</sup>

- Den andre beregningsmåten består i å integrere virkningen av lokale N- og P- utslipp over tid ved hjelp av de beregnede tidsseriene for volumer og vanntransporter. Derved kan det beregnes hvordan Glomma, Dramselva og andre lokale tilførsler fra renseanlegg og i annen direkte tilrenning bidrar til N- og P-konsentrasjoner i ytre Oslofjord på toppen av konsentrasjonene i de vannmassene som kommer utenfra. Bakgrunnskonsentrasjoner i det vannet som kommer inn i systemet utenfra

---

<sup>1</sup> Data på døgnbasis er tilgjengelige, men ikke brukt i dette prosjektet.

settes ut fra data for Skagerrak, dvs. at konsentrasjoner i ulike ferskvannskilder i andre land nå ikke lenger inngår.

Det kan gjøre det mulig å komme nærmere den faktiske virkningen av de langtransporterte forurensningene, inkludert avsetning på overflaten i Nordsjøen, men til gjengjeld skiller en slik beregning ikke mellom de ulike kildene for langtransportert N og P. Forskjeller i konsentrasjoner mellom de ulike scenarier for de lokale tilførslene kan gi et bilde av betydningen av ulike tiltak for å redusere tilførslene. Pga. en del tekniske og beregningsmessige begrensninger og fordi transportberegningene er basert på akkumulerte verdier for større volumer, kan metoden bare ventes å gi et grovt tilnærmet bilde av den passive spredningen av stoff, i forhold til hva en ville få ved å ha N- og P-konsentrasjoner direkte bygd inn i den detaljerte sirkulasjonsmodellen. Det er drøftet nærmere i kap. 12.5.

Nedenfor beskrives resultatet av begge angrepsmåtene. I begge tilfellene er virkningene av ulike kilder beregnet som gjennomsnitt for de to øverste lagene. Lag 1, definert som alt vann med tetthet  $\sigma_t < 22$ , er stort sett 10-20 m tykt i perioden mars-juni, og opp mot 25-30 meter tykt i juli - august. Lag nr. 2 omfatter alt vann med tetthet  $\sigma_t$  mellom 22 og 24, og går stort sett ned til rundt 30 m dyp om våren og 40 - 50 m dyp senere på sommeren.

Lag 1 går lengre ned enn det markerte sprangsjiktet som opptrer i forbindelse med flommene i Dramselva og Glomma, og virkningen av de norske elvetilførslene må derfor forventes å være konsentrert i den øverste delen av lag 1. Det definerte laget stemmer tildels ganske bra med det laget hvor nærings saltene ofte brukes opp i forbindelse med planktonproduksjon om sommeren, se kap 10.4, og det kan bety at beregningene likevel gir et forholdsvis riktig bilde av den totale betydningen av de norske tilførslene i forhold til påvirkningen utenfra, når det gjelder påvirkningen på dypere lag.

Lag 1 vil om sommeren delvis omfatte et øverste brakkvannslag som er 5-10 meter tykt, hvor virkningen av de norske tilførslene med Dramselva og Glomma er konsentrert, og delvis et lag rett under sprangsjiktet med overflatevann fra Skagerrak, hvor data viser at nærings salt-konsentrasjonene ofte vil være brukt opp om sommeren. Datamaterialet tyder på at de uorganiske nærings saltene i dette vannet om sommeren er brukt opp i Skagerrak og de vil derfor transporteres gjennom Oslofjordområdet bundet i biologisk materiale. Til laget under sprangsjiktet vil en også få en del av tilførslene fra renseanlegg, som for en del er dykket til ned mot 50 m (tabell 8 på side 59). Dette laget vil også motta en del tilførsler via indre Oslofjord og Drammensfjorden, som vil følge med gammelt dypvann ut i ytre fjord og innlagre seg i mellomdyp.

Dersom det antas at disse kildene i omtrent like stor grad blir brukt i planteplanktonproduksjon som kan synke ned og belaste bassengvannet med oksygenforbruk, vil modellberegningene for lag 1 samlet kunne gi et omtrent riktig bilde. For den direkte merkbare påvirkningene på overflatelaget (0-10m) vil imidlertid en slik beregning underestimere virkningen av de norske tilførslene. Dette er drøftet i sammenheng med beregningene nedenfor, og det er også gjort en supplerende beregning av den mulige virkningen av det norske ellevannet når antas konsentrert i de øverste 10 meter (side 97).

## **12.1 Direkte bruk av konsentrasjoner av ulike vanntyper - passiv spredning**

Som beskrevet i kap. 11.1 er følgende vanntyper merket i ytre Oslofjord:

1. Vann fra kontinentale elver (Belgia, Nederland, Tyskland)
2. Vann fra Østersjøen og svenske vestkyst-elver (som ferskvann)
3. Vann fra Glomma
4. Vann fra Dramselva

I tillegg til dette har vi saltholdighet som parameter i modellresultatene. Siden de merkede vanntypene alle er ferskvann, og modellen opererer med en fast bakgrunnsalinitet i Atlanterhavsvann, skulle vi idéelt sett kunne beregne en "resterende" ferskvannspåvirkning - presumptivt britiske og danske elver i hovedsak, og det er forsøkt, men det ser ikke ut til at nøyaktigheten er god nok til at det gir meningsfylte resultater.

### 12.1.1 Data om N- og P-konsentrasjoner i ulike vanntyper.

Gjennomgangen av data for avrenning til Nordsjøen fra ulike land i kap. 5 og 6 viser følgende hovedtrekk:

Avrenningen fra England og kontinentet har nitrogenkonsentrasjoner som typisk ligger i området 5-8 mg N/l, med høyest verdier om vinteren samtidig med at vannføringen er størst. Dette gjelder også avrenningen fra Danmark. Fosforkonsentrasjonene er typisk i gjennomsnitt 150-350 µg P/l, hvorav anslagsvis 40 % er ortofosfat. Skottland har lavere konsentrasjoner, tildels ned på linje med norske elver (500-1000 µgN/l, 20-50µgP/l). I alt står disse landene + Skottland for ca. 90 % av de totale nitrogentilførslene direkte til Nordsjøen, og 97 % av ortofosfat-tilførslene.

Det vannet som er merket som type 1 i DNMI's modellkjøringer, dvs. avrenningen gjennom Belgia, Nederland og Tyskland, omfatter ca. 65 % av de samlede tilførslene av nitrogen, og 40 % av tilførslene av ortofosfat ifølge PARCOMs tall for 1992. Avrenningen fra østkysten av England og Skottland er ikke merket i disse modellkjøringene, men utgjør 20-35 % av de samlede tilførslene. Vannet herfra antas ikke å kunne ha noe direkte markert virkning i Skagerrak i form av episoder med klar påvirkning, men vil selvsagt bidra til Nordsjøens næringsstoff-konsentrasjoner i en del av strømmene nordøstover mot Skagerrak, og derved også til konsentrasjonene i Skagerrak. Avrenningen fra Danmark er ikke merket, og ferskvannet herfra er heller ikke inkludert i DNMI's modellkjøring. Når det gjelder ferskvannspåvirkningen er det ikke så viktig, fordi det utgjør forholdsvis små vannmengder, men utslippene av nitrogen og fosfor kan ha stor betydning.

Det vannet som er merket som vanntype 2, er dels ferskvann fra Østersjøen, og i tillegg vann fra de svenske vestkyst-elvene. Brakkvannet fra Østersjøen har nitrogenkonsentrasjoner på 350 µg N/l, (25 µM), hvorav ca. 2/3 er oppløst organisk, for det meste lavmolekylære forbindelser av antatt marin opprinnelse (Kaas et al. 1994), mens uorganisk nitrogen er jevnt lavt, 80 -100 µg/l (6-7 µM). Fosforkonsentrasjonene ligger på 25-35 µg/l (0.8-1.2 µM), hvorav ca. 60% er ortofosfat, alt dette kan antas biotilgjengelig ifølge undersøkelsene til Kaas et al. (1994). Tenker vi oss dette vannet som resultat av blanding av ferskvann og Skagerrak-vann (salinitet 30-35) i like store deler, kan vi regne oss tilbake til et "teoretisk" ferskvann med i hovedsak ca. 400-500 µgN/l og fosforkonsentrasjoner på anslagsvis 30 µgP/l (1 µM). Med den lange oppholdstiden i Østersjøen (flere år) er konsentrasjonene der selvsagt resultat av biologisk omsetning, og det vi regner oss tilbake til kan derfor ikke forventes å representere det som slippes ut fra land til Østersjøen. Det som strømmer inn i modellområdet gjennom Øresund og de danske beltene vil også inneholde utslipp fra sørvestre del av Sverige, fra Tyskland og fra sør-østre deler av Danmark i tillegg til det som kommer fra selve Østersjøen. Det er derfor kanskje riktigst å regne ut fra konsentrasjonene i randområdene rundt Øresund og ved beltene fremfor i den sørvestlige del av Østersjøen. Konsentrasjonene i disse randområdene til modellen er tildels noe høyere enn i Østersjøen.

Avrenningen fra den svenske vestkysten har typiske nitrogenkonsentrasjoner omkring 1 mg N/l, hvorav 2/3 er nitrat og resten stort sett ammonium. Fosforkonsentrasjonene er omkring 35 µg P/l, hvorav bare 20-30 % oppgis å være fosfat (Figur 12, side 43). Vanntype 2 burde derfor idéelt sett vært splittet opp i to vanntyper, hhv. avrenning fra Vestkysten og innstrømming fra Østersjøen, iallfall ut fra nitrogenkonsentrasjonene.

Vanntype 3, Glomma, hadde i 1993 gjennomsnittskonsentrasjoner av nitrogen og fosfor på hhv. 590 µgN/l og ca. 20µgP/l. Typiske nitrogenkonsentrasjoner om vinteren (desember-april) er

600-900  $\mu\text{gN/l}$ , hvorav ca. 70% er nitrat (PARCOM-data for perioden 1990-94), men konsentrasjoner på ca. 1300  $\mu\text{g/l}$  forekommer. De høyeste konsentrasjonene forekommer i desember og januar. Om sommeren er nitrogenkonsentrasjonene 400-500  $\mu\text{gN/l}$ , hvorav ca. 50% som nitrat, antagelig med en stor del av det resterende N bundet i organisk stoff. Fosforkonsentrasjonene varierer sterkt gjennom året, og er også høyest i vintermånedene, med totalkonsentrasjoner rundt 20-50  $\mu\text{gP/l}$  hvorav ca. 50 % er ortofosfat. Om sommeren er både totalkonsentrasjon og ortofosfat-konsentrasjon lave, hhv. 10 og 5  $\mu\text{gP/l}$ . Undersøkelser under flommen i 1995 viste at også det meste av de høye ortofosfat-konsentrasjonene ved analyse på ufiltrert vann er knyttet til partikler, idet analyse på filtrerte prøver ga jevnt lave ortofosfat-konsentrasjoner på ca. 10 % av ufiltrerte. (Faafeng et al. 1996).

Vanntype 4, Dramselva, har noe lavere konsentrasjoner enn i Glomma, med middelkonsentrasjon av N og P som i 1993 var hhv. 400 og 5  $\mu\text{g/l}$ . I 1994 ble det observert noen uvanlig høye nitrogen-konsentrasjoner på omkring 900-1000  $\mu\text{gN/l}$  (PARCOM-rapport, Holtan et al. 1995). Det har ellers ikke vært så store variasjoner over året. I Sørensen et al. (1995) er det gjort en beregning av biotilgjengelighet av N i Dramselva som konkluderer med at iallfall 85-90 % kan være uorganisk eller bundet til biologisk materiale. Ut fra en sammenligning av data for partikulært materiale i elvevannet, sedimentfeller og i sedimentet i Drammensfjorden er det konkludert med at ca. 80 % av dagens totale fosfortilførsler kan betraktes som biotilgjengelige iallfall på lang sikt.

Det som er sagt foran kan oppsummeres som i tabell 13. Tabellen viser typiske vinter/vår-verdier (januar - april) som kan brukes til å beregne N og P-konsentrasjoner ut fra passive sprednings-betraktninger for merket vann.

**Tabell 13.** Typiske vinter/vår-verdier (januar - april) for N og P-konsentrasjoner i ulike vannmasser.

Konsentrasjoner i Atlanterhavet og Skagerrak er med til sammenligning. Verdiene for Skagerrak inkluderer virkningen av langtransporterte tilførsler, og er et alternativ til å bruke merkede vann typer 1 og 2.

Vanntype:	Nitrogen ( $\mu\text{g N/l}$ )	Fosfor ( $\mu\text{g P/l}$ )
1. Britisk/Kontinentalt ferskvann	8000	100 - 200
2. Østersjøen og svenske vestkystelver	400 - 1000	30
3. Glomma	800	20
4. Dramselva	400	5
Bakgrunn (Atlanterhavet)	170	25
Bakgrunn + langtransport (Skagerrak)	70 - 300	5 - 30

### 12.1.2 Øvre grense for virkning på næringsstoff-konsentrasjon ut fra utgangskonsentrasjon av N og P i kildene

Beregningene i dette avsnittet bygger på sammensetning av vannmassene i ytre Oslofjord slik den ble simulert for 1993 av DNMI's modell ECOM-3D (Hackett et al. 1995). Beregningsmetoden er kort skissert i kap. 10.2.1. Siden beregningene betrakter en passiv spredning av næringsstoffer i overflate-laget, uten forbruk og nedsynkning underveis, må det forventes at de vil tendere mot å vise en øvre grense for påvirkningen i norske farvann. Resultatene fra modellsimuleringen er drøftet nedenfor og kombinert med konsentrasjoner i de forskjellige ferskvannskildene.

#### Modellag 1

Vanntype 1, ferskvann fra de kontinentale elvene, kan ifølge modellsimuleringen forekomme med konsentrasjoner på opp til 1.5 % i ytre Oslofjord, men mer vanlige konsentrasjoner er 0.2 - 0.5 %. Dette gjelder i hele fjorden, og mer eller mindre i alle de tetthetsdefinerte lagene. Med de utgangs-

konsentrasjoner i ferskvannet som er gitt i tabell 13 kan disse kildene teoretisk bidra med opp til 15 - 120  $\mu\text{g N/l}$ , og 0.4 - 3  $\mu\text{g P/l}$  i middel for de definerte lagene.

Variasjonsområdet er ganske stort. Ifølge DNMI's simulering vil en vente verdier i den nedre del av det angitte variasjonsområdet i april måned. Havforskningsinstituttets simuleringer gir til sammenligning andeler fra 0.5 til 2% av Tyskebukt vann i Ytre Oslofjord i april for årene 1988 til 1993. Med en nitratkonsentrasjon på ca. 500  $\mu\text{gN/l}$  i Tyskebukt vann (side 39) gir det et mulig bidrag til nitratkonsentrasjonen i Ytre Oslofjord på 3 - 12  $\mu\text{gN/l}$ . Virkningen for totalnitrogen kan være en del større.

*Vanntype 2, svensk/baltisk vann* vil ifølge modellsimuleringen finnes i ytre Oslofjord med konsentrasjoner på fra 10 til rundt 20 % av totalvolumet. Dette vannet kan ha nitrogenkonsentrasjoner på fra 400 opp mot 1000  $\mu\text{gN/l}$ , avhengig av om det er vann fra Østersjøen eller vestkystelver det dreier seg om, og fosforkonsentrasjoner på ca. 30 - 40  $\mu\text{gP/l}$ . Østersjøvannet har forholdsvis lavt innhold av næringssalter (nitritt+nitrat+ammonium, ortofosfat), men forhøyede verdier av totalnitrogen, antagelig mest som lavmolekylære organiske forbindelser av marin opprinnelse (Kaas et al. 1994).

Det er sannsynlig at utstrømningen fra Østersjøen dominerer i det som i modellen er merket som vanntype 2. For det første er netto-utstrømningen fra Østersjøen iallfall ca. 20 ganger større enn samlet vannføring i elvene. Dessuten ser det ut til at innslaget av vanntype 2 i de ytre delene av ytre Oslofjord er mer koblet med utstrømningen fra Østersjøen, slik den er beregnet av Hackett et al. (1995), enn med variasjon i avrenning fra elvene. Ialffall er andelen relativt lav først i året, i en periode hvor det ble beregnet innstrømning til Østersjøen, og øker sterkt mot sommeren og høsten. Noe av økningen i andel av vanntype 2 utover høsten 1993 i simuleringen kan skyldes at vannføringen i de svenske vestkyst-elvene øker jevnt fra august til desember (se figur 12 side 43), men variasjonen i første del av året stemmer bedre med variasjonen i utstrømningen fra Østersjøen.

Hvis vi litt vilkårlig antar at ferskvannet fra Østersjøen alene kan stå for en andel på 10-15 % av de totale vannmasser, mens de svenske elvene i overflaten kan bety ytterligere 2-5 %, kan det totale bidraget til N-konsentrasjonen i ytre Oslofjord i teorien bli 60 til 110  $\mu\text{g N/l}$  og av fosfor 4-6  $\mu\text{g P/l}$ . Det kan tenkes at vanntype 2 er ennå mer dominert av utstrømningen fra Østersjøen. Hvis vi antar at vanntype 2 bare representerer utstrømning fra Østersjøen, vil virkningen på N- og P-konsentrasjonene bli noe mindre, idet dette vannet da vil ha forholdsvis lave konsentrasjoner av både nitrat og ortofosfat. Østersjøvannet har imidlertid som nevnt høyere konsentrasjoner av organiske N-forbindelser, det vil kunne gi et bidrag på ca. 80-100  $\mu\text{g N/l}$ . Hvilken rolle dette spiller for den biologiske omsetningen er ikke godt klarlagt.

*For vanntype 3, Glomma*, brukes konsentrasjoner på 800  $\mu\text{gN/l}$  og 20  $\mu\text{gP/l}$ , litt i overkant av det som er vanlig i mars og april. Andel Glommavann og typiske verdier for bidraget til konsentrasjoner i lag 1 er oppsummert i tabell 14. Det forekommer episoder med opp til dobbelt så høye konsentrasjoner i elva, mest om vinteren, så virkningen ved enkelte tidspunkter kan bli større.



**Tabell 14.** Andel Glommavann og resulterende bidrag til N- og P-konsentrasjoner i overflatelaget (vann med tetthet  $\sigma_t < 22$ ) i Ytre Oslofjord.

Område	Andel Glommavann %	Bidrag til N-konsentrasjon ( $\mu\text{g/l}$ )	Bidrag til P-konsentrasjon ( $\mu\text{g/l}$ )
Bassenget innenfor Hvaler med Singlefjorden	15 - 25	120 - 200	3 - 5
Områdene utenfor Hvalerøyene sørover til Torbjørnskjær og vestover rundt Søstrene	5 - 10	40 - 80	1 - 2
Nordover fra Hvaler på østsiden av fjorden til Missingen - Larkollen	3 - 5	25 - 40	0.6 - 1
Breidangen og sørvestre ytre deler av fjorden, rundt snittet Larvik-Koster.	1 - 3	8 - 25	0.2 - 0.6

Det må legges til at det innenfor Hvaler (område 8) kan være høyere konsentrasjoner av Glommavann i de øvre 5-10 m. Virkningen i dette mer begrensede laget kan kanskje være opp mot det dobbelte av det som er beregnet ovenfor. Typisk salinitet innenfor Hvalerøyene i 5 m dyp er 20-25, det gir en ferskvannsandel på ca. 0.45 totalt. Hvis 0.10-0.2 er andelen av Østersjø-ferskvann, antyder dette en andel 0.25-0.35 Glommavann rundt 5 m dyp (figur 38).

Vann av type 4, fra Dramselva, gjør seg bare gjeldende innenfor linjen Missingen - Fulehuk (ut til og med område 7). I Breidangen kan andelen Dramselv-vann i det øverst laget være 10-20 %, mens det videre ut til Missingen-Fulehuk kan finnes i konsentrasjoner 5-10 % med størst konsentrasjoner på vestsiden. I områdene sør for denne linjen ligger andelen Dramselv-vann innenfor 1-2 %. Med utgangskonsentrasjoner på 500  $\mu\text{gN/l}$  og 5  $\mu\text{g/l}$  P i ferskvannet kan bidraget fra Dramselva anslås til 50-100  $\mu\text{gN/l}$  og 0.5-1  $\mu\text{gP/l}$  i Breidangen, 25-50  $\mu\text{g N/l}$  og 0.25-0.5  $\mu\text{g P/l}$  i midtre del av fjorden ut til Missingen - Fulehuk, og i ytre del av fjorden relativt liten virkning, innenfor 10  $\mu\text{gN/l}$  og 0.1  $\mu\text{g P/l}$ . Virkningen er beregnet for en vintersituasjon, og uten retensjon i fjorden. Resultatene er vist i tabell 15.

**Tabell 15.** Andel Dramselv-vann og resulterende bidrag til N- og P-konsentrasjoner i overflatelaget (vann med tetthet  $\sigma_t < 22$ ) i ytre Oslofjord.

Område	Andel Dramselv-vann %	Bidrag til N-konsentrasjon ( $\mu\text{g/l}$ )	Bidrag til P-konsentrasjon ( $\mu\text{g/l}$ )
Breidangen	10 - 20	50 - 100	0.5 - 1
Fra Horten - Moss sør til Missingen - Fulehuk	5 - 10	25 - 50	0.25 - 0.5
Utenfor Missingen - Fulehuk	1 - 2	$\leq 10$	0.1

Også her gjelder det at bidraget til konsentrasjonene kan være sterkere i et mer begrenset lag innenfor 5-10 m fra overflaten, det gjelder særlig i Breidangen. På den annen side skjer det en vesentlig utfelling av P i Drammensfjorden, slik at en mindre del kommer ut direkte med flommen, og mer sirkulerer via dypvannet. Særlig om sommeren vil virkningen være noe mindre, idet algevekst og nedsynkning i Drammensfjorden vil føre en del N og P til dyplagene. På årsbasis kan det dreie seg om 80 % av tilførslene for P, og ca. 5-10 % av tilførslene for N. Ca. 80 % av det fosfor som synker ned vil senere

eksporteres via dypvannsfornyelser, mens under halvparten av det N som synker ned vil eksporteres (Sørensen et al. 1995).

#### Mulig virkning av norske elvetilførsler konsentrert i de øvre 10 meter

Som nevnt foran vil vannet fra Dramselva og Glomma ofte være konsentrert i de øvre 5-10 meter, og virkningen der kan være sterkere enn som middel over modell-lag 1. Beregningen ovenfor vil i så måte underestimere innflytelsen de norske tilførslene har. Ut fra en vurdering av observasjonsmaterialet fra fjorden kan det som en alternativ betraktning, for å få anslått en øvre grense for virkningen av tilførslene i overflatelaget, være brukbart å se på virkningen dersom de norske tilførslene antas konsentrert i de øverste 10 meter. En øvre grense for det samlede bidraget til nitrogenkonsentrasjoner fra Dramselva og Glomma i de øvre 10 meter for en senvinter/vår-situasjon er derfor anslått ved å regne om modellresultatene. Konsentrasjonsbidraget beregnet for modell-lag 1 regnes om med en faktor  $H/10$ , hvor  $H$ =tykkelsen av modell-lag, i de tilfellene hvor  $H > 10$  m, hvis ikke er verdien uendret. Slike beregninger basert på N-konsentrasjonene i tabell 15 gir de resultater som er vist i tabell 16 for månedene april - juni.

**Tabell 16.** Anslått bidrag til N-konsentrasjoner fra norsk ellevann (Dramselva og Glomma) i Ytre Oslofjord hvis det er konsentrert i de øvre 10 m, for sen-vinter/vår-situasjon.

Område	bidrag til total N-konsentrasjon: $\mu\text{g N/l}$ :	
	Variasjonsområde	Median i mai
Breidangen	50-200	140
Midtre fjord	20-150	100
Hvaler/Singlefjorden	80-400	225

#### Kommentar

Bidraget fra de forskjellige kildene er ovenfor bare beregnet i forhold til om vedkommende vanntype hadde N- eller P-konsentrasjon = 0. Det er relevant fordi det samtidig sier noe om mulig virkning av å minske tilførslene, dvs. konsentrasjonene i en kilde, med en viss prosent. Tallene sier altså noe om potensialet for forbedringer ved minsket utslipp. Tallene sier imidlertid ikke direkte hvor mye konsentrasjonene kan variere over tid pga varierende innslag av de forskjellige vanntypene. I såfall må en også ta hensyn til at vann av ulike typer erstatter hverandre i totalvolumet, f.eks. at økt innslag av Glommavann gir mindre andel av de andre vanntypene. Til et slikt formål må en ta utgangspunkt i de ulike kildenes *overkonsentrasjoner* i forhold til relevante bakgrunnskonsentrasjoner fremfor total-konsentrasjoner. For kontinentalt ferskvann spiller det ikke så stor rolle, fordi konsentrasjonene i ferskvann er så mye høyere enn bakgrunnskonsentrasjonen i Nordsjøen, men for de andre vanntypene er det, spesielt for fosfor, slik at konsentrasjonene stort sett er nede på eller lavere enn bakgrunnsverdier i Atlanterhavet og i Skagerrak. Da vil en ikke vente å se noen økning i konsentrasjon med økt innslag av en disse vanntypene.

Det må tilføyes at variasjon i tid, selv ut fra en passiv spredningsbetraktning, vil forekomme pga. at utgangskonsentrasjonene i ulike vanntyper varierer i tid og ikke bare pga. varierende innslag av ulike vanntyper. De tallene som gis ovenfor, er derfor bare å betrakte som en grov-skalerting av mulig påvirkning; i realiteten vil en vente store variasjoner.

### 12.1.3 Vurdering av de norske hoved-elvenes betydning sett på bakgrunn av målt vannkvalitet i Skagerrak

Som en alternativ vurdering av virkningen av de langtransporterte forurensningene kan vi også gå ut fra måledata for vannkvaliteten i Skagerrak, og bruke dem direkte som bakgrunnskonsentrasjon for vannutvekslingen i ytre Oslofjord. Det vil da inkludere virkningen av langtransporterte påvirkninger og atmosfærisk nedfall.

For dette prosjektet har NIVA fått data fra Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institusjon (SMHI) i den sørlige delen av det område som har forhøyde konsentrasjoner av vann fra Tyskebukta ifølge HIs simuleringer (Svendsen et al. 1995). Disse data er analysert i kap. 8.2.

For å oppsummere resultatene av dette, kan det se ut til at vinterkonsentrasjonene av oppløst uorganisk nitrogen i Skagerrak nesten alltid er mindre enn ca. 200  $\mu\text{g N/l}$ , og verdier under 140  $\mu\text{gN/l}$  er vanlige. Unntaksvis forekommer konsentrasjoner så høye som 300-450  $\mu\text{gN/l}$ . I tillegg kan det være en ganske stor del av nitrogen som er biologisk bundet, og omfattes mer eller mindre av den hurtige biologiske omsetningen i vannmassene. Totalfosfor-konsentrasjonene mot slutten av vinteren i Skagerrak vil typisk være ca. 15-20  $\mu\text{g P/l}$ , med ortofosfatkonsentrasjoner som er 10-15  $\mu\text{gP/l}$  lavere enn dette, men det er store variasjoner, for en gitt salinitet.

Vurdert ut fra hvor mye vinterkonsentrasjonene i overflaten kan variere i forhold til normalt variasjonsmønster med dypet, og hvor mye det varierer ved gitt salinitet, ser det ut til at vi kan anta at 15-30  $\mu\text{g/l}$  fosfor og 150-300  $\mu\text{g/l}$  nitrogen er typiske verdier for den næringssaltanrikning vi ofte kan ha i de øvre 50-100 m i Skagerrak pga. episodiske innslag av N- og P-rikt vann. Verdiene er midlertid svært ofte også langt lavere, med uorganiske næringssaltkonsentrasjoner på hhv. 10  $\mu\text{P/l}$  og <100  $\mu\text{gN/l}$ .

I lys av dette, og ut fra beregningene i forrige avsnitt, ser det ut til at både Dramselva (i Breidangen) og Glomma (i midtre og østre deler av fjorden) regelmessig vil kunne gi en dobling av nitrat-konsentrasjonene, mens virkningen på fosforkonsentrasjonene ikke er så sterk. Imidlertid vil det også hyppig opptre situasjoner hvor påvirkningen utenfra er den dominerende, både når det gjelder N og P. Bidraget fra de lokale kildene vil være forholdsvis konstant, mens påvirkningen utenfra er mye mer varierende.

## 12.2 Konsentrasjonsberegninger ut fra volumer og transporter i ytre Oslofjord

En annen angrepsmåte enn i kapitlene foran er som nevnt å bruke modelltall for de definerte delvolumer som funksjon av tid, og for transporter mellom delvolumene, til å beregne kombinert virkning av lokale utslipp og vannutveksling utenfra. Det gir mulighet til å beregne virkningen også av utslipp som ikke er knyttet til noen av de merkede kildene, f.eks. de lokale utslippene av avløpsvann fra rensesanlegg og annen direkte tilrenning fra områdene rundt ytre Oslofjord. Ved å legge inn de forskjellige utslippene som funksjon av tid og integrere virkningen av utslipp og spredning ut fra de gitte data om delvolumer og transporter mellom dem, kan en i prinsippet beregne gjennomsnittskonsentrasjoner for hvert delvolum som funksjon av tid. Det gjør det også mulig å variere tilførslene gjennom ulike scenarier og slik estimere betydningen av ulike tiltak. Beregningene er beskrevet mer i detalj i vedlegg Vedlegg E. , her oppsummeres bare resultatene. Bare gjennomsnittlige forhold i modell-lag 1 er beregnet med denne metoden.

Utgangspunktet er en beregning for norske tilførsler tilsvarende situasjonen rundt 1993, slik de er beregnet av tilførsels-modellen TEOTIL (Tjomsland og Bratli 1995). Resultatene er basert på opplysninger om utslipp fra kommunalt avløp og industri, og beregnet avrenning fra jordbruksarealer

og naturområder. Det er redegjort nærmere for beregning av tilførslene i vedlegg Vedlegg B. . I tillegg er det beregnet for et antall scenarier som innebærer endringer i forhold til dette.

Følgende scenarier er beregnet:

- A. Med dykking til 50 m av alle utslipp fra rensanlegg direkte til Ytre Oslofjord.<sup>1</sup>
- B. Med 70 % nitrogenfjerning på alle rensanlegg med utslipp direkte til Ytre Oslofjord.
- C. Med 80 % N-fjerning på VEAS rensanlegg ved Slemmestad, indre Oslofjord (rensegraden er satt skjønnsmessig).
- D. Med utslipp fra all tettbefolkning satt til 0, både av P og N, uansett geografisk opprinnelse, dvs. at det også omfatter utslippene som kommer via Dramselva og Glomma, og via indre Oslofjord.
- E. Med alle norske menneskeskapte utslipp satt = 0, dvs. at bare bakgrunnsverdier for arealavrenning er med.
- F. Med alle norske utslipp satt = 0, dvs. at også bakgrunnsverdier er fjernet.

Det må bemerkes at bakgrunnsverdiene for arealavrenning inkluderer atmosfærisk nedfall av langtransportert N, og altså til en viss grad også er menneskeskapt.

De endringene som er beskrevet under hvert scenario gjelder uavhengig av hverandre, og i forhold til dagens situasjon (1993), og det er altså ikke beregnet direkte for kombinasjoner av ulike scenarier. Scenario B og C berører ikke de samme kildene, og siden beregningene er basert på passiv transport av næringssalter, som er lineært avhengig av konsentrasjoner, kan den kombinerte virkningen finnes ved å addere endringene i konsentrasjon fra 1993-situasjonen fra de to scenariene. Ellers er det stort sett slik at scenariene er mer omfattende jo lenger ned i tabellen en kommer, og da skal en selvsagt ikke kombinere virkninger på denne måten.

Virkningen av endringer på utslippene er bare beregnet for ett simulert år (1993) som beskrevet av Hackett et al. (1995). Det har ikke vært mulig innenfor prosjektrammene å utvide scenariene til å omfatte situasjoner med spesielle klimatiske forhold (mild vinter, kraftig vårflom m.v.).

Ved beregningene er målte konsentrasjoner av N og P i Skagerrak (SMHI-data) brukt som utgangspunkt for å sette bakgrunnskonsentrasjoner i det vannet som strømmer inn i ytre Oslofjord utenfra. For fosfor er totalkonsentrasjonen brukt. For nitrogen er mengden biologisk bundet og/eller omsettelig N anslått som summen av uorganisk N, en andel av oppløst organisk + anslått mengde biologisk bundet N satt til  $16 \cdot (\text{totP} - \text{PO}_4)$  (som molar), idet vi antar at restmengden av P representerer organisk stoff med N:P Redfield-forhold. Hvis i stedet total-nitrogen hadde vært brukt som bakgrunnskonsentrasjon, ville total N-konsentrasjon for alle scenarier bli 70-150  $\mu\text{g N/l}$  høyere, og den relative virkning av de norske tilførslene tilsvarende mindre. Da vil bakgrunnskonsentrasjonen imidlertid omfatte en del oppløst organisk N som vanligvis antas å omsettes langsomt.

Å la konsentrasjoner på randen til Skagerrak være upåvirket av lokale tilførsler innebærer at det ikke er tatt hensyn til tilbakekobling ved at vann påvirket av lokale kilder først kan strømme ut av området og deretter komme tilbake ved virvelbevegelser eller skiftende strømmønstre. I så måte er virkningen

---

<sup>1</sup> Dette dreier seg om 19 anlegg, to på Hurum, 6 anlegg på østsiden av fjorden mellom Vestby og Moss, og 11 anlegg på vestsiden av fjorden mellom Sande og Larvik. For detaljer se tabell 8.

av de lokale kildene underestimert ved denne betraktningen. Slik tilbakekobling har likevel antagelig liten betydning pga. de korte oppholdstidene i ytre deler av fjorden.

Ferskvannet fra Glomma fordeles med 70 % på areal 8 (Hvaler/Singlefjorden) og 30 % på areal 9 (Leira), kfr. kap. 7.3. Dramselva kommer ut i område 2. Ferskvann direkte til de andre områdene er ikke med i modellen. Andre ferskvannstilførsler enn elvene, f.eks. fra renseanlegg, representerer forholdsvis små vannmengder i forhold. Ferskvannstilførselen går i hovedsak til overflatelaget, dvs. det øverste laget som har volum > 0. Det behøver ikke alltid være lag 1, i perioder kan det ha volum = 0 innenfor en del områder. Måten ferskvannet er fordelt på lagene er nærmere beskrevet i vedlegg Vedlegg D. For næringsstoffer vil en del av tilførslene, som kan tilskrives renseanlegg, bli ført ut på større dyp.

Det er brukt gjennomsnittsverdier for måned, både for utslipp og for bakgrunnskonsentrasjon innenfor hvert av de 4 tetthetsdefinerte lagene. Det innebærer at beregningene ikke viser hele variasjonsområdet for mulige virkninger, hverken for de lokale tilførsler eller for påvirkningen utenfra via Skagerrak, men bare forventede typiske verdier. Som for den forrige beregningen må det også tas i betraktning at det bare dreier seg om passiv spredning, dvs. at virkning av biologisk omsetning og partikkelbundet vertikaltransport ikke er tatt hensyn til.

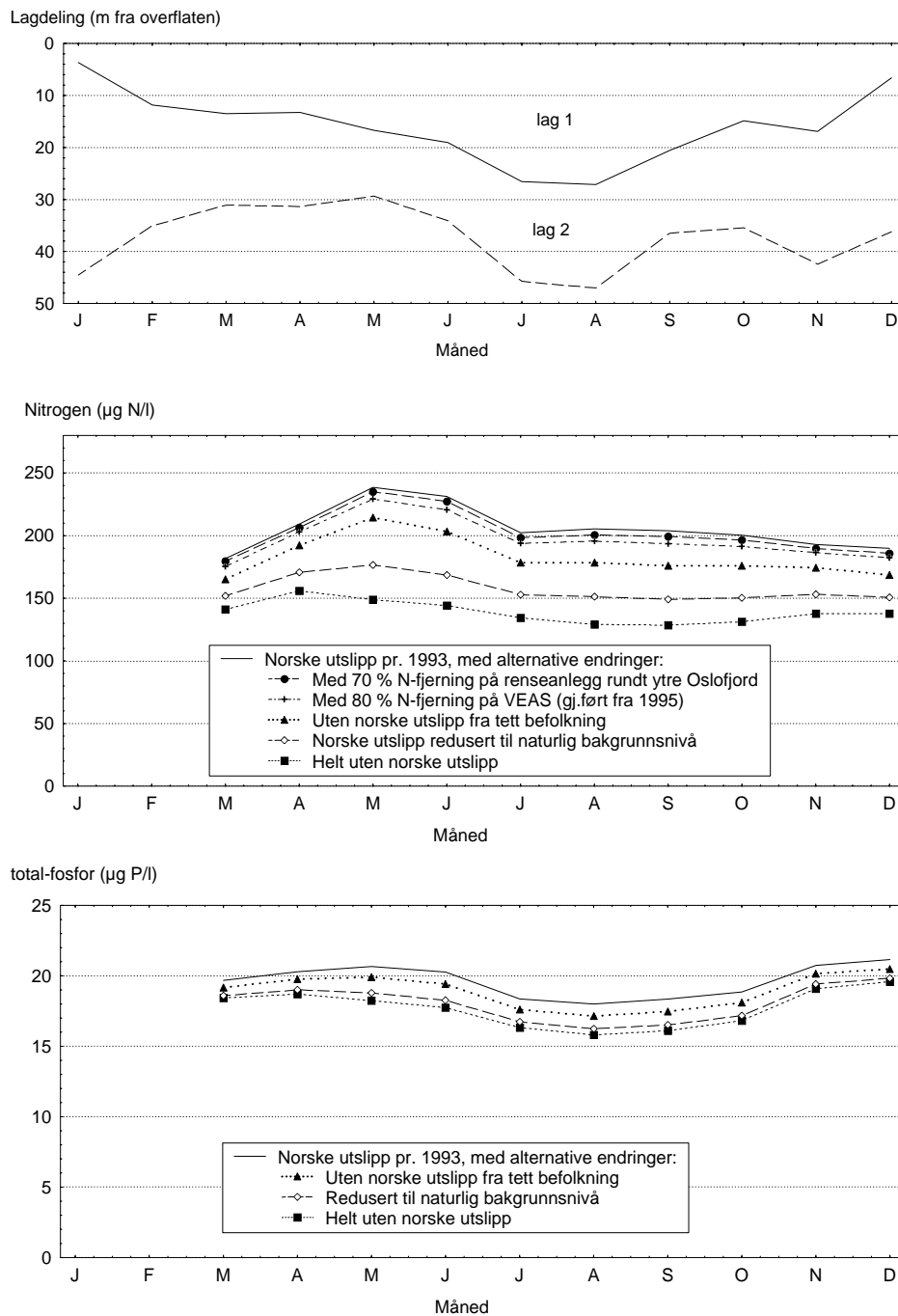
Figur 40 og figur 41 viser beregnet konsentrasjon av N og P ved de ulike scenariene gjennom månedene mars - desember i det øverste modell-laget, i Breidangen og i området omkring Rauer. Tykkelsen av lag 1 og 2 er også vist ca. på månedsbasis (3 - 5 ukemidler bak hver verdi).

De tre siste scenariene er selvsagt ikke realistiske, men gir et bilde av hvilken skala for mulig virkning av tiltak en opererer med, og hva de norske tilførslene betyr totalt sett. Alternativ F viser også hvordan bidraget utenfra varierer gjennom året i gjennomsnitt.

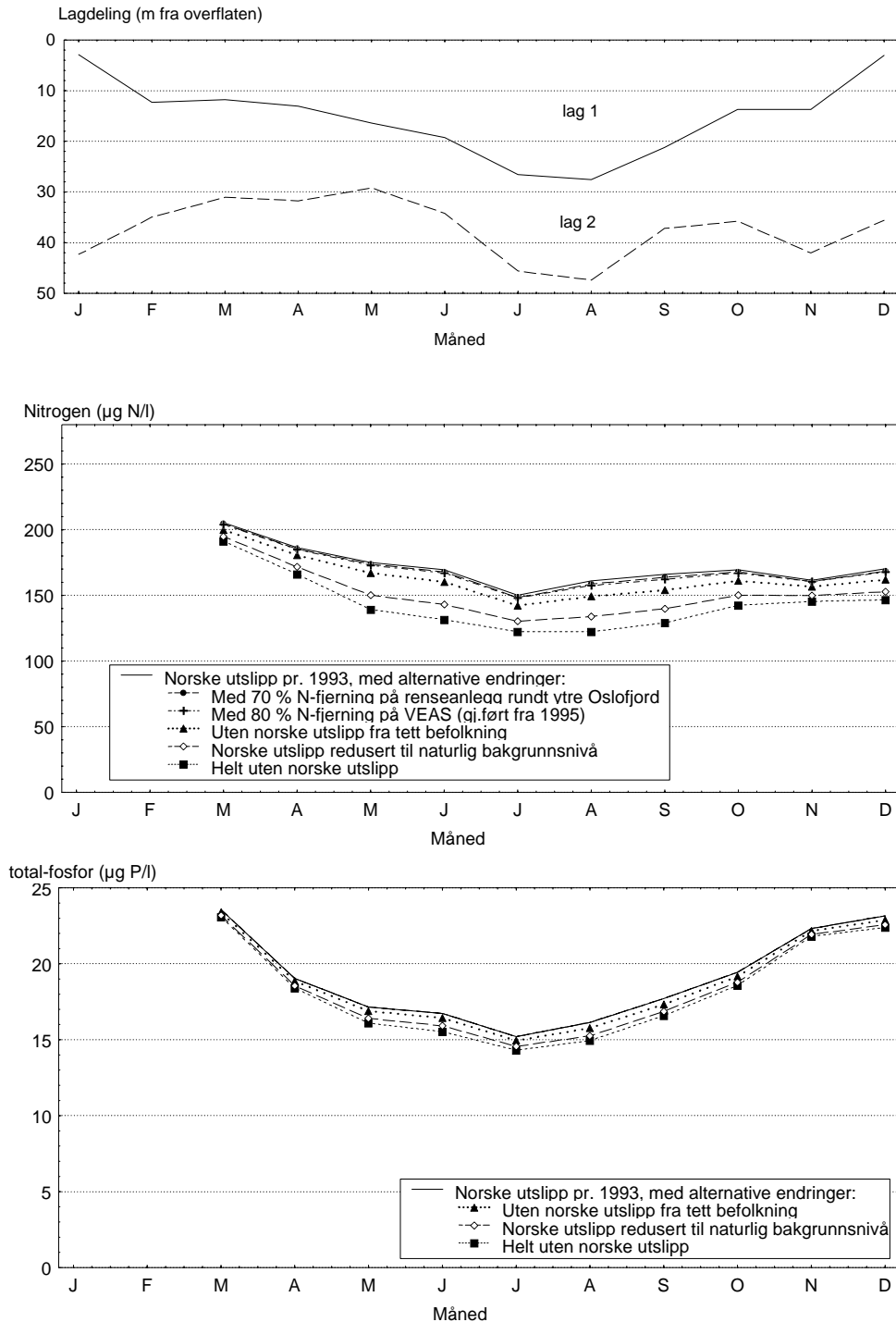
Beregningene tyder på at de norske utslippene, inkludert bakgrunnsstilførsler, samlet sett har vesentlig innvirkning på nitrogenkonsentrasjonene i Breidangen i lag 1, idet de i gjennomsnitt bidrar med et tillegg på opp mot 100 µgN/l, eller 40 % av antatt biologisk aktiv del av N-konsentrasjonen, og også er merkbare lengre ut, hvor de kan gi et bidrag på 30 µgN/l, eller ca. 15 - 20% av antatt biologisk aktiv N-konsentrasjonen. For fosfor er betydningen av det norske bidraget mye mindre.

Bare en mindre del av det samlede norske bidraget til overkonsentrasjoner er knyttet til kommunalt utslipp fra tettbefolkede strøk slik modellen TEOTIL har beregnet tilførslene. Potensialet for en forbedring ved hjelp av N-fjerning på renseanlegg alene er derfor begrenset, men dette tiltaket må sees i sammenheng med de samlede tiltak på alle sektorer.

Scenario A med dykking av utslippene til 50 m for alle renseanlegg rundt ytre Oslofjord ser ikke ut til å ha noen vesentlig virkning på de generelle forholdene i ytre Oslofjord. Endringene for de gjennomsnittlige forholdene i overflatelaget er så små at de ikke er tatt med i figuren. Dykking ser ut til bare å gi en viss tidsforsinkelse når det gjelder oppblanding i overflatelaget, men ikke noen reell reduksjon over tid i hva som når lag 1. Det må imidlertid tilføyes at beregningene ikke gir noe fullgodt bilde, fordi den vertikale oppløsningen ved beregningen er begrenset. Beregningene gjelder middelkonsentrasjoner i et overflatelag med tykkelse som varierer fra 10 - 15 om våren til 25 - 30 m om sommeren. Det kan godt tenkes at det i visse situasjoner kan ha betydning om et nærings saltbidrag kommer høyt opp eller lengre ned i dette laget. Det må også understrekes at det er feilkilder i beregningen, bla. er det vanskelig å vite om vertikalblandingen er riktig beregnet. På den annen side virker det rimelig at virkningen er forholdsvis liten, fordi det delvis bare dreier seg om en forsinkelse i tid, ved at utslipp innlagres under overflatelaget for senere å trekkes opp i forbindelse med den estuarine sirkulasjonen. Det fremgår også av resultatene at det nettopp gir en viss forsinkelse, med lavere konsentrasjoner når den øker i tid, og høyere konsentrasjoner i perioder hvor den avtar i tid, men virkningen er for liten til å komme frem på figuren. Den virkningen som er beregnet gjelder gjennomsnittlige forhold i større deler av ytre Oslofjord, betydningen av dykking lokalt for nærområdene til utslippet er ikke tatt i betraktning, og kan være vesentlig.



**Figur 40.** Beregnet variasjon i konsentrasjon av N ved ulike scenarier for norske tilførsler pr. 1993 i det øverste modell-laget i Breidangen.



**Figur 41.** Beregnet variasjon i bidrag til konsentrasjon av P fra norske menneskeskapt tilførsler pr. 1993 i området omkring Rauer.

80 % N-fjerning ved VEAS vil gi en reduksjon med i gjennomsnitt 10 - 15  $\mu\text{gN/l}$  i lag 1 i Breidangen. Nitrogenfjerning på rensenanlegg med utløp direkte til ytre Oslofjord har en synlig, om enn liten, effekt på N-konsentrasjonene i Breidangen, til sammen ca. halvparten av det N-fjerningen ved VEAS kan ventes å gi. De to tiltakene er her beregnet hver for seg. VEAS-tiltaket er allerede gjennomført fra 1995, og dersom N-rensing på Bekkelaget rensenanlegg og de andre rensanleggene både i ytre og

indre Oslofjord og i Drammensfjorden gjennomføres som tillegg til dette vil vi komme ennå noe lavere. Den totale virkningen av denitrifisering på renseanleggene kan anslås å gi ca. 20 µgN/l lavere konsentrasjoner i snitt, dvs. ca. 20 % av overkonsentrasjonene knyttet til norske utslipp. Anslagsvis 70-80 % av dette vil være knyttet til tiltak i indre Oslofjord. Det kan påpekes at virkningen i Breidangen ligger innenfor det variasjonsintervall som foran ble anslått for påvirkningen fra kontinentale elver. Det meste av denne virkningen vil selvsagt være knyttet til de renseanleggene som ligger lengst inn i fjorden.

Virkningen av N-fjerning i indre Oslofjord burde bli større i lag 2 og 3 enn i lag 1, fordi en stor del av utslippene der er dyputslipp og må forventes å transporteres ut med utskiftet dypvann fra indre Oslofjord. Slikt utskiftet vann vil vi vente ofte havner i lag 2 eller 3. Modellresultatene gir imidlertid størst virkning i lag 1. Det henger sammen med at modellberegningen ikke tar hensyn til at store deler av utslippene til indre Oslofjord er dykket. Det kan derfor være at virkningen i det definerte overflate-laget i realiteten er noe mindre enn beregnet her, men til gjengjeld større lengre ned. Modellen har antagelig for sterk vertikalblanding, og indre Oslofjord er ikke modellert med reell topografi (Hackett et al. 1995) men bare tatt med som et enkelt rektangulært basseng for å få riktigere dynamikk i Drøbaksundet og Breidangen, så en kan uansett ikke vente å beskrive innlagring etter tetthet av vannmasser utskiftet fra indre Oslofjord på en helt realistisk måte.

Figur 42 viser ved boksdiagrammer det beregnede bidraget fra de norske menneskeskapte tilførslene til konsentrasjonene i ulike deler av ytre Oslofjord i de to øverste lagene gjennom året 1993, dvs. forskjellen mellom estimerte 1993-utslipp og utslipps-scenario E. Tallene er beregnet ut fra simuleringsforløpet til Hackett et al. (1995).

Månedene januar og februar er utelatt, både fordi de har begrenset interesse i denne sammenhengen pga. liten biologisk aktivitet, og fordi de helt klart utgjør en innkjøringsfase i beregningene, hvor konsentrasjonene bygger seg opp mot likevekt. De beregnede lave bidragene i mars og april må muligens også betraktes som resultat av at det er en innkjøringsperiode i integrasjonen av stoffbudsjetter, men de norske tilførslene vil også tildels være lavere om vinteren.

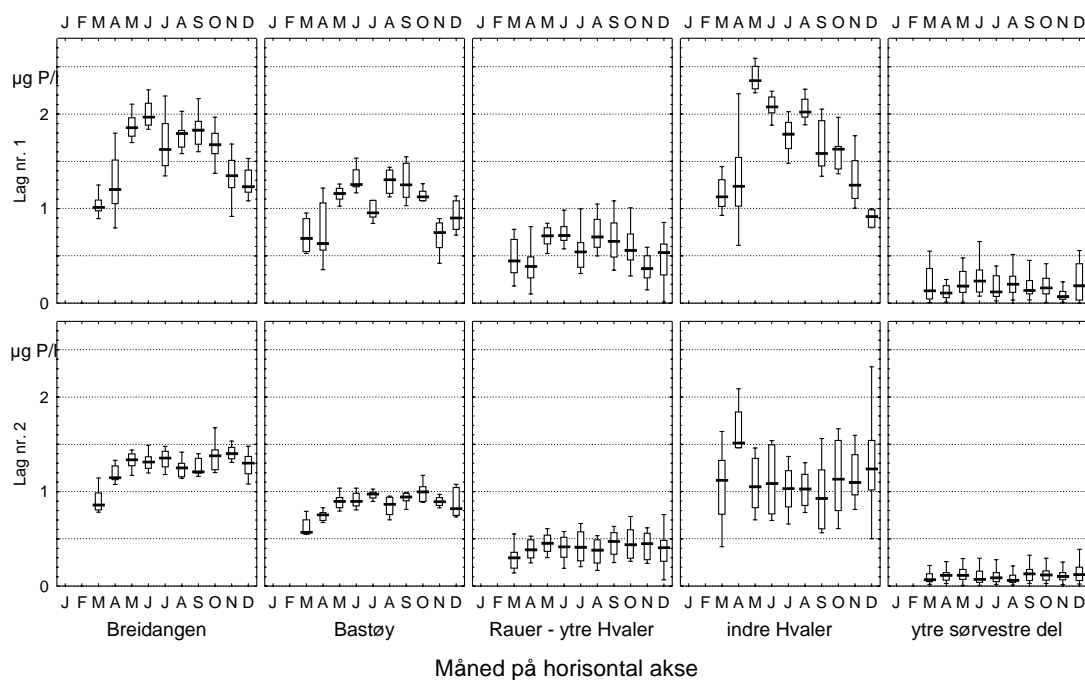
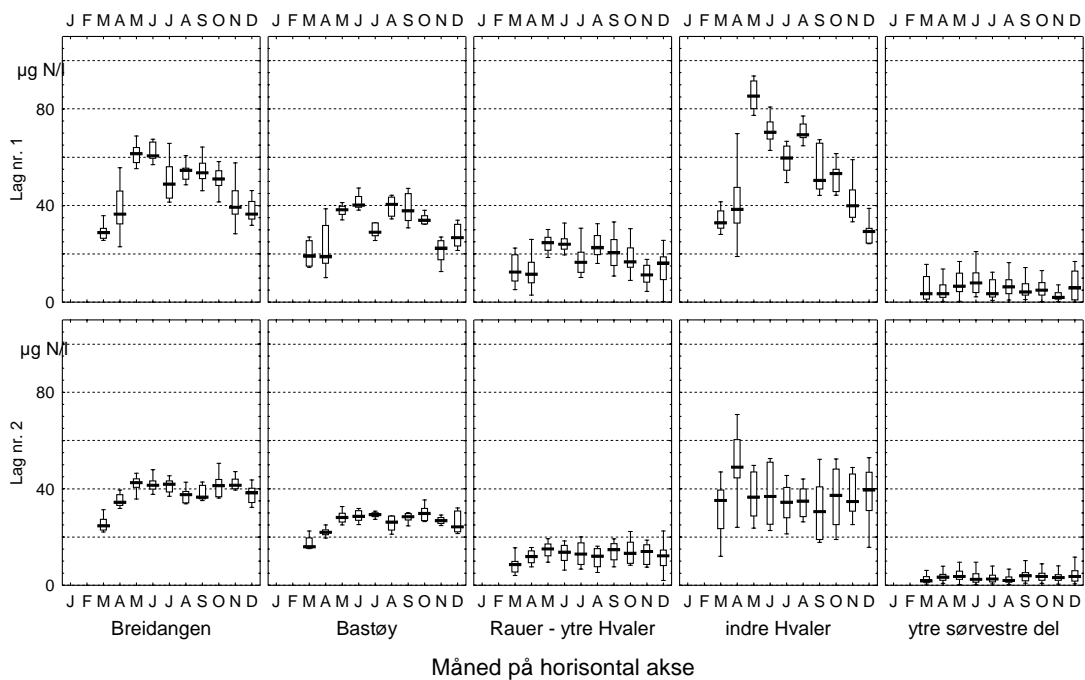
Figurene viser resultater separat for hvert av de to øverste tetthetsdefinerte lagene, og for følgende områder:

- A. Breidangen (boks 1, 2 og 3)
- B. Bastøybassenget (område 4 og 5)
- C. Rauerbassenget og ytre Hvaler (området 6 og 7, 10 og 12)
- D. Indre deler av Hvaler, dvs. Leira (område 9), og Hvaler/Singlefjorden (område 8)
- E. Sørvestre ytre deler av fjorden (område 11, 13, 14, 15 og 16)

Den største virkningen, med konsentrasjonsbidrag på opp mot 60 - 70 µgN/l og 2 µg P/l, fås i Breidangen og i Hvaler/Singlefjorden innenfor Hvalerøyene. For nitrogen er virkningen som nevnt vesentlig, mens den for P er relativt liten. I de midtre deler av fjorden og utenfor Hvaler er det fortsatt en viss virkning m.h.t. nitrogen (30 - 40 µgN/l), men i de sørvestre ytre deler av fjorden, hvor det er stor gjennomstrømming av vann fra Skagerrak, har de norske tilførslene svært lite å si for konsentrasjonene totalt.

Ifølge modellberegningene vil virkningen av gjenværende norske menneskeskapte tilførsler etter at N-fjerningen på VEAS er gjennomført være ca. 7-10 µgN/l mindre i Breidangen enn før tiltaket ble gjennomført, virkning i Bastøybassenget er ca. halvparten av dette. Dvs. at ca. 10-15 % av den maksimalt realiserbare N-reduksjonen kan forventes gjennomført med N-fjerningen på VEAS.





**Figur 42.** Bidrag til konsentrasjon av næringsstoffer N (øverst) og P (nederst) fra norske menneskeskapte tilførsler pr. 1993 i de to øverste lagene i ulike deler av fjorden, beregnet med transporter iflg. modellsimulering.

En sammenligning mellom andel av Dramselv-vann beregnet direkte av simuleringen til Hackett et al. (1995) og tilsvarende tall forsøkt gjenskapt med transportberegningene antyder at virkningene av norske tilførsler på konsentrasjonene kan være for lavt anslått i indre og midtre deler av fjorden, og de reelle verdiene kan være dobbelt så høye som vist i figuren, dvs. anslagsvis 100 - 120 µg N/l. Dette kan være et vesentlig bidrag til overkonsentrasjoner sammenlignet med det som kan komme inn fra Skagerrak. En generell 50 % reduksjon av N-tilførsle vil i såfall kunne gi en reduksjon i midlere N-konsentrasjon i lag 1 på 50-60 µg/l i Breidangen (område A) og ca. halvparten i midtre deler av fjorden (område B). Hvis en tenker seg å fjerne utslipp fra tettbefolkning, dvs. fra renseanlegg, fullstendig (inkludert utslippene til Drammensfjorden, indre Oslofjord), kan det fortsatt gi merkbar reduksjon i Breidangen (30-60 µg N/l). En del av dette er imidlertid allerede som sagt gjennomført i og med N-rensingen på VEAS renseanlegg i indre Oslofjord. For de midtre deler av fjorden kan det antydes en reduksjon på 15-30 µg N/l, i Glommas nærsoner ca. 10 µg/l, og lenger ute forholdsvis lite.

Reduksjon i P-tilførsler vil generelt være av mindre betydning.

## **12.3 Vurdering ut fra tilgjengelige hydrokjemiske data for ytre Oslofjord**

Det kan være interessant å sammenligne anslåtte virkninger av norske utslipp med observasjoner av næringsstoff-konsentrasjoner i ytre Oslofjord og Skagerrak.

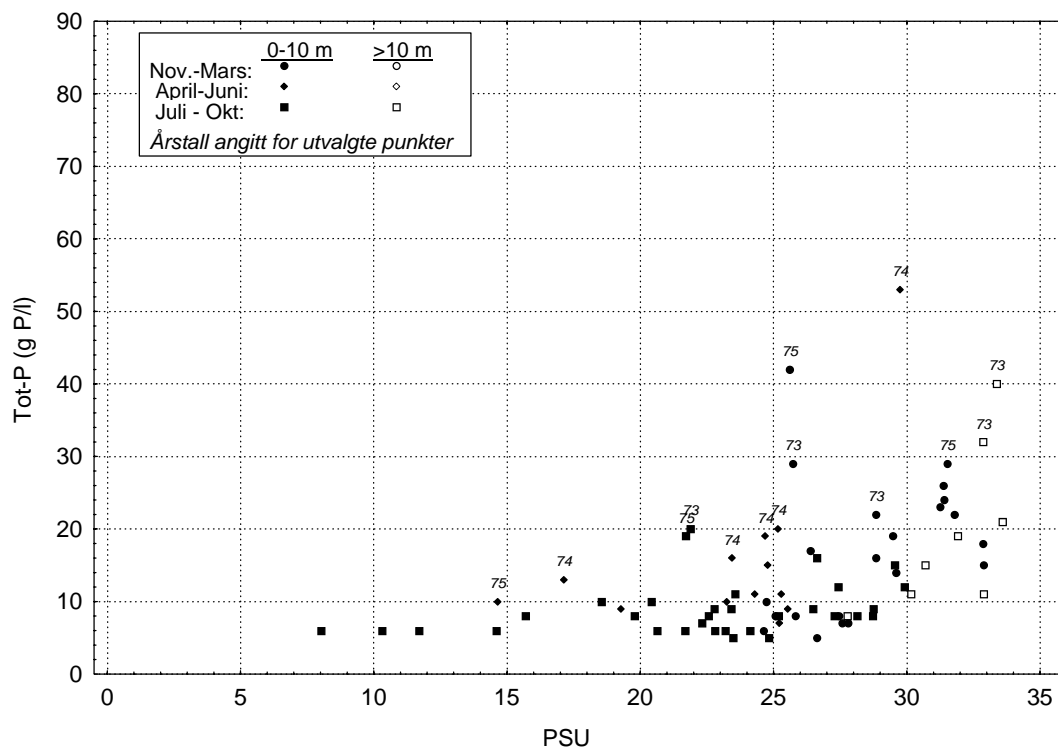
### **12.3.1 Målte N- og P-konsentrasjoner som funksjon av salinitet, dyp og årstid.**

I figur 43 - 46 er konsentrasjoner av total-nitrogen, nitrat, totalfosfor og ortofosfat vist som funksjon av salinitet for fjorden innenfor linjen Fulehuk - Missingen, dvs. Drøbaksundet, Breidangen og midtre fjord. Figur 47 til figur 50 viser tilsvarende bilde for området sør for denne linjen, dvs. Hvalerområdet/Singlefjorden og områdene vest og sør for dette området, inkludert de åpne områdene mot Skagerrak.

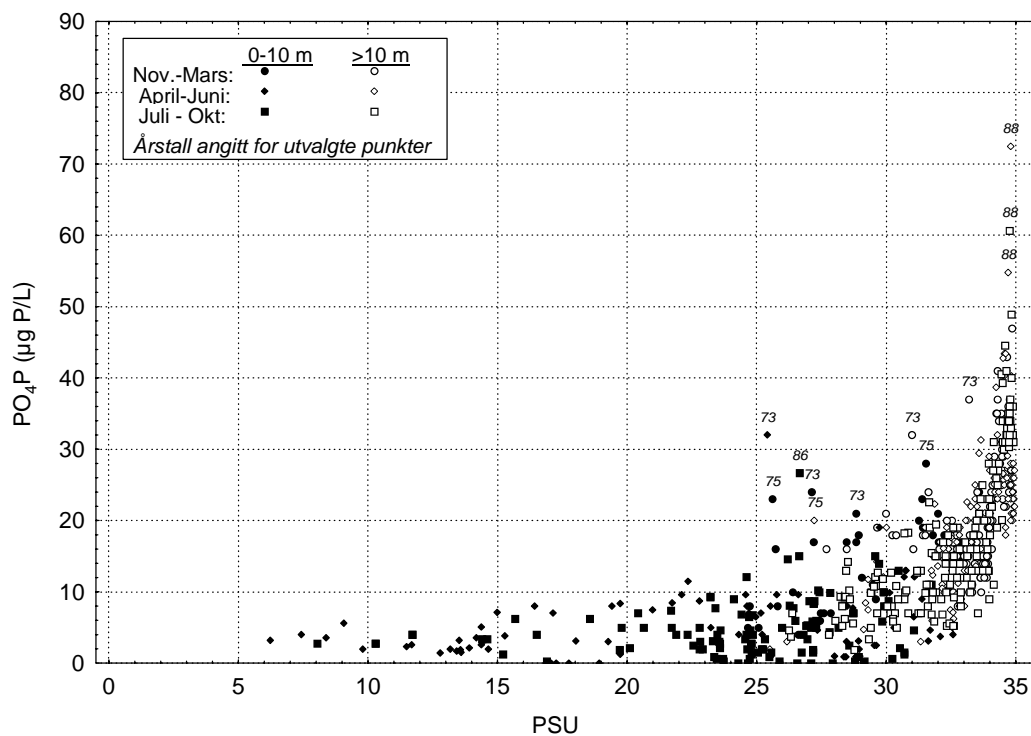
Hver figur viser data for en bestemt stoffkomponent. Som det fremgår av figurforklaringene, er det brukt ulike symboler til å vise omtrent når på året observasjonene er fra, og data fra 0-10 m dyp og fra dyp >10 m er skilt ut ved henholdsvis åpne og lukkede symboler. For noen punkter er årstallet angitt i figuren.

Datamaterialet har en nokså varierende dekning av forskjellige kombinasjoner av år, årstid, dyp og geografisk område, og omfanget varierer også mellom de fire målevariablene, så en skal være forsiktig med å trekke for bastante konklusjoner om hva som er vanlig variasjonsområde. På grunn av at mange datapunkter er fra samme tidspunkt og fra vannmasser som har mer eller mindre samme opphav, kan en ikke behandle materialet som en samling uavhengige observasjoner, og vanlige statistiske tester på forskjeller har da liten mening. Figurene indikerer likevel noen tydelige trekk som vi skal drøfte nedenfor.

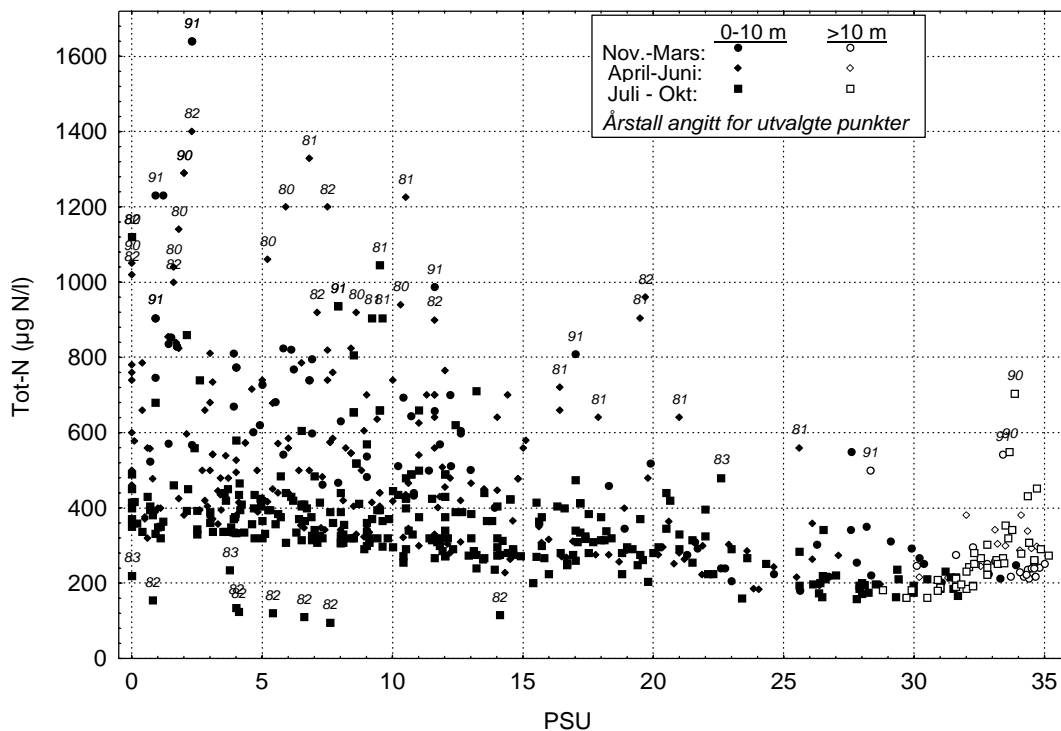




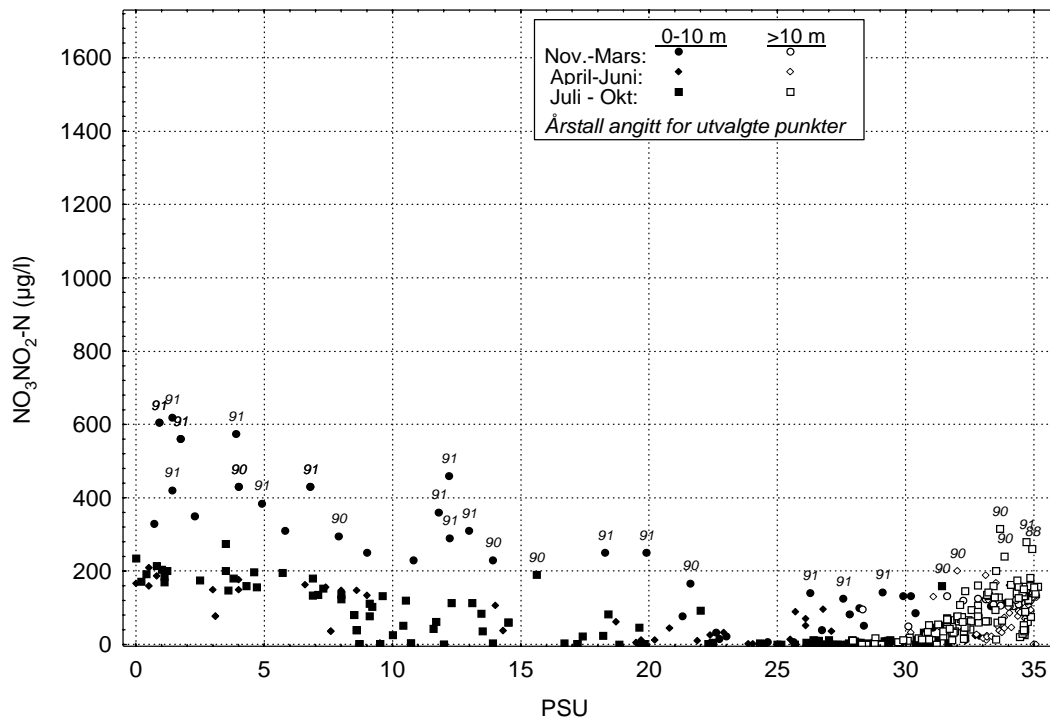
**Figur 45.** Målt konsentrasjon av totalfosfor som funksjon av salinitet i nordlige og midtre deler av ytre Oslofjord, innenfor linjen Fulehuk - Missingen.



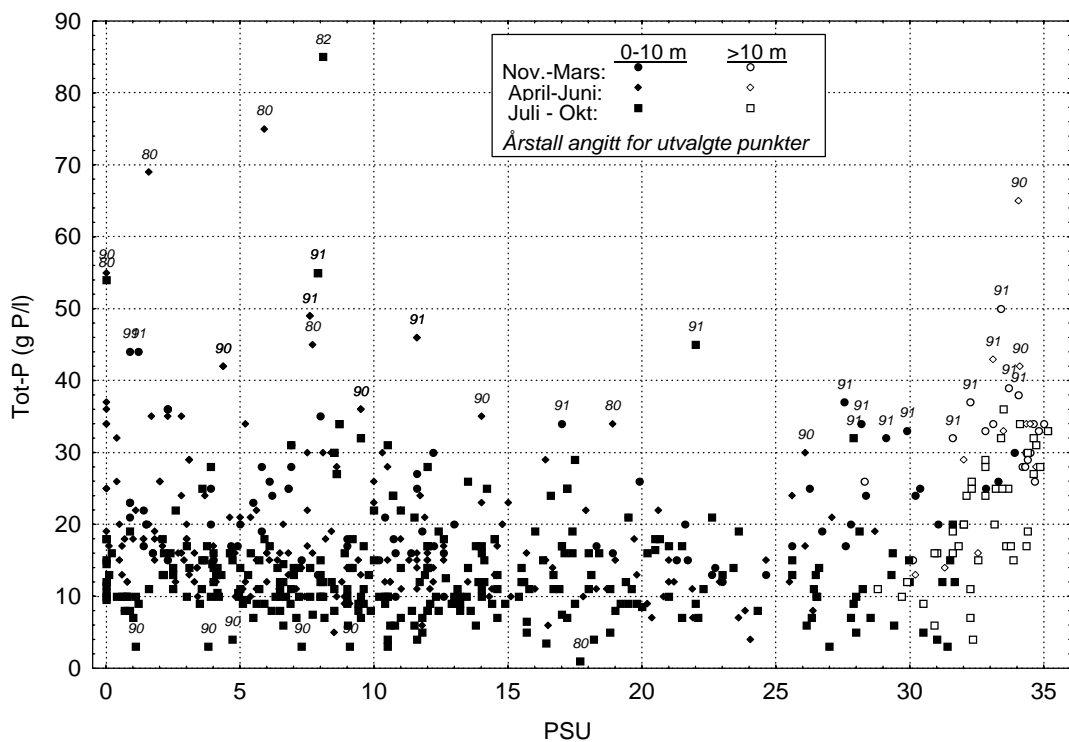
**Figur 46.** Målt konsentrasjon av fosfat som funksjon av salinitet i nordlige og midtre deler av ytre Oslofjord, innenfor linjen Fulehuk - Missingen.



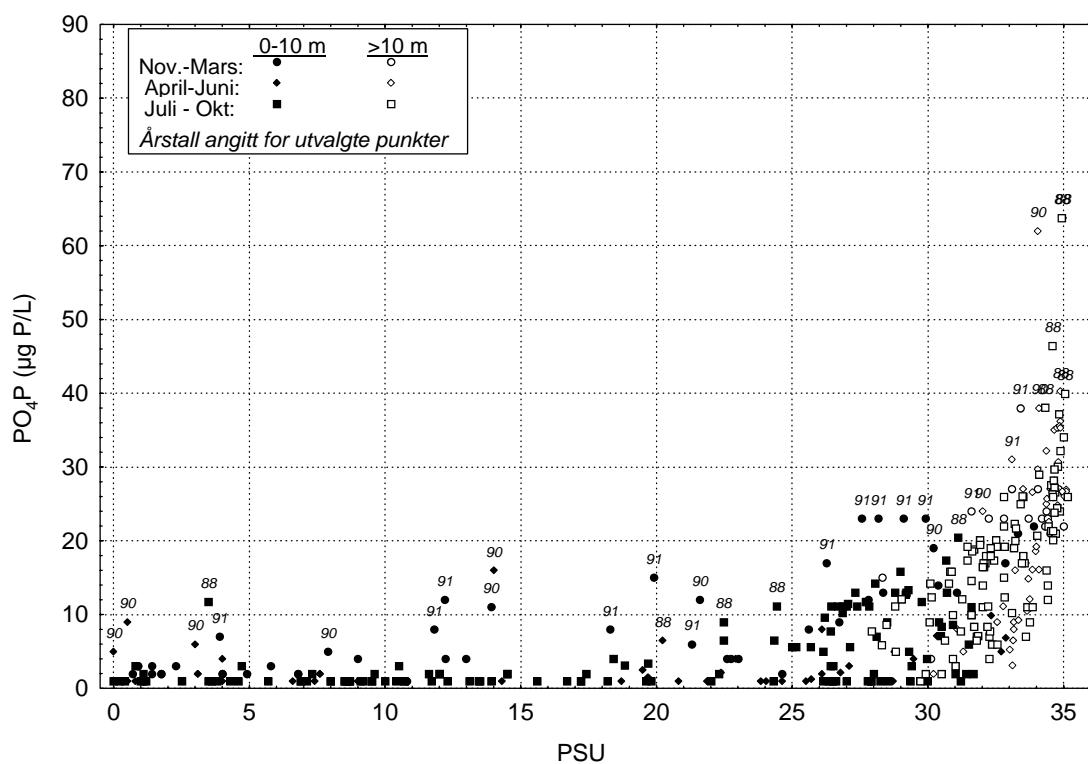
**Figur 47.** Målt konsentrasjon av totalnitrogen som funksjon av salinitet i sørlige deler av ytre Oslofjord, utenfor linjen Fulehuk - Missingen.



**Figur 48.** Målt konsentrasjon av nitrat som funksjon av salinitet i sørlige deler av ytre Oslofjord, utenfor linjen Fulehuk - Missingen.



**Figur 49.** Målt konsentrasjon av totalfosfor som funksjon av salinitet i sørlige deler av ytre Oslofjord, utenfor linjen Fulehuk - Missingen.



**Figur 50.** Målt konsentrasjon av fosfat som funksjon av salinitet i sørlige deler av ytre Oslofjord, utenfor linjen Fulehuk - Missingen.

For totalnitrogen ses tydelig innvirkningen av de lokale tilførslene. Om vinteren er det høye, sterkt varierende konsentrasjoner av total-nitrogen ved lave saliniteter, slik en også har det i elvetilførslene. Fra Hvaler mot ytre deler av fjorden er det i denne årstiden statistisk sett en tydelig fortyningseffekt for total-nitrogen fra høye konsentrasjoner i ferskvann ned mot bakgrunnsverdier på ca. 200 - 300  $\mu\text{gN/l}$  omkring  $\text{psu} = 20 - 25$ . Fra mai til oktober viser dataene et nokså tydelig fortyningsforløp fra ca. 400  $\mu\text{gN/l}$  i ferskvann til ca. 200 eller noe lavere ved salinitet omkring 25 i begge fjordavsnittene. Det ser ut til at den nedre grensen for nitrogen-konsentrasjonene stort sett er 150  $\mu\text{gN/l}$ .

Spesielt for de ytre deler av fjorden gir data et visuelt inntrykk av økning av totalt nitrogeninnhold ved høyere saliniteter med opp til 300, mer vanlig ca. 50-100  $\mu\text{gN/l}$  over den nedre grensen, men det er for lite data til å si sikkert om det er et karakteristisk trekk, eller om det skyldes observasjonsmønsteret.

I de indre delene av fjorden ser det ut til at N-konsentrasjonene varierer lite systematisk med salinitet for  $\text{psu} > 20$ , og det er lite tegn til merkbar påvirkning utenfra. I det store og hele varierer N-verdiene i Skagerrak-vann ( $> 25$   $\text{psu}$ ) rundt det som oppgis som bakgrunnskonsentrasjoner for nitrat i Atlanterhavsvann. Det må presiseres at materialet for er sparsomt til å gi grunnlag for å si noe om hvor hyppig pulser med forhøyede nitrogenkonsentrasjoner kan komme inn fra Skagerrak.

Nitrat-konsentrasjonene viser mye av det samme bilde mht. virkningen av lokale tilførsler. Ved lave saliniteter ligger nitrat-konsentrasjonene ikke så langt under det en vil vente ved passiv spredning ut fra konsentrasjonene i ferskvann. Nitratet brukes ofte helt opp om sommeren i de øverste 15 m for  $\text{psu}$ -verdier mellom 15 og 25 i indre del av fjorden, og mellom 8 og 30 i ytre del av fjorden. De observerte nitratkonsentrasjonene øker igjen ved høyere saliniteter opp mot verdier 150-250  $\mu\text{gN/l}$  ved  $\text{psu} = 35$ . Nitratkonsentrasjonene er generelt sett høyere ved en gitt salinitet i den indre del av fjorden enn i den ytre, og det er også flere observasjoner med klart forhøyede konsentrasjoner i forhold til det vanlige. I de sørlige deler av fjorden er nitratøkning med økende salinitet knyttet til en vertikal gradient, idet de høye verdiene stort sett finnes i dyp  $> 10$  m, mens det i indre del langt oftere finnes høyere verdier i 0-10 m. Dette kunne tyde på at påvirkning fra lokale kilder dersom forskjellen er reell, men den kan også skyldes forskjeller i dataomfang. Pga. av datamaterialets karakter er det som nevnt ikke så enkelt å teste forskjellene statistisk, og det visuelle inntrykket kan være misvisende.

Totalfosfor viser også tydelig lokal påvirkning med høye konsentrasjoner ved lav salinitet, men det er ikke så dominerende som for nitrogen. Det er her lite data fra større dyp. For dypintervallet 0-10 m forekommer det høye verdier ved både lave og høye saliniteter, med lavere verdier i salinitetsintervallet 15-25  $\text{psu}$ .

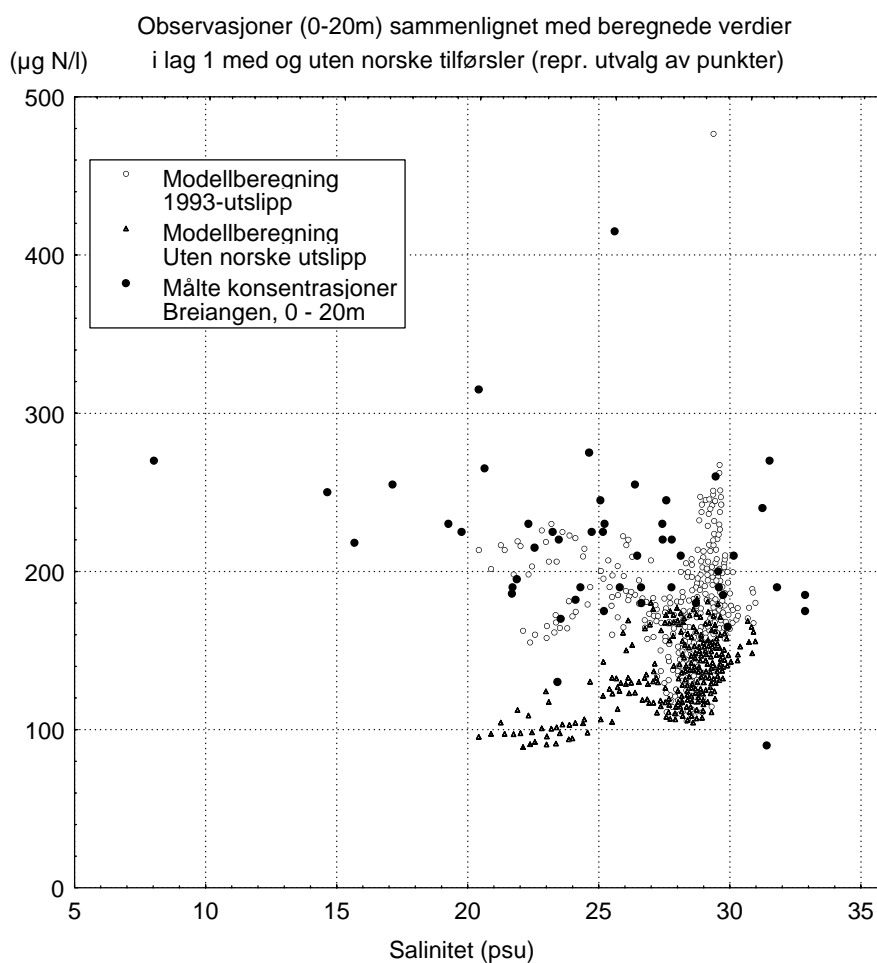
Ortofosfat viser derimot en helt dominerende påvirkning utenfra og nedenfra. Det er gjennomgående lave verdier i lokalt påvirket vann i overflatelaget for  $\text{psu} < 25$  både sommer og vinter. Fosfat-konsentrasjonene i dypvannet, dvs. for salinitet mellom 34 og 35, ligger stort sett mellom 20 og 40  $\mu\text{gP/l}$ , med enkelte verdier opp i 60 - 70  $\mu\text{gP/l}$ . Forhøyede verdier av ortofosfat om vinteren i salinitetsintervallet 25-30 finnes stort sett bare i data fra indre del av fjorden.

Denne forskjellen mellom N og P er tidligere påpekt og drøftet av Baaalsrud og Magnusson (1990). Mens forhøyede nitrogenkonsentrasjoner i overflatelaget i stor grad ser ut til å være knyttet til lokale kilder, er det i mye mindre grad tilfelle for fosfor, hvor lokale ferskvannstilførsler heller virker som en fortyning av innholdet i vannet utenfra. Planktonproduksjonen vil derfor kunne komme ettersom lokalt ferskvann, med høye konsentrasjoner av nitrat og silikat og lave konsentrasjoner av løst P, blandes med vann utenfra som har bedre balanse mellom N, Si og P, eventuelt et visst P-overskudd.

### 12.3.2 En sammenligning av målte og beregnede N-konsentrasjoner som funksjon av salinitet.

I figur 51 er målinger og modellbaserte resultater for nitrogenkonsentrasjoner sammenlignet med hverandre visuelt. Målte konsentrasjoner av totalnitrogen i Breidangen og konsentrasjoner beregnet i

det øverste modell-laget i det samme området som ukemidler er begge plottet mot salinitet, uten oppdeling i årstider. Figuren viser et representativt utvalg av punkter; de tetteste delene av punkt-skyene er i virkeligheten ennå tettere. De beregnede verdiene er en kombinasjon av total-konsentrasjoner i lokale utslipp og konsentrasjon av antatt biologisk omsettelig N fra Skagerrak, begge basert på interpolering mellom månedsmidler, og midlet over et delvolum og over en uke. Observasjonene viser total nitrogenkonsentrasjon som øyeblikkskonsentrasjoner på ett bestemt sted i vannmassen. Vi vil derfor vente at observasjonene ligger noe høyere, og med større spredning enn de modellresultatene som gjelder utslipp pr. 1993. Figuren kan tyde på at dette også er tilfelle. En skal være forsiktig med å trekke for vidtgående slutninger om godheten i beregningene ut fra denne figuren, men de resultater modellen gir, er iallfall rimelige sammenlignet med observasjonene, både når det gjelder generelt nivå, og når det gjelder hvor mye konsentrasjonene varierer med salinitet.



**Figur 51.** Sammenligning mellom målte nitrogenkonsentrasjoner i ytre Oslofjord (øyeblikksverdier) og resultater av budsjettberegning basert på simuleringresultater fra ECOM-3D (ukemidler).

### 12.3.3 Data fra april 1995 - en mulig kombinasjon av lokal og langtransporterte tilførsler.

I datagrunnlaget for figur 43 til og med figur 51 inngår også data som ble samlet inn av NIVA i slutten av april 1995 i forbindelse med forventet innslag av Tyskebukt vann etter den store flommen i



Tyskland og Nederland tidligere på året. Den følgende diskusjonen bygger på en analyse av Magnusson og Nygaard (1996).

Den 26. april var det et markert nitratmaksimum rundt 30-40 m dyp i store deler av fjorden, noe høyere opp i Drøbaksundet. I hele fjorden ut til Missingen er det en ganske markert topp i nitratkonsentrasjonene omkring  $\text{psu}=33$ , og med omtrent samme verdi, ca.  $230 \mu\text{gN/l}$  over hele fjorden. Nitratkonsentrasjonene avtar mot større salinitet, til ca.  $150 \mu\text{gN/l}$  for  $\text{psu}\geq 34.5$ , og på samme måte i hele fjorden. Gjennom salinitetssjiktet fra 33 til 31 avtar nitraten i ytre og midtre deler av fjorden til verdier rundt  $100 \mu\text{N/l}$ , men i dette sjiktet øker nitratverdiene gjennom Breidangen og innover mot Drøbaksundet. Der er nitrat-konsentrasjonene opp mot  $250 \mu\text{g N/l}$  opp til  $\text{psu}=31$ .

Den markerte nitrattoppen rundt  $\text{psu}=33$  er ikke forbundet med forhøyde fosfatkonsentrasjoner eller nedsatt oksygennivå, og det kan tyde på at årsaken til de høye nitratkonsentrasjonene er inntrengning av nitrat-rikt vann utenfra. I perioden foran ble det observert fra 400-1000  $\mu\text{g N/l}$  nitrat i Skagerrak og Kattegat for vann med  $\text{psu}=28$  til 32, noe som kan settes i sammenheng med den store flommen i Nederland/Tyskland i januar. Det en finner i Oslofjorden kan være vann fra nederkant av denne strømmen.

Oksygenkonsentrasjon som funksjon av salinitet var i slutten av april omtrent lik i hele fjorden rundt  $\text{psu}=32.5 - 33.0$ , i sjiktet over og under er den lavere i Drøbaksundet enn på de andre stasjonene. Forskjellen er ca.  $1.0 \text{ ml/l}$  for  $\text{psu}=31-32$ , og  $0.5 \text{ ml/l}$  for større dyp. Dette kan kanskje også indikere at det rundt  $\text{psu} = 32.5 - 33$  er en generell påvirkning av oksygen- og nitratrikt vann i hele fjorden.

Fra Drøbaksundet finnes også data fra perioden foran. Her var det et nitratmaksimum med verdier rundt  $270 \mu\text{gN/l}$  allerede i midten av februar, for  $\text{psu}$  fra 29 til 31, i 15-20m dyp. I denne toppen er silikatet høyt ( $\text{NO}_3:\text{Si}$  ca. 1:1 mol:mol), og det tyder på at kommer fra en påvist utskiftning av dypvann i indre Oslofjord. Den 6. april var de høyeste nitratverdiene litt lengre ned, rundt  $\text{psu}=32-33$ , i 15-30 m. Silikatverdiene er lavere ( $\text{NO}_3:\text{Si}$ -forhold ca. 2:1 i toppen i nitratprofilen), men det gjelder helt fra overflaten, og kan kanskje også skyldes diatoméoppblomstring. Den 26. april er nitrat og silikat som funksjon av salinitet omtrent uendret gjennom nitratmaksimumet, men silikatverdiene er nå ennå lavere i overflaten ( $3-5 \mu\text{M}$ ). For  $\text{psu}\geq 33.5$  er forholdene nokså uendret gjennom hele perioden fra desember 1994 til april 1995.

Silikatet er 26. april mye høyere i Drøbaksundet på alle dyp enn i resten av fjorden, og sterkt økende med dyp for  $\text{psu}\geq 32$ . Det gjelder også rundt  $\text{psu}=33$ , hvor det ellers kan se ut som det er en generell påvirkning utenfra. En annen mulig kilde er derfor at nitratmaksimumet omkring  $\text{psu}=32-33$  skyldes utskiftet dypvann fra indre fjord, luftet på vei over Drøbaksterskelen. Data fra mars fra Torbjørnshjær ytterst i fjorden viste faktisk unormalt lave nitrat-verdier omkring  $\text{psu}=33$ , og heller ikke spesielt høye verdier ellers.

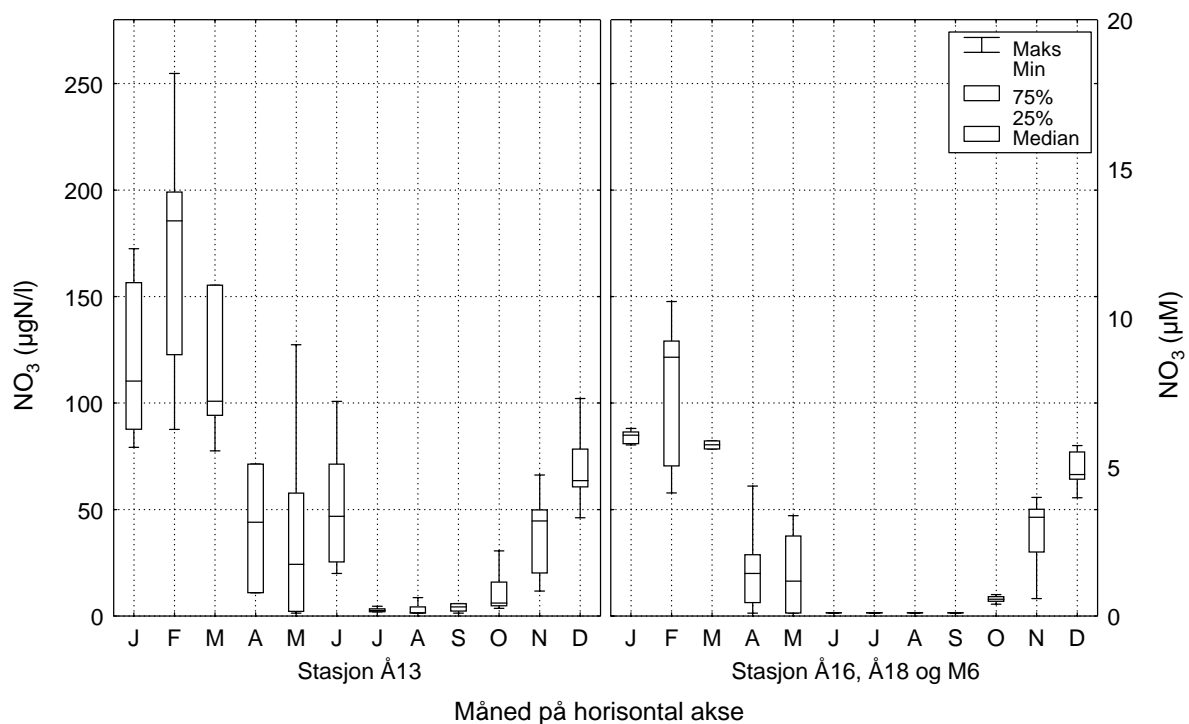
Det ser altså ut til at det i denne bestemte situasjonen, i slutten av april 1995, kan ha vært en kombinasjon av lokale tilførsler og påvirkning utenfra som regulerte tilgangen på nærings salt. Det er vanskelig å avgjøre hva som er opphav til nitrat-maksimumet ved salinitet 33. I Drøbaksundet og Breidangen ser det ut til at de lokale kildene for nitrogen er viktigst i de vannlag ( $\text{psu}<32$ ) hvor det ifølge klorofylldata var planktonproduksjon den 26. april. Lenger ned, rundt  $\text{psu}=33$ , finnes et nitratmaksimum hvor nitratverdiene ligger ca.  $100-150 \mu\text{gN/l}$  over det en vanligvis observerer ved denne saliniteten ellers i datamaterialet fra ytre Oslofjord, og som kan stamme fra Skagerrak.

#### **12.3.4 En sammenligning av nitrat-konsentrasjoner i mellomdyp i Skagerrak, ytre Oslofjord og den norske kyststrømmen.**

For å se i hvilken grad vann på mellomdyp i ytre Oslofjord er påvirket av vann utenfra kan vi også se mer statistisk på datamaterialet. Figur 52 til og med figur 54 viser ved boks-diagrammer hvordan

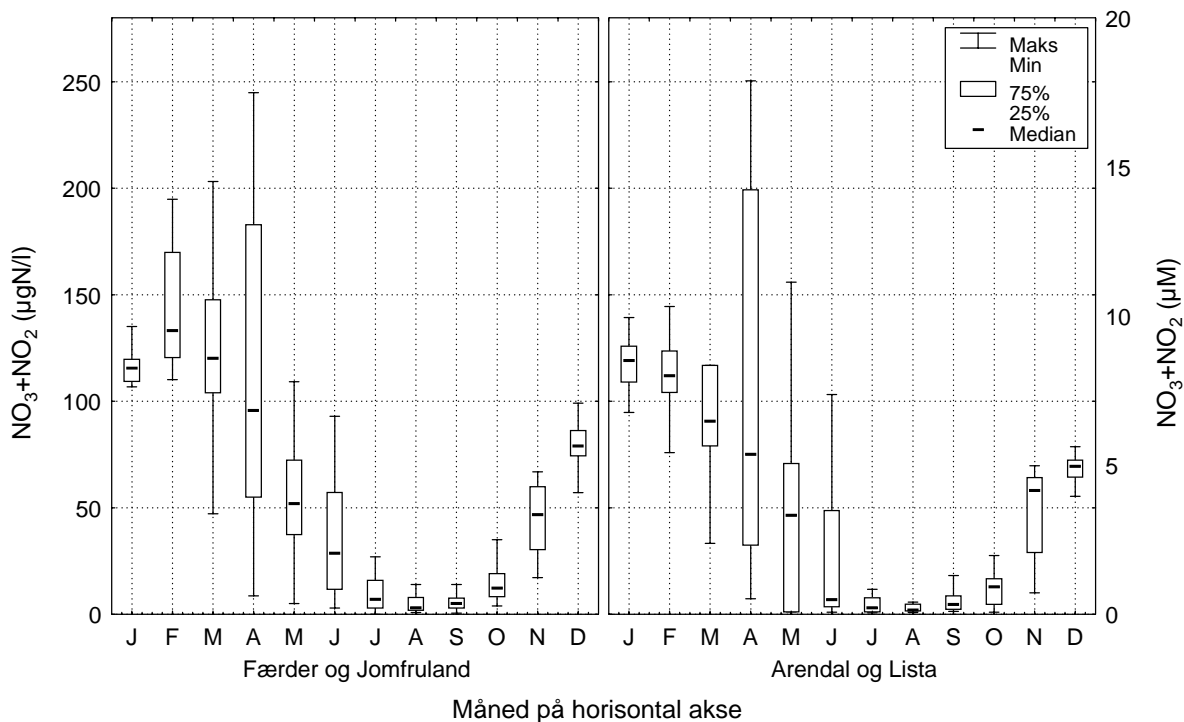
nitrat+nitritt-konsentrasjonene varierer gjennom året i Skagerrak, i den norske kyststrømmen og i ytre Oslofjord.

Det er valgt å se på salinitetsområdet 31 til 33,5, hvor en vil vente at langtransporterte forurensninger skal gjøre seg gjeldende. Dette er den øvre del av det som i kystovervåkingen betegnes Skagerrakvann øvre, og som i stor grad antas å stamme fra den sørlige del av Nordsjøen. Det er valgt å avgrense til salinitet 33,5 for å unngå vann ned mot terskeldyp, hvor frigjøring av næringssalter i avstengte dypbassenger kan gjøre seg gjeldende ved vertikalblanding uavhengig av om det er lokale eller langtransporterte forurensninger som er opphav til forurensningen. Denne avgrensningen innebærer at verdiene for den viktigste primærproduksjonsperioden (april - oktober) stort sett vil gjelde vannmasser i de øverste 20 meter i Skagerrak og de øverste 30 meter i kyststrømmen, mens det for ytre Oslofjord stort sett vil gjelde vann i dyp fra 10 til 50 meter dyp, dvs. under brakkvannet, stort sett men så langt opp at det kan tenkes å få virkning på planteplanktonproduksjonen i ytre Oslofjord.

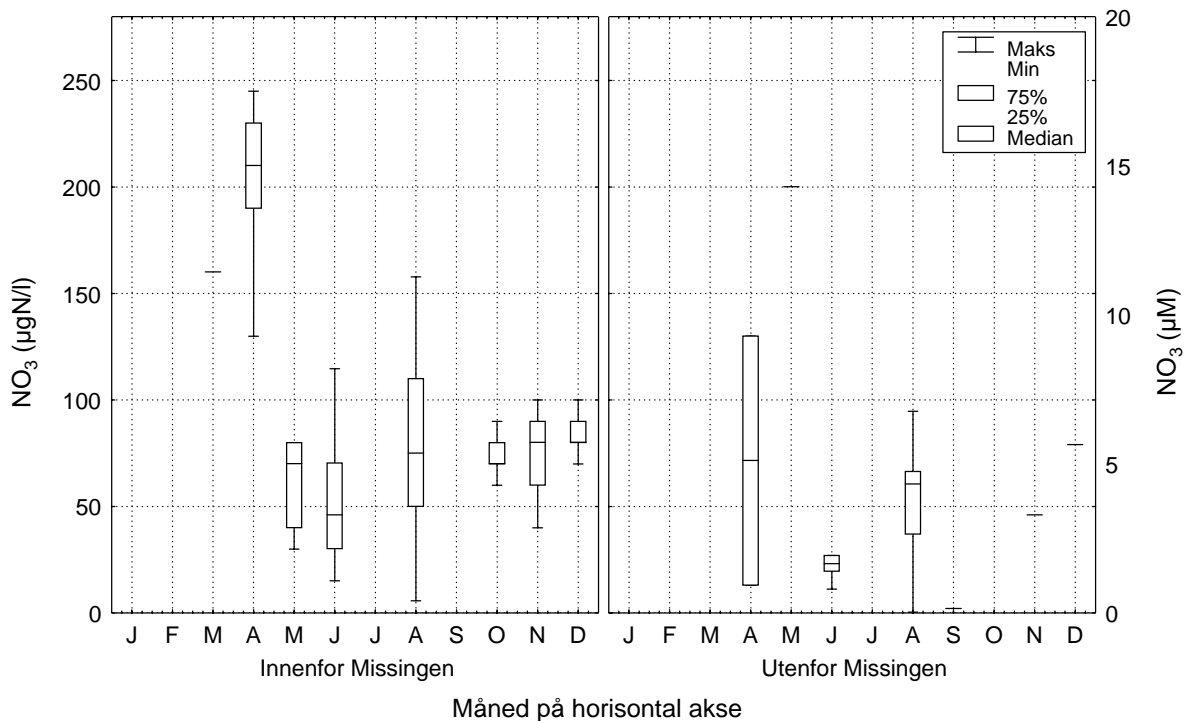


Stasjon Å13 ligger nærmest svenskekysten, kfr. figur 26.

**Figur 52.** Statistikk for nitrat-konsentrasjoner i Skagerrak (Å-snittet) i vann med salinitet fra 31 til 33,5 psu.



**Figur 53.** Statistikk for nitrat-konsentrasjoner i den norske kyststrømmen i vann med salinitet fra 31 til 33.5 psu.



**Figur 54.** Statistikk for nitrat-konsentrasjoner i nordlige og sørlige ytre Oslofjord i vann med salinitet fra 31 til 33.5 psu.

Figurene viser at forløpet i Skagerrak og kyststrømmen er ganske parallelle, med nitrat + nitritt-konsentrasjoner som stort sett ligger mellom 100 og 200  $\mu\text{g N/l}$ , og lave konsentrasjoner i juni, juli og august. Det skyldes at disse vannmassene ligger så langt opp mot overflaten at næringssaltene forbrukes i planteplanktonproduksjon. I ytre Oslofjord er det annerledes. Mens verdiene i april stemmer godt med mulig påvirkning utenfra, forekommer det også forholdsvis høye verdier i august, som en aldri ser i Skagerrak eller i Kyststrømmen i vann innenfor det gitte salinitetsintervallet. Som nevnt her er det en forskjell i dyp-fordelingen, ved at det i kyststrømmen og i Skagerrak delvis dreier seg om overflatevann (øvre 10 m), mens det i snitt ligger dypere ned i Oslofjorden. Resultatene indikerer at også lokale tilførsler kan få virkninger på dypere lag.

## 12.4 Diskusjon av resultatene

Virkingen av norske tilførsler er bare vist på basis av månedsmidler, og midlet over forholdsvis tykke lag. Det vil derfor forekomme store variasjoner, med en del verdier langt over det som er angitt i mer avgrensede perioder og geografiske områder.

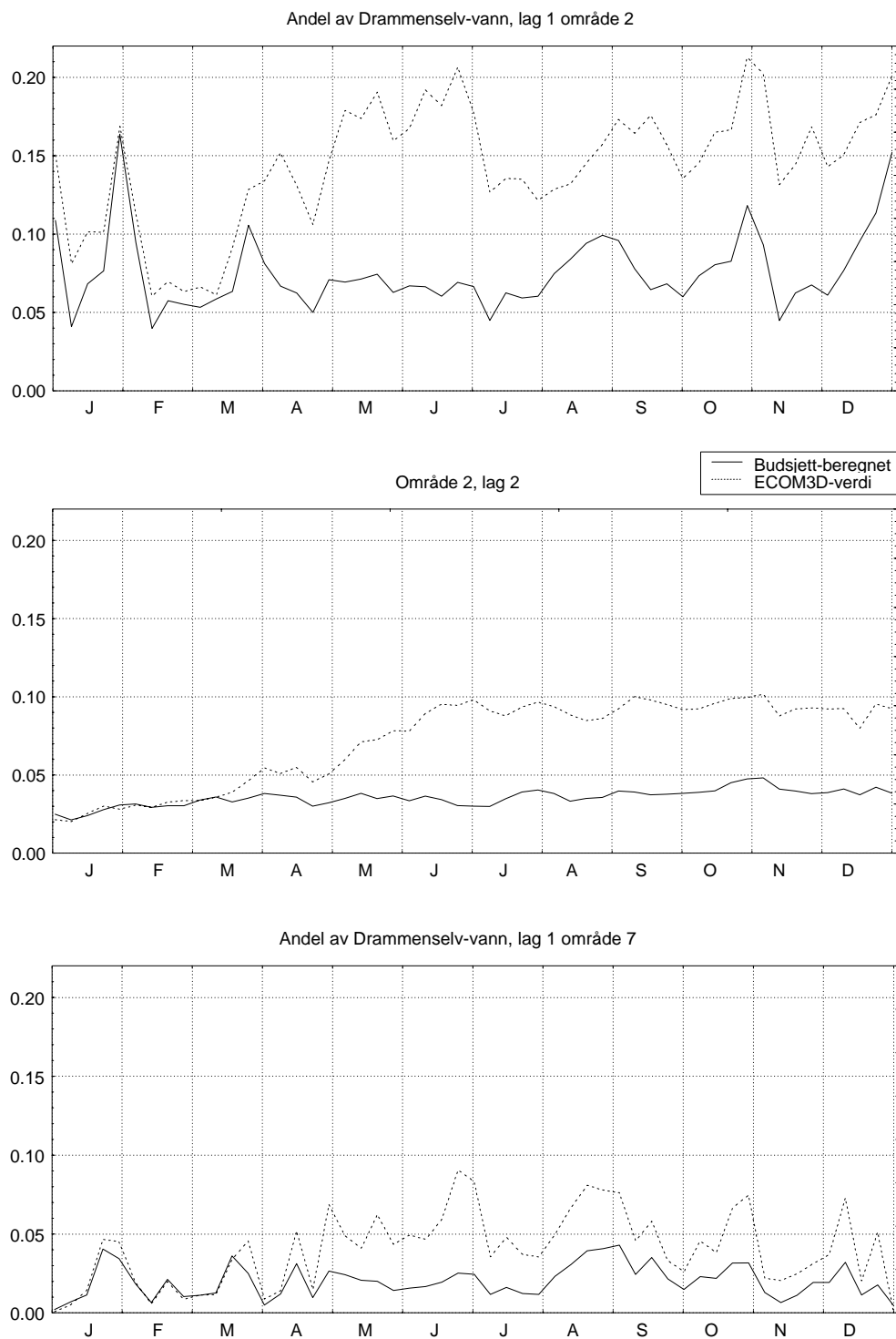
Bidraget til N- og P-konsentrasjoner fra norske tilførsler med elvene vil påvirke den øvre delen av lag 1 mest, og virkingen der kan derfor bli sterkere enn det som foran er beregnet som middel for hele lag 1. I de områdene hvor Glomma og Dramselva har størst virkning kan det anslås at innslaget av elvevann i de øvre 5-10 m er dobbelt så stort som midlet over hele lag 1. Det skyldes delvis at både konsentrasjoner og transporter er beregnet som middelverdier over et forholdsvis tykt overflatelag, men det kan også være at den vertikale blandingen kan være for sterk i simuleringsmodellen (Hackett et al. 1995). De konsentrasjonstilskudd som de norske tilførslene gir, kan derfor være dobbelt så høye i øvre deler av lag 1 som det som foran er beregnet som middel for hele lagtykkelsen.

De betraktningene som er gjort foran gjelder bare virkingen på næringssalt-konsentrasjonene i de øvre lag ut fra en betraktning av passiv spredning. Siden uønskede eutrofieringsvirkninger er knyttet til at næringssaltkonsentrasjonene i overflaten brukes opp og at produsert biologisk materiale synker ned og brytes ned på større dyp, kan ikke slike betraktninger gi hele svaret. Planktonoppblomstringene synes å være størst i overgangen mellom områder preget av lokal ferskvannstilførsel og kystvannet utenfor, dvs. i fronten mellom brakkvann og sjøvann i munningen av ytre Oslofjord (Baalsrud og Magnusson 1990, s. 52.) Det kan innebære at virkingen av tilførslene med Dramselva og Glomma gjør seg gjeldende mye mer fordelt over hele fjordarealet, og lenger ut enn det som fremkommer her. Den totale virkingen på fjorden vil da være avhengig av i hvilken grad den "norske" primærproduksjonen synker ned i dypere lag som føres tilbake inn i fjorden.

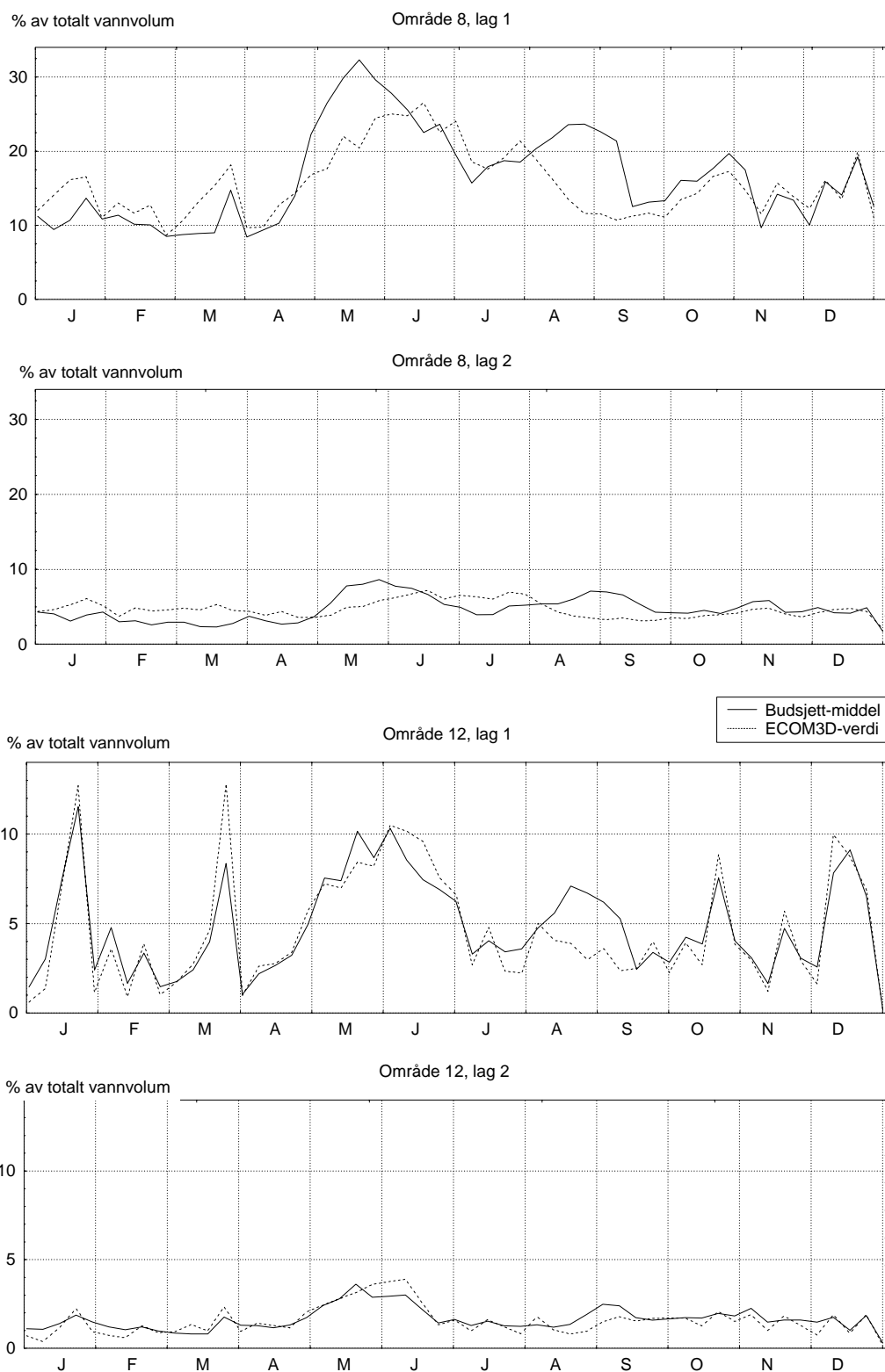
## 12.5 Tekniske og naturfaglige begrensninger ved angrepsmåten.

Som en kontroll på hvor godt den siste beregningsmetoden er i stand til å beskrive virkingen av ulike tilførsler, er den også brukt på de merkede vanntypene, hvor en kjenner svaret i form av konsentrasjonene fra modellen, kfr. punkt 1 ovenfor. Resultatene av denne sammenligningen antyder at den middelkonsentrasjon som beregnes for en gitt kilde for en enkelt uke og et enkelt delvolum i middel kan avvike med en faktor 2 den ene eller den andre veien fra den reelle modellkonsentrasjonen i ECOM-3D.

Figur 55 og figur 56 viser en sammenligning mellom ECOM-3D-konsentrasjoner av ferskvann fra Dramselva og Glomma og budsjettberegnete verdier for henholdsvis Breiangen og for Hvaler/Singlefjorden. Konsentrasjonene er angitt som den volumandel ferskvannet fra hhv. Dramselva og Glomma utgjør av total vannmengde, dvs. at verdi 0.1 angir 10 % ferskvann.



**Figur 55.** Sammenligning mellom ECOM-3D-verdier og budsjettberegnete verdier for volumandel (skala 0-1) av ferskvann fra Dramselva i Breidangen (område 2) og rundt Rauer (område 7).



**Figur 56.** Sammenligning mellom ECOM-3D-verdier og budsjettberegnete verdier for volumandel (skala 0-1) av ferskvann fra Glomma i Hvaler/Singlefjorden (område 8) og i ytre del av ytre Oslofjord (område 10).

En del av avvikene ser ut til å skyldes at tidsforløpet kan bli noe forskjøvet, mens variasjonsområdet totalt sett er nokså riktig. Det er forskjell mellom områdene og lagene når det gjelder hvor godt en kan vente å treffe reelle konsentrasjoner. Det kan ha å gjøre med forskjellen i vertikal eller horisontal oppløsning mellom ECOM-3D og budsjettberegningen. Det kan også ha å gjøre med de beregnings-tekniske problemer som er nevnt i kap.10.2.2 og vedlegg Vedlegg D. . Det ser ut til at beregnet bidrag fra norske tilførsler blir for små (faktor 2) i de indre delene av fjorden, noe for store i Hvaler/Singlefjorden, men kan bli omtrent riktige i de ytre deler av fjorden, dvs. utenfor Missingen/Fulehuk. Dette gjelder som nevnt i forhold til de resultatene vi ville få ved å la N- og P-tilførslene spres direkte av ECOM-3D, og gir ikke noe bilde av forventet avvik fra reelle forhold. For å få det, må en også ta i betraktning de usikkerheter som er nevnt i Hackett et al. (1995).

## **12.6 Mulige forbedringer ved senere bruk av beregningsmetoden**

Dersom en senere skal benytte lignende beregningsmetoder som beskrevet i denne rapporten til å beregne stoffbudsjetter ut fra sirkulasjonsmodeller, kan det tenkes flere forbedringer.

- En overgang fra en nivådelt til lagdelt simuleringsmodell, dvs. at den vertikale inndelingen i ECOM-3D med faste nivåer erstattes av en inndeling som bedre følger lagdelingen i vannmassene, vil gjøre det lettere å beskrive vertikalblandingen realistisk.
- En kombinert bruk av dypinndeling og tetthets/saltdefinert lagdeling i budsjettene ville kunne gi bedre oppløsning i overflatelaget i budsjettberegningen.
- Ekte gjennomsnittsverdier på transporter, dvs. budsjetter som går opp, vil kunne gjøre det mulig å kalibrere transportberegningene som diskutert i vedlegg Vedlegg D. .

## 13. Konklusjon

Det ser ut til at både kontinentalt vann og Østersjøvann/Vestkystvann kan gi merkbar påvirkning på hele ytre Oslofjord ved episoder hvor disse vannmassene transporteres nordover uten at næringssaltene blir brukt opp. Utstrømning fra Østersjøen kan neppe gi store bidrag til konsentrasjonene av uorganiske næringsalter, men har høyere konsentrasjoner av oppløst organisk N.

Ut fra måledata fra Skagerrak ser det ut til at episodisk påvirkning om vinteren fra langtransporterte kilder generelt kan bidra like mye til forhøyde N-konsentrasjoner som de norske tilførselene, eller til og med mer. Dette gjelder hvis vi betrakter hele det laget som normalt får brukt det meste av sitt næringssaltinnhold i produksjonsperioden om sommeren.

De lokale tilførselene som kommer med Glomma og Dramselva gir store bidrag i hver sin del av fjorden, og vil også utgjøre et mer permanent bidrag enn påvirkningen utenfra. Dramselva gir et vesentlig bidrag til Breidangen med en sekundær påvirkning på midtre del av fjorden, mens tilførselene med Glomma har mest å si i Hvaler/Singlefjordområdet og i området rundt Torbjørnskjær. Virkningen av de norske tilførselene vil ofte være dominerende i forhold til påvirkning fra forhøyede konsentrasjoner i vann utenfra hvis vi betrakter et 5-10 m tykt overflatesjikt i hhv. Breidangen og Hvalerområdet. I hovedvannmassene i fjorden kan innvirkningen fra de norske tilførselene og påvirkninger utenfra være omtrent like viktige i snitt, men kan hver for seg dominere i ulike perioder.

Disse betraktningene gjelder bare innvirkning på næringssalt-konsentrasjonene i overflaten ut fra en betraktning av passiv spredning. Siden uønskede eutrofieringsvirkninger er knyttet til at næringssalt-konsentrasjonene i overflaten brukes opp og at produsert biologisk materiale synker ned og brytes ned på større dyp, kan ikke slike betraktninger gi hele svaret. Ifølge Baalsrud og Magnusson (1990) er det tegn til at mye av planktonoppblomstringer skjer i overgangen mellom områder preget av lokal ferskvannstilførsel og kystvannet utenfor. Det kan innebære at virkningen av tilførselene med Dramselva og Glomma på primærproduksjonen gjør seg gjeldende mer fordelt over hele fjordarealet, og lenger ut, enn det som fremkommer her.



## 14. Litteraturliste

- Balino, B. (1993): Nutrient inputs to the North Sea, Skagerrak and Kattegat. River concentrations and Loads from 1980 to 1990. HOV Center, Bergen.
- Balino, B. (1994): The use of a coupled physical-biological 2D-model to study the impact of anthropogenic nutrient inputs upon the primary production of the North Sea. Dept. of Fisheries and Marine Biology, Univ. of Bergen. report commissioned by The Norwegian State Pollution Control Authority (SFT).
- Bennekom, A.J. van & F.J. Wetsteijn (1990): The Winter Distribution of nutrients in the Southern Bight of the North Sea (1961-1978) and in the Estuaries of the Scheldt and the Rhine/Meuse. Netherlands Journal of Sea Research, 25(1/2), p. 75-87.
- Bjerkeng, B. (1994). Eutrofimodell for indre Oslofjord. 1: Praktisk utprøving på indre Oslofjord. NIVA-rapport nr. 3112.
- Baalsrud, K., Ibrekk, H.O. og Holtan, G. (1988): Eutrofisituasjonen i ytre Oslofjord. Delprosjekt O-8801102. Forurensningstilførsler til ytre Oslofjord. Norsk institutt for vannforskning, rapport nr. 2146.
- Baalsrud, K. og J. Magnusson (1990): Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Hovedrapport. Norsk institutt for vannforskning, rapport nr. 2480, SFT Overvåkingsrapport 427/90.
- Baalsrud, K., G. Holtan og J. Magnusson (1990): Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 4.4 a: Studier av eldre data. Teoretisk beregning av næringstilførsler til Ytre Oslofjord omkring 1910. Norsk institutt for vannforskning, rapport nr. 2381, SFT Overvåkingsrapport 398/90.
- Ekholm P., B. Kronvang, M. Posch & S. Rekolainen (1995): Accuracy and precision of annual nutrient load estimates in Nordic rivers. Finlands National Board of Waters and the Environment, Helsinki.
- Faafeng, B., Berge, J.A, Bjerkeng, B., Helland, A., Holtan, G., Kjellberg, G., Källqvist, T.S., Moy, F., Skulberg, O.M., Sørensen, K. og Walday, M. (1996): Flommen på Østlandet våren 1995. Sammenstilling av NIVAs undersøkelser med spesiell vekt på intensivundersøkelsen i Glomma og Vormå. NIVA-rapport 3480.
- Goffeng, G. (Ed.) (1971): Hydrological Data Norden IHD stations, Basic Data 1965-1969. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. Ås, Norway.
- Goffeng, G. (Ed.) (1973): Hydrological Data Norden IHD stations, Basic Data 1970-1971. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. Ås, Norway.
- Goffeng, G. (Ed.) (1977): Hydrological Data Norden IHD stations, Basic Data 1972-1974. National Committees for the International Hydrological Decade in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. Ås, Norway.
- Hackett, B., Røed, L.P., Ulstad, C., Engedahl, H. (1995): Numerical simulation of the Outer Oslofjord, with budget calculations for passive tracers. Research Report No. 26, DNMI, ISBN 0332-9879.
- Hickel, W., Mangelsdorf, P. & Berg, J. (1993): The human impact in the German Bight: Eutrophication during three decades (1962-1991)
-

Holtan G. (1989). Eutrofisituasjonen i ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 4.4 a. Studier av eldre data. Teoretisk beregning av nærings salt-tilførsler til ytre Oslofjord omkring 1910. Løpenr. 2381, Norsk institutt for vannforskning, Oslo

Holtan, G., Berge D., Holtan, H. and Hopen, T. (1991): Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1990. The National Environmental Monitoring Programme.

A. Principles, results and discussions. SFT report 452A/91. NIVA report serial nr. 2582. 43 p.

B. Data report. SFT report 452B/91. NIVA report serial nr. 2577. 103 p.

Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen (1992): Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1991. The National Environmental Monitoring Programme.

A. Principles, results and discussion. SFT report 488A/92. NIVA report serial nr. 2809. 40 p.

B. Data report. SFT report 488B/92. NIVA report serial nr. 2777. 104 p.

Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen (1993): Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1992. A. Principles, results and discussion. B. Data report. The National Environmental Monitoring Programme, SFT report 542/93. NIVA report serial nr. 2964. 137 p.

Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen (1994): Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1993. A. Principles, results and discussion. B. Data report. The National Environmental Monitoring Programme, SFT-report 580/94. NIVA report serial nr. 3162. 138 p.

Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen (1995): Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1994. A. Principles, results and discussion. B. Data report. The National Environmental Monitoring Programme, SFT-report 623/95. NIVA report serial no. 3361. 136 p.

Kaas, H, F. Møhlenberg, V. Forbes, B. Pedersen (1994): Biotilgjengelighet af kvælstof og fosfor. Kvælstof- og fosforbindelser tilført Kattegat fra Østersjøen og Skagerrak. Danmarks miljøstyrelse, Havforskning fra miljøstyrelsen, rapport nr. 40 1994.

Magnusson, J. og Næs, K. (1986): Basisundersøkelser av Drammensfjorden 1982-84: Delrapport 6: Hydrografi, vannkvalitet og vannutskiftning. Statlig program for forurensingsovervåking. Norsk Institutt for vannforskning Inr. 1892

Magnusson, J., L. Kirkerud, G. Nilsen, J. Skei (1979): Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. Overvåkningsprogram - Årsrapport 1978. NIVA-rapport 1140.

Magnusson, J. og Nygaard, K. (1996): On continental river water in outer Oslofjord, April 1995. NIVA-Report, serial 3432-96.

Magnusson, J. og Skei, J. (1984): Basisundersøkelser i Hvalerområdet og Singlefjorden. Hydrografi, vannutskiftning og hydrokjemi. SFT overvåkningsrapport nr. 170/84, NIVA-rapport O-8000303/1684.

McGill, W.B. & E.K. Christie (1983): Biogeochemical Aspects of Nutrient Cycle Interactions in Soils and Organisms. Pp. 271-296 in Bolin, B. & R. B. Cook (ed.): The Major Biogeochemical Cycles and their Interactions. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU). John Wiley & Sons.

Mellio, J.M & J.R.Gosz (1983): Interactions of Biogeochemical Cycles in Forest Ecosystems. Pp.177-222 in Bolin, B. & R. B. Cook (ed.): The Major Biogeochemical Cycles and their Interactions. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU). John Wiley & Sons.

Miljøstyrelsen i Danmark (1994): Vandmiljø 94. Redegjørelse fra Miljøstyrelsen Nr.2 1994.

NSTF (1993): North Sea Quality Status Report 1993. North Sea Task Force ( Oslo and Paris Commissions - International Council for Exploration of the Sea)

OSPARCOM (1995): Draft Data Report on Riverine and Direct Inputs of Contaminants to the Maritime Area in 1993. Oslo and Paris Commission Secretariat. SOLNA 13.-17. march 1995. INPUT 95/6/5-E

OSPARCOM (1994): Draft Data Report on Riverine and Direct Inputs of Contaminants to the Waters of the Paris Convention 1992. Oslo and Paris Commission Secretariat. Karlskrona 13.-17. June 1994, OSPAR 16/4/9-E

Røed, L.P, Skåtun, H. (1989): Eutrofisisituasjonen i ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 3.3.b: Transportmodell av overflatelaget i ytre Oslofjord. Rapport 2: Resultater fra simuleringene. En analyse og oppsummering. Statlig program for forurensingsovervåkning, SFT-rapport 396/90. Veritech-rapport 89-3055.

Røed, L.P, Skåtun, H. og Irmann-Jacobsen, T.B. (1990): Eutrofisisituasjonen i ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 4.8: Transportmodell. Simuleringer av strøm, sporstoffer og partikkelbaner. En analyse og oppsummering. Statlig program for forurensingsovervåkning, SFT-rapport 412/90. Veritech-rapport 90-3098.

Skjoldal H.R., Aure, J., Bakke, T., Dahl, F.E., Fredriksen, S., Gray, J.S., Heldal, M., Røed, L.P., Olsen, Y., Tangen, K., Molvær, J. (sekr.) (1996): Ytre Oslofjord. eutrofitilstand, utvikling og forventede effekter av reduserte tilførsler av næringssalter. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av eutrofi forhold i fjorder og kystfarvann. ISBN 82-577-2945-0. Trykket ved Norsk Institutt for vannforskning.

StatSoft, Inc. (1996): STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoftinc.com>.

Stigebrandt, A., (1983): A model for the Exchange of Water and Salt between the Baltic and the Skagerrak. Journal of Physical Oceanography, vol. 13., no.3.

Svendsen, E., Eriksrød, G., Skogen, M. (1995): Kvantifisering av langtransporterte vannmasser fra Tyskebukta, Østersjøen og Nordsjøen til ytre Oslofjord. Havforskningsinstituttet, prosjektnr. 01.06.1. ISSN 0071-5638.

Sørensen, J., Bjerkeng, B., Bratli, J.L., Knutzen, J. og Magnusson, J. (1995): Miljømål for Drammenselva og -fjorden. NIVA-rapport Inr. 3198, O-94063, 102 sider.

Tjomsland T. og Bratli, J.L., (1995): Brukerveiledning og dokumentasjon for TEOTIL. Modell for teoretisk beregning av fosfor- og nitrogentilførsler i Norge. NIVA-rapport løpenr. 3225. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Wivestad. T.M. (1995): Forurensninger i Oslo og Akershus. Fylkesmannen i Oslo og akershus, Miljøvern avdelingen. Rapport nr. 4/1995.

Lingsten, L. (1985): Undersøkelser i Drammenselva 1982-84. Vannkjemi. Bakteriologi. SFT Overvåkningsrapport nr. 229/86, NIVA-rapport lnr. 1941

Faafeng, B.; Berge, J.A.; Bjerkeng, B.; Helland, A.; Holtan, H.; Holtan, G.; Kjellberg, G.; Källqvist, T.; Moy, F.; Skulberg, O.M.; Sørensen, K.; Walday, M. (1996): Flommen på Østlandet våren 1995. Sammenstilling av NIVAs undersøkelser med spesiell vekt på intensivundersøkelser i Glomma og Vorma. NIVA-rapport lnr. 3480.

## Vedlegg A. Kilder for data om tilførsler fra andre land

<b>Storbritannia</b>		
Rådata for engelske elver fra årene 1992, 1993 og 1994.	<i>National River Authority (NRA), River House, Waterside Drive, Aztec West, Aldmondsbury, Bristol BS12 4UD</i>	Mike Best, Data Coordinator
Elva Tweed på grensen mellom England og Skottland.	<i>Tweed River Purification Board, Burnbrae, Mossilee Road, Galashiels TD1 1NF</i>	A.J.Foss, Sampling Officer
Østkysten av Skottland, området rundt Firth of Forth.	<i>Forth River Purification Board, Clearwater House, Heriot Watt Research Park, Avenue North, Riccaton, Edinburgh EH14 4AP</i>	Dr. T.M. Leatherland, Chief Scientific Officer
Østkysten av Skottland mellom Firth of Forth og Inverness.	<i>North East River Purification Board, Greyhope House, Greyhope Road, Torry, Aberdeen AB1 3RD.</i>	Mr. Nigel Goody, Chief Hydrologist
Nordøstkysten av Skottland, fra Inverness og nordover.	<i>Highland River Purification Board, Graesser House, Fodderty Way, Dingwall, IV15 9XB</i>	Tom Inglis, Deputy Director
<b>Nederland</b>		
inkl. elva Scheldt	<i>Directorate-General for Public Works and Water Management, Insitute for Inland Water Management and Waste Water Treatment RIZA, P.O.box. 17, 8200 AA Leystad. Visiting address: Maerlant 16</i>	René Breukel A. van Luin A.J. Schäfer
	<i>Institutt for fiskeri- og marinbiologi ved Universitetet i Bergen</i>	Beatriz Balino
<b>Tyskland</b>		
	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Postfach 12 06 29 - 53048 Bonn</i>	Dr. Hans-Georg Neuhoff
	<i>Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe Nessdeich 120-121, 21129 Hamburg</i>	
	<i>Freie Universität, Berlin</i>	Steffen Uhlig
	<i>Institutt for fiskeri- og marinbiologi ved Universitetet i Bergen</i>	Beatriz Balino
<b>Sverige</b>		
	<i>Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för miljöanalys Box 7050, S-750 07 Uppsala</i>	Bert Karlson
<b>Danmark</b>		
	<i>Miljø- og Energiministeriet Frederiksborgvej 399, Postboks 358 4000 Roskilde</i>	Søren E. Larsen

## Vedlegg B. Beregning av tilførsler til ytre Oslofjord

Dette vedlegget gir bakgrunn for de beregninger av tilførsler til ytre Oslofjord som er brukt i stoffbudsjettene, og som er generelt omtalt i kap. 7.7.

Tabell 17 viser hvordan beregning av årstilførsler av N og P på de ulike delområdene av ytre Oslofjord bygger på statistikkområdene som inngår i TEOTIL. Tabellen lister opp de definerte delområdene (se kart side 83), viser hvilke statistikkområder som inngår helt eller delvis, og angir datagrunnlag for årstransport av N og P.

Der det finnes verdier fra elvene basert på målinger nyttes disse verdiene, og estimatet for årstransport ut fra målingene finnes da i feltet "målt" i tabellen. Hvis målepunktet ikke inkluderer hele statistikkområdet/vassdraget, gis et anslått tillegg for tilførsler fra restområdet i kolonnen "rest".

Der det ikke finnes tilførselsverdier basert på observasjoner i elven, nyttes verdier fra modellen TEOTIL. Det er angitt med "-9" for manglende verdi i kolonnen "målt" i tabellen.

Bidrag fra statistikkområder som strekker seg over flere delområder fordeles i samsvar med oppgitt verdi i kolonnen "andel". Samme statistikkområde er da oppført flere ganger i tabellen under hvert delområde det er knyttet til, med samme totale utslippstall, men ulike andeler som viser hvor mye som går til hvert område. Summen av andelene for et statistikkområde er 1.

Samlet årstilførsel for et delområde kan da beregnes ut fra formelen:

$$Tilførsel = \sum_{\text{statistikkområder}} \left( \left\{ \begin{array}{ll} \text{Teoretisk verdi} & \text{hvis "målt"} = -9 \\ \text{målt} + \text{rest} & \text{hvis "målt"} \geq 0 \end{array} \right\} \cdot \text{Andel} \right)$$

Resultatet av beregningen er vist på årsbasis foran i rapporten, i tabell 7 på side 58. Den fullstendige oversikten over 1993-tilførslerne fordelt på måneder er vist nedenfor i tabell 19 og tabell 20.

Påliteligheten til estimatene i TEOTIL er forsøkt illustrert i tabell 18, som viser en sammenligning mellom estimater bygd på målinger og de teoretiske verdier som kan bestemmes av TEOTIL-modellen uten data spesifikt for vassdraget, bare ut fra de statistiske opplysningene.

**Tabell 17.** Beregningsgrunnlag for årstilførsler av N og P til de ulike delområdene av ytre Oslofjord.

Delområde Statistikk-område	Fosfor			Nitrogen		
	målt kg	rest kg	andel	målt kg	rest kg	andel
<b>Drammensfjorden</b>						
011.-1 Lier, Lierelva	7,800	0	1.0	178,000	0	1.0
011.-2 Drammensfjorden	-9	0	1.0	-9	0	1.0
012.0-0 Svelvik	-9	0	1.0	-9	0	1.0
012.Z-1 Dramselva	49,100	900	1.0	3,753,000	47,000	1.0
<b>Indre Oslofjord, Filtvedt fyr</b>						
004.-2 Drøbak	-9	0	1.0	-9	0	1.0
005.0-3 Ski	500	0	1.0	53,000	0	1.0
005.0-2 Ås	700	0	1.0	63,000	0	1.0
005.0-1 Nesodden	-9	0	1.0	-9	0	1.0
006.Z-1 Akerselva	1,200	0	1.0	35,000	0	1.0
006.3Z-0 Frognerbekken	600	0	1.0	17,000	0	1.0
006.0-4 Bygdøy øst	-9	0	1.0	-9	0	1.0
006.0-3 Hovedøya	-9	0	1.0	-9	0	1.0
006.0-2 Bryn	6,500	24,000	1.0	79,000	958,000	1.0
006.0-1 Malmøya	700	0	1.0	14,000	0	1.0
007.Z-0 Lysakerelva	1,800	0	1.0	51,000	0	1.0
007.0-2 Fornebu	-9	0	1.0	-9	0	1.0
007.0-1 Bygdøy vest	-9	0	1.0	-9	0	1.0
008.Z-1 Sandvika	4,000	0	1.0	259,000	0	1.0
008.0-2 Nesøya	-9	0	1.0	-9	0	1.0
008.0-1 Ostøya	-9	0	1.0	-9	0	1.0
009.Z-0 Ostøya Røyken	-9	0	1.0	-9	0	1.0
009.0-3 Ostøya Sætre	-9	0	1.0	-9	0	1.0
009.0-2 Ostøya Nersnes	-9	0	1.0	-9	0	1.0
009.0-1 Ostøya Blakstad	-9	0	1.0	-9	0	1.0
<b>1 Breidangen øst (Filtvedt-Jeløya_nord)</b>						
003.-1 Moss	-9	0	0.45	-9	0	0.65
004.-1 Vestby	-9	0	1.0	-9	0	1.0
010.0-0 Tofte	-9	0	1.0	-9	0	1.0
<b>2 Breidangen vest (Ytre Drammensfjord-Jeløya-Borre)</b>						
013.0-3 Horten	-9	0	0.25	-9	0	0.18
<b>3 Sandebukta (Holmestrand)</b>						
013.Z-0 Sandeelv/Sande	-9	0	1.0	-9	0	1.0
013.0-2 Holmestrand	-9	0	1.0	-9	0	1.0
013.0-1 Selvik	-9	0	1.0	-9	0	1.0

(tabell forts.)

Tabell 17 fortsetter:

Delområde Statistikk-område	Fosfor			Nitrogen		
	målt <u>kg</u>	rest <u>kg</u>	andel	målt <u>kg</u>	rest <u>kg</u>	andel
<b>4</b> Moss/Larkollen (Øst for Horten-Jeløya/sør-Slagentangen-Larkollen) 003.-1 Moss	-9	0	0.55	-9	0	0.35
<b>5</b> Bastøyrenna (Horten-Slagentangen) 013.0-3 Horten	-9	0	0.12	-9	0	0.12
<b>6</b> Larkollen/Missingen (Onsøy-Raudøy) 002.0-3 Vikane	-9	0	1.0	-9	0	1.0
<b>7</b> Slagentangen/Fuglehuk (Tønsberg-Slagentangen-Nøtterø) 013.0-3 Horten 014.0-1 Tønsberg 014.0-2 Nøtterø	-9 -9 -9	0 0 0	0.63 1.0 1.0	-9 -9 -9	0 0 0	0.7 1.0 1.0
<b>8</b> Hvaler/Singlefjorden (Glommas østre løp) 001.-1 Enningdalselva 001.-2 Halden 002.Z-1 Sarpsborg 002.0-1 Skjeberg	-9 6,600 417,000 <sup>1</sup> -9	0 6,200 1,000 0	1.0 1.0 0.7 1.0	-9 594,000 13,265,000 <sup>1</sup> -9	0 113,000 615,000 0	1.0 1.0 0.7 1.0
<b>9</b> Leira(Glommas vestre løp) 002.Z-1 Sarpsborg 002.0-2 Hvaler	41,7000 <sup>1</sup> -9	31,000 0	0.3 0.5	13,265,000 <sup>1</sup> -9	615,000 0	0.3 0.5
<b>10</b> Området rundt Søstrene 002.0-2 Hvaler	-9	0	0.5	-9	0	0.5
<b>11</b> Færderområdet 014.0-3 Tjøme	-9	0	1.0	-9	0	1.0
<b>14</b> Hvalerdypet vest (Tønsbergfjorden-Sandefjordfjorden-Stavern) 014.Z-0 Aulielva/Barkåker 014.0-4 Melsomvik 014.0-5 Tønsberg tønne 015.0-1 Sandefjord 015.0-2 Viksfjord	7,900 -9 -9 -9 -9	0 0 0 0 0	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	722,000 -9 -9 -9 -9	0 0 0 0 0	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
<b>15</b> Skagerak (Larviksfjorden med Numedalslågen) 015.Z-1 Verningen 015.4Z-1 Farris 015.0-5 Brekke 015.0-4 Stavern 015.0-3 Larvik	53,500 2,100 -9 -9 -9	0 0 0 0 0	1.0 1.0 1.0 1 1.0	1,587,000 208,000 -9 -9 -9	0 0 0 0 0	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0

<sup>1</sup> Tallene for Glomma var angitt 25-30 % for lavt i PARCOM-rapporten for 1994, pga. av en feil i vannføringstallene. Tall ovenfor er de riktige (Gjertrud Holtan, pers. medd.).



**Tabell 18.** Sammenlikning av tilførsler basert på målinger og beregnet ved modellen TEOTIL for en del geografiske områder

NB! Ikke alle tilhører nedbørsfelter for ytre Oslofjord.

Statistikkområde Elv	P (kg/år)		N (kg/år)	
	Målt	TEOTIL	Målt	TEOTIL
001.-2 Tista	12.8	14.6	707	888
002.Z-1 Glomma	448	385	13880	13628
005.0-2 Hobøl	0.7	2.7	14	106
005.0-3 Gjersjøelva	0.5	7.4	53	140
006.Z-1 Akerselva	1.2	5.8	35	92
006.0-1 Lysakerelva	1.8	2.2	51	51
006.0-2 Loelva	30.1	25.6	1037	982
008.Z-1 Sandvikselva	4.0	4.8	259	112
011.-1 Lierelva	7.8	0.6	178	26
012.Z-1 Dramselva	50	67	1587	1135
014.Z-0 Aulielva	7.9	13.3	722	484
015.Z-1 Numedalslågen	53.5	32.3	1587	1135
015.4Z-1 Farris	2.1	17.6	208	155
Sum	620	579	20318	18934

**Tabell 19.** Fosfortilførsler til Oslofjorden 1993 (kg pr. måned og for hele året)

Nr	Kilde	Sum over året	Månedsnr.											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-2	bakgrunn	23704	1502	1661	1614	1957	3978	1120	1657	3229	1334	2163	1853	1623
-2	Jareal	17998	976	1099	1095	2011	3265	865	1166	2094	1054	1733	1493	1139
-2	Jpunkt	456	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
-2	Bspredt	7929	661	661	661	661	661	661	661	661	661	661	661	661
-2	Btett	33889	2831	2831	2831	2831	2831	2831	2831	2831	2831	2831	2831	2831
-2	industri	630	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
-2	SUM	84608	6068	6327	6286	7545	10823	5551	6414	8902	5966	7473	6926	6339
-1	bakgrunn	8802	228	277	316	1814	1996	442	430	475	580	982	867	398
-1	Jareal	5524	141	174	199	1136	1255	278	270	297	364	616	544	253
-1	Jpunkt	527	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
-1	Bspredt	4106	343	343	343	343	343	343	343	343	343	343	343	343
-1	Btett	77515	6459	6459	6459	6459	6459	6459	6459	6459	6459	6459	6459	6459
-1	industri	231	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
-1	SUM	96708	7232	7315	7381	9814	10115	7587	7563	7633	7811	8462	8277	7517
1	bakgrunn	3451	88	109	124	710	783	174	168	186	229	385	341	156
1	Jareal	6138	157	193	221	1263	1393	309	298	330	406	684	606	279
1	Jpunkt	164	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1	Bspredt	3194	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266	266
1	Btett	6326	527	527	527	527	527	527	527	527	527	527	527	527
1	industri	38645	3221	3221	3221	3221	3221	3221	3221	3221	3221	3221	3221	3221
1	SUM	57917	4272	4329	4372	6001	6203	4510	4494	4543	4662	5095	4973	4464
2	bakgrunn	108	3	4	4	22	25	6	5	6	7	12	11	5
2	Jareal	337	9	11	12	69	77	17	16	18	22	38	33	15
2	Jpunkt	5.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	Bspredt	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Btett	3962	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330
2	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	SUM	4425	343	346	348	423	433	354	353	356	361	381	376	352
3	bakgrunn	2033	52	64	73	418	461	101	99	109	135	226	200	93
3	Jareal	3356	85	106	121	690	761	169	163	180	222	374	330	153
3	Jpunkt	56	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	Bspredt	1230	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
3	Btett	2574	214	214	214	214	214	214	214	214	214	214	214	214
3	industri	12702	1059	1059	1059	1059	1059	1059	1059	1059	1059	1059	1059	1059
3	SUM	21948	1518	1550	1574	2488	2603	1651	1642	1670	1737	1981	1911	1625
4	bakgrunn	1730	44	54	62	356	393	87	84	93	114	193	171	79
4	Jareal	2341	60	74	84	482	531	118	114	126	155	261	230	107
4	Jpunkt	80	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
4	Bspredt	1225	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
4	Btett	2793	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233
4	industri	4455	371	371	371	371	371	371	371	371	371	371	371	371
4	SUM	12625	817	841	859	1550	1636	918	911	932	982	1167	1114	898
5	bakgrunn	52	1	2	2	11	12	3	3	3	3	6	5	2
5	Jareal	162	4	5	6	33	37	8	8	9	11	18	16	7
5	Jpunkt	2.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	Bspredt	6.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	Btett	1902	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
5	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	SUM	2124	165	166	167	203	208	170	170	171	173	183	180	169
6	bakgrunn	202	9	9	11	35	34	12	8	10	14	21	24	14
6	Jareal	454	21	21	25	78	77	28	18	22	32	48	53	31
6	Jpunkt	23	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	Bspredt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Btett	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	SUM	679	32	32	38	115	114	42	28	34	48	71	79	47

(forts: neste side)

Tabell 19 (forts.): Fosfortilførsler til Oslofjorden 1993 (kg pr. måned og for hele året)

Nr	Kilde	Sum over året	Månedsnr.											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	bakgrunn	769	19	25	27	158	175	39	37	40	51	86	75	35
7	Jareal	2760	70	86	99	568	627	139	134	148	182	308	272	125
7	Jpunkt	49	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7	Bspredt	3871	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323	323
7	Btett	9985	832	832	832	832	832	832	832	832	832	832	832	832
7	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	SUM	17432	1248	1269	1286	1885	1958	1336	1330	1348	1391	1552	1506	1319
8	bakgrunn	148015	8840	7555	5911	7208	28088	13579	14065	21726	11087	11685	9586	8687
8	Jareal	99844	5958	5094	3994	4916	18938	9145	9462	14612	7477	7895	6490	5863
8	Jpunkt	4399	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367
8	Bspredt	23943	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996
8	Btett	44356	3697	3697	3697	3697	3697	3697	3697	3697	3697	3697	3697	3697
8	industri	17366	1447	1447	1447	1447	1447	1447	1447	1447	1447	1447	1447	1447
8	SUM	337924	22301	20153	17411	19629	54533	30229	31033	43844	26070	27085	23580	22056
9	bakgrunn	59825	3621	3071	2335	2469	11423	5600	5884	9136	4496	4629	3686	3477
9	Jareal	40142	2430	2060	1566	1652	7665	3759	3950	6134	3016	3105	2471	2332
9	Jpunkt	1817	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
9	Bspredt	10010	834	834	834	834	834	834	834	834	834	834	834	834
9	Btett	17746	1479	1479	1479	1479	1479	1479	1479	1479	1479	1479	1479	1479
9	industri	6219	518	518	518	518	518	518	518	518	518	518	518	518
9	SUM	135760	9032	8114	6884	7103	22070	12341	12818	18253	10495	10716	9140	8792
10	bakgrunn	169	8	8	10	29	29	11	7	8	12	18	20	12
10	Jareal	80	4	4	5	14	14	5	3	4	6	9	10	6
10	Jpunkt	6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
10	Bspredt	565	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
10	Btett	540	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
10	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	SUM	1360	104	104	107	136	135	108	103	105	110	119	122	110
11	bakgrunn	96	2	3	3	20	22	5	5	5	6	11	10	4
11	Jareal	159	4	5	6	33	36	8	8	9	11	18	16	7
11	Jpunkt	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Bspredt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Btett	449	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
11	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	SUM	711	44	46	47	91	96	51	50	52	55	66	63	50
14	bakgrunn	2859	74	90	102	587	649	144	140	153	190	319	283	131
14	Jareal	9118	233	288	328	1876	2070	460	443	491	603	1016	898	415
14	Jpunkt	155	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	Bspredt	1764	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148
14	Btett	23708	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976
14	industri	129	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
14	SUM	37733	2452	2523	2577	4611	4865	2750	2728	2791	2938	3482	3326	2691
15	bakgrunn	30446	2195	1862	1777	2722	3741	2626	2760	2608	1231	3367	2614	2938
15	Jareal	15872	1121	956	915	1477	2001	1351	1418	1343	654	1756	1368	1507
15	Jpunkt	440	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
15	Bspredt	7815	651	651	651	651	651	651	651	651	651	651	651	651
15	Btett	9692	808	808	808	808	808	808	808	808	808	808	808	808
15	industri	1954	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163
15	SUM	66217	4976	4476	4351	5857	7402	5636	5838	5612	3545	6782	5641	6103
TOTALSUM		878170	60604	57591	53687	67451	123193	73235	75475	96245	66343	74616	67213	62531

**Tabell 20.** Nitrogentilførsler til Oslofjorden 1993 (kg pr. måned og for hele året)

Nr	Kilde	Sum over året	Månedsnr.											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-2	bakgrunn	2010909	135359	148531	143688	141194	325544	94060	145408	290421	111304	179664	153232	142486
-2	Jareal	1311386	84073	92602	90128	105717	218837	61700	92440	180276	73675	119393	102184	90363
-2	Jpunkt	22508	1878	1878	1878	1878	1878	1878	1878	1878	1878	1878	1878	1878
-2	Bspredt	198285	16524	16524	16524	16524	16524	16524	16524	16524	16524	16524	16524	16524
-2	Btett	803178	66932	66932	66932	66932	66932	66932	66932	66932	66932	66932	66932	66932
-2	industri	89345	7445	7445	7445	7445	7445	7445	7445	7445	7445	7445	7445	7445
-2	SUM	4435609	312213	333907	326595	339692	637161	248534	330620	563470	277752	391839	348188	325623
-1	bakgrunn	212980	5441	6708	7647	43824	48323	10726	10357	11455	14084	23738	20993	9683
-1	Jareal	385419	9847	12137	13841	79308	87446	19406	18741	20731	25489	42956	37990	17529
-1	Jpunkt	9602	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799	799
-1	Bspredt	72822	6070	6070	6070	6070	6070	6070	6070	6070	6070	6070	6070	6070
-1	Btett	2736453	228036	228036	228036	228036	228036	228036	228036	228036	228036	228036	228036	228036
-1	industri	44600	3717	3717	3717	3717	3717	3717	3717	3717	3717	3717	3717	3717
-1	SUM	3461877	253911	257470	260111	361753	374387	268747	267721	270805	278197	305312	297605	265841
1	bakgrunn	81788	2089	2576	2937	16829	18557	4118	3977	4398	5409	9115	8063	3720
1	Jareal	399079	10195	12570	14330	82119	90544	20094	19405	21464	26393	44477	39337	18151
1	Jpunkt	2972	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247
1	Bspredt	34659	2889	2889	2889	2889	2889	2889	2889	2889	2889	2889	2889	2889
1	Btett	241170	20098	20098	20098	20098	20098	20098	20098	20098	20098	20098	20098	20098
1	industri	146597	12217	12217	12217	12217	12217	12217	12217	12217	12217	12217	12217	12217
1	SUM	906265	47735	50596	52719	134398	144550	59663	58831	61311	67252	89042	82848	57320
2	bakgrunn	1945	50	61	70	400	441	98	95	105	129	217	192	89
2	Jareal	10297	263	324	370	2119	2336	518	501	554	681	1148	1015	468
2	Jpunkt	36	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	Bspredt	75	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	Btett	62837	5236	5236	5236	5236	5236	5236	5236	5236	5236	5236	5236	5236
2	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	SUM	75189	5558	5631	5685	7765	8023	5862	5841	5904	6055	6610	6452	5802
3	bakgrunn	55550	1419	1749	1995	11431	12603	2797	2700	2987	3674	6191	5475	2527
3	Jareal	148454	3792	4676	5331	30547	33681	7475	7218	7984	9818	16545	14632	6752
3	Jpunkt	523	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
3	Bspredt	9750	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813	813
3	Btett	51126	4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260	4260
3	industri	69900	5825	5825	5825	5825	5825	5825	5825	5825	5825	5825	5825	5825
3	SUM	335303	16154	17367	18268	52920	57226	21213	20861	21913	24433	33678	31049	20220
4	bakgrunn	26268	671	827	943	5405	5960	1323	1277	1413	1737	2927	2589	1195
4	Jareal	118790	3035	3742	4266	24444	26951	5981	5776	6389	7856	13239	11709	5403
4	Jpunkt	1064	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
4	Bspredt	10420	868	868	868	868	868	868	868	868	868	868	868	868
4	Btett	70740	5895	5895	5895	5895	5895	5895	5895	5895	5895	5895	5895	5895
4	industri	14321	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194
4	SUM	241604	11751	12614	13255	37894	40956	15349	15099	15847	17639	24212	22344	14643
5	bakgrunn	1297	33	41	47	267	294	65	63	70	86	145	128	59
5	Jareal	6865	175	216	246	1413	1557	346	334	369	454	765	677	312
5	Jpunkt	24	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	Bspredt	50	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	Btett	41891	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491	3491
5	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	SUM	50126	3706	3754	3790	5177	5349	3908	3894	3936	4037	4407	4302	3868
6	bakgrunn	2239	104	103	123	385	382	136	89	108	159	235	262	153
6	Jareal	19416	904	897	1068	3335	3309	1180	770	940	1377	2039	2271	1325
6	Jpunkt	263	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
6	Bspredt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Btett	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	SUM	21918	1030	1022	1213	3742	3713	1339	881	1071	1557	2296	2555	1499

(forts: neste side)

Tabell 20 (forts.): Nitrogentilførsler til Oslofjorden 1993 (kg pr. måned og for hele året)

Nr	Kilde	Sum over året	Månednr.											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	bakgrunn	20470	523	645	736	4213	4644	1031	995	1101	1355	2282	2018	931
7	Jareal	120523	3079	3795	4328	24800	27344	6068	5860	6482	7971	13432	11879	5481
7	Jpunkt	462	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
7	Bspredt	23959	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998
7	Btett	244364	20364	20364	20364	20364	20364	20364	20364	20364	20364	20364	20364	20364
7	industri	10200	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
7	SUM	419976	26851	27690	28312	52261	55237	30348	30104	30832	32573	38961	37145	29661
8	bakgrunn	3037616	180435	154668	122425	156984	575011	276381	284562	438629	227244	241731	200572	178973
8	Jareal	4335445	255450	219986	177103	243459	817640	389589	397419	610533	323704	349121	294499	256942
8	Jpunkt	66403	5534	5534	5534	5534	5534	5534	5534	5534	5534	5534	5534	5534
8	Bspredt	327954	27329	27329	27329	27329	27329	27329	27329	27329	27329	27329	27329	27329
8	Btett	1581985	131832	131832	131832	131832	131832	131832	131832	131832	131832	131832	131832	131832
8	industri	73124	6093	6093	6093	6093	6093	6093	6093	6093	6093	6093	6093	6093
8	SUM	9422526	606674	545445	470316	571231	1563439	836760	852769	1219950	721735	761642	665861	606704
9	bakgrunn	1196439	72424	61418	46672	49173	228469	112041	117773	182879	89917	92530	73630	69512
9	Jareal	1644871	99557	84434	64180	67718	314083	154006	161863	251331	123614	127235	101275	95575
9	Jpunkt	26853	2238	2238	2238	2238	2238	2238	2238	2238	2238	2238	2238	2238
9	Bspredt	130686	10891	10891	10891	10891	10891	10891	10891	10891	10891	10891	10891	10891
9	Btett	620424	51702	51702	51702	51702	51702	51702	51702	51702	51702	51702	51702	51702
9	industri	19243	1603	1603	1603	1603	1603	1603	1603	1603	1603	1603	1603	1603
9	SUM	3638514	238415	212286	177286	183326	608985	332482	346069	500643	279964	286200	241339	231521
10	bakgrunn	1876	88	87	103	323	320	114	75	91	133	197	220	128
10	Jareal	3458	161	160	190	594	590	210	137	168	245	363	405	236
10	Jpunkt	69	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
10	Bspredt	3772	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
10	Btett	3840	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
10	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	SUM	13014	889	887	934	1557	1549	965	852	899	1018	1200	1264	1004
11	bakgrunn	3076	79	97	110	633	698	155	150	165	203	343	303	140
11	Jareal	6651	170	209	239	1369	1509	335	323	358	440	741	656	303
11	Jpunkt	57	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	Bspredt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Btett	11503	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959	959
11	industri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	SUM	21287	1212	1270	1313	2965	3170	1453	1436	1486	1607	2047	1922	1406
14	bakgrunn	146638	3747	4619	5266	30174	33269	7384	7131	7886	9698	16342	14453	6669
14	Jareal	740399	18916	23321	26587	152354	167983	37281	36001	39821	48967	82517	72979	33674
14	Jpunkt	2835	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
14	Bspredt	24888	2073	2073	2073	2073	2073	2073	2073	2073	2073	2073	2073	2073
14	Btett	319092	26591	26591	26591	26591	26591	26591	26591	26591	26591	26591	26591	26591
14	industri	4796	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
14	SUM	1238647	51964	57239	61155	211828	230554	73965	72433	77008	87966	128160	116734	69646
15	bakgrunn	1169813	78026	67501	65235	120413	157914	96015	100349	95894	50816	129525	102160	105969
15	Jareal	573234	38455	33218	32074	58451	76886	47219	49374	47141	24778	63467	49999	52170
15	Jpunkt	5445	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
15	Bspredt	79013	6585	6585	6585	6585	6585	6585	6585	6585	6585	6585	6585	6585
15	Btett	109710	9142	9142	9142	9142	9142	9142	9142	9142	9142	9142	9142	9142
15	industri	11700	976	976	976	976	976	976	976	976	976	976	976	976
15	SUM	1948912	133638	117873	114467	196018	251957	160387	166878	160190	92749	210146	169317	175293
TOTALSUM		26230760	1711700	1645051	1535417	2162527	3986255	2060974	2174289	2935264	1894535	2285752	2028924	1810050

## Vedlegg C. Definisjon av de modellresultater som skal tas vare på til bruk i analysen.

For å kunne bruke resultater fra DNMI's 3-dimensjonale sirkulasjonsmodell som grunnlag for nærings-salt-budsjetter, tas det vare på aggregerte verdier fra kjøringene. Dette vedlegget beskriver hvordan disse verdiene skal beregnes idéelt sett, dvs. for en kontinuerlig beskrivelse av strømmer og transporter i tid og rom. Den praktiske gjennomføringen av beregningene i ECOM-3D henger sammen med detaljene i modellens struktur og regneskjema, og er utviklet av DMNI som en del av deres prosjekt (Hackett et al. 1995) og drøftes ikke her.

Vi tar utgangspunkt i tetthetsfeltet  $\rho(x,y,z,t)$  som funksjon av horisontale koordinater  $x$  og  $y$ , vertikal koordinat  $z$  og tid  $t$ , og bruker det til å dele inn vannmassene i lag definert ut fra faste grenser som er valgt på forhånd:  $\rho_l$ ,  $l=1,\dots,L$ . Det antas i det etterfølgende at positiv  $z$ -retning er oppover mot overflaten. Bunn-dypet betegnes  $D(x,y) \geq 0$ , og vannstanden med  $z_0(x,y,t)$ , dvs. at dypet  $z$  varierer fra  $-D$  ved bunnen til  $z_0$  ved overflaten.

Det beste for å følge vannmassene ville kanskje være å bruke saliniteten som inndelingskriterium, siden den kan betraktes som en konservativ stoffkonsentrasjon, men tettheten har den fordel at den styrer lagdelingen, og at tetthetsfeltet øker monotont nedover i vannmassene, slik at det definerer en entydig lagdeling. Det gjelder også stort sett salinitet, men det kan bli små inversjoner i saltprofilen, dvs. dypintervaller hvor  $\partial S / \partial z > 0$ , og da måtte profilen homogeniseres for å gi en enkel lagdeling ut fra salinitet, f.eks. ved å definere en modifisert dybdeprofil  $S^*$  som pr. definisjon øker monotont:

$$S^*(x,y,z,t) = \max_{\text{alle } \eta (z_0 \leq \eta \leq z)} (S(x,y,\eta,t)) \quad (6)$$

Når tettheten brukes, vil slike inversjoner forekomme i liten grad. Avrundingsfeil i modellen gjør at det strengt tatt alltid vil være en slik mekanisme implisitt i den algoritmen som brukes for å sette dyp-grensene. Detaljene vil likevel ikke ha noen praktisk betydning for resultatet når tetthet brukes.

Tetthetsfeltet med de definerte grenseverdiene ( $\rho_l$ ) definerer lagdelingsflater  $Z_l(x,y,t)$  gitt ved:

$$Z_l = \begin{cases} z_0(x,y,t) & \text{hvis } \rho_l \leq \rho(x,y,z_0,t) \\ -D(x,y) & \text{hvis } \rho_l \geq \rho(x,y,-D(x,y),t) \\ \text{definert av } \rho(x,y,Z_l,t) = \rho_l & \text{ellers} \end{cases} \quad (7)$$

Fjorden er delt inn i  $N$  geografiske områder, med en avgrensning i  $x$ - og  $y$ -retning som ligger fast over tid. Den geografiske avgrensningen sammen med lagdelingsflatene definerer de volumene vi ønsker å aggregere verdier for.

Volumer  $V_{i,l}(t)$  for lag nr  $l$  i område  $i$  er gitt ved

$$V_{i,l}(t) = \iint_{A_i} (Z_{l-1}(x,y,t) - Z_l(x,y,t)) dx dy \quad (8)$$

hvor det integreres over overflatearealer  $A_i$ ,  $i=1,\dots,N$ .

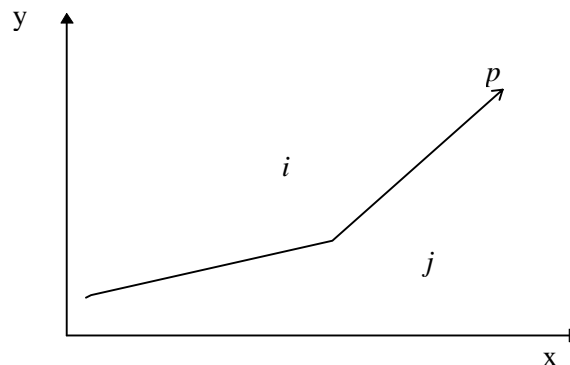
I modellen er det lagt inn beregning av konsentrasjonsfelter  $c_k(x,y,z,t)$  for et antall konservative "sporstoffer" ( $k=1,\dots,K$ ) som representerer merking av ulike ferskvannskilder. I tillegg til de spesielle

variablene som er lagt inn for å kunne følge utbredelsen av vann fra ulike kilder, 4 stykker i modellen slik den er implementert, vil det ideelt sett være mulig å utnytte salinitet<sup>1</sup>, som er en tracer for samlet ferskvannspåvirkning, i så fall blir  $K=5$ . Som grunnlag for å sette opp massebalanser for hvert sporstoff beregnes mengden sporstoff innenfor hvert volum som funksjon av tid:

$$M_{i,l,k}(t) = \iint_{A_i} \int_{Z_l(x,y,t)}^{Z_{l-1}(x,y,t)} c_k(x,y,z,t) dz dx dy \quad (9)$$

Det er altså ikke konsentrasjoner, men volumer og sporstoffmengder som beregnes og tas vare på under modellkjøringene. Konsentrasjoner beregnes ved senere analyse av resultatene. Volumer  $V_{i,l}$  kan betraktes som et spesialtilfelle av  $M_{i,l,k}$  f.eks. med indeks  $k=0$  og tilsvarende at konsentrasjonene  $c_{i,l,0} \equiv 1$ . Enkelte  $V_{i,l}$  og  $M_{i,l,k}$  kan bli = 0 i hele eller deler av en simulering. Ved senere analyse av resultatene kan konsentrasjonene volummidles for beregning av tidsmidler, og det ses bort fra tilfeller med  $V_{i,l}=0$ .

I tillegg beregnes volum- og sporstofftransport til og fra de ulike volumene. Grensene mellom arealene definerer loddrette grenseflater mellom volumene fra tilgrensende arealer. Grensen mellom areal  $i$  og areal  $j$  kan beskrives ved to kontinuerlige og stykkevis lineære funksjoner  $x_{ij}(p)$  og  $y_{ij}(p)$  definert for et intervall  $p \in [0, \dots, p_{ij,max}]$ , hvor  $p$  er avstand langs grenselinjen målt fra et startpunkt, dvs. at

$$dx_{ij}^2 + dy_{ij}^2 = dp^2$$


**Figur 57.** Skjematisk fremstilling av grenselinje mellom to arealer nummerert  $i$  og  $j$ .

Indeks  $i$  eller  $j$  kan også brukes for å betegne områder utenfor modellområdet, dvs. utenfor randen. Bare et fåtall av kombinasjoner  $ij$  har noen grenselinje. Indekspar  $ji$  beskriver samme grenselinje som  $ij$ , men gjennomløpt i motsatt retning. Bare én av kombinasjonene  $ij, ji$  skal derfor beregnes.

Strømhastighetene i modellen i  $x$ -,  $y$ - og  $z$ -retning benevnes henholdsvis  $u, v$  og  $w$ , og er funksjoner av  $x, y, z$  og  $t$ . Siden grenseflatene mellom to tilgrensende volumer som hører til to forskjellige arealer alltid er vertikale, er det bare de horisontale strømkomponentene som skal brukes til å beregne strøm mellom geografiske områder. Grenseflaten mellom lagene innenfor et areal vil normalt ligge i dyp som varierer med  $x$  og  $y$ , dvs. ha lokal helning i forhold til horisontalplanet, og alle strømkomponentene brukes derfor til å beregne transport mellom lagene innenfor et areal.

<sup>1</sup> Dette viste seg ikke mulig å få til i praksis, pga. begrenset regnenøyaktighet.

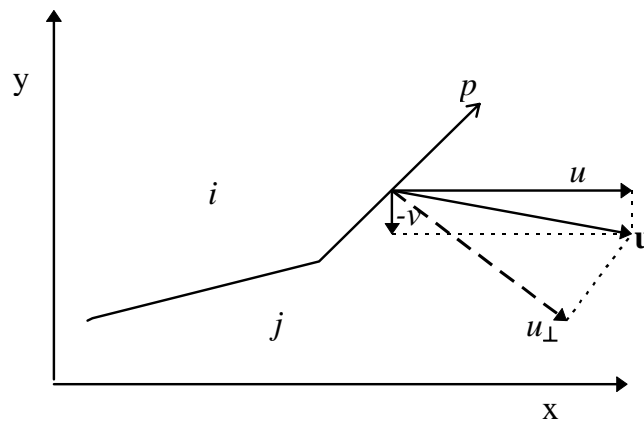
Både total volumtransport og stofftransport for de ulike sporstoffene skal beregnes. Nedenfor beskrives stort sett bare stofftransport, med stoffet angitt ved indeks  $k$  som ovenfor, på basis av konsentrasjonsfeltene  $c_k(x, y, z, t)$ . Beregningen av volumtransporten er som nevnt ovenfor gitt av de samme formlene som for sporstoff, hvis indeks  $k=0$  brukes til å angi volum, med konsentrasjon  $c_0(x, y, z, t) \equiv 1$ . Det som skal beregnes er transport horisontalt, mellom lag i forskjellige områder avgrenset av de samme tetthetsgrensene, og vertikalt mellom lagene innenfor et område. I begge tilfelle beregnes transporten akkumulert over en grenseflate. For et gitt tidspunkt kan strømmen variere både i styrke og retning over hver slik flate. Den samlede vannutvekslingen gjennom en flate beskrives ved to tall, som hver angir samlet volumtransport i en av de to strømrøtningene.

Horisontale transporter mellom lag med samme tetthetsintervall i to naboområder  $i$  og  $j$ , dvs. mellom volumer  $V_{i,l}(t)$  og  $V_{j,l}(t)$ , beregnes for alle relevante indeks-par  $ij$  og lag  $l$ . Transporten av stoff  $k$  fra  $i$  til  $j$  innenfor lag  $l$  betegnes  $Q_{ij,l,k}(t)$ , og kan finnes ved å integrere vertikalt mellom avgrensende dyp og langs grenselinjen  $ij$  i økende  $p$ -retning med  $i$  til venstre som i figur.... Grenselinjen angis med symbolet  $P_{ij}$ . Bare strøm fra  $i$  til  $j$  tas med, idet strøm andre vei erstattes med 0 i integralet. I dette integralet er det underforstått at  $x$  og  $y$  følger funksjonene  $x_{ij}(p)$  og  $y_{ij}(p)$  hvor  $p$  er avstand langs grenselinjen, som omtalt over. En horisontal strømvektor  $\mathbf{u}$  med  $x$ - og  $y$ -komponenter  $u$  og  $v$  vil ha en komponent loddrett på grenselinjen gitt ved

$$u_{\perp}(p, t) = u(p, t) \frac{dy_{ij}}{dp} - v(p, t) \frac{dx_{ij}}{dp} \tag{10}$$

som skissert i figur 58, og dette gir en integrerte volumtransport i den ene retning fra  $i$  til  $j$  på

$$Q_{ij,l,k}(t) = \int_{P_{ij}} \left( \int_{Z_l(x,y,t)}^{Z_{l-1}(x,y,t)} \max(0, u_{\perp}) \cdot c_k(p, z, t) dz \right) dp \tag{11}$$



**Figur 58.** Strømkomponenter gjennom horisontal grenseflate



Brutto transport  $Q_{ji,l,k}(t)$  motsatt vei, dvs. fra  $j$  til  $i$ , kan beregnes av samme formel med motsatt integrasjonsretning langs grenselinjen, eller ved integrasjon samme vei etter formelen:

$$Q_{ji,l,k}(t) = - \int_{P_{ij}} \left( \int_{Z_l(x,y,t)}^{Z_{l-1}(x,y,t)} \min(0, u_{\perp}) \cdot c_k(p, z, t) dz \right) dp \quad (12)$$

Nettotransporten mellom de to volumene vil være gitt som forskjellen mellom de to bruttotransportene.

Brutto vertikal transport mellom lagene innenfor et område, dvs. mellom volumene  $V_{i,l-1}(t)$  og  $V_{i,l}(t)$  for alle  $i$  og for  $l=2, \dots, L$ . Brutto transport av stoff  $k$  nedover fra  $l-1$  til  $l$  betegnes  $R_{i,l-1,k}^{-}(t)$ , mens transporten oppover betegnes  $R_{i,l-1,k}^{+}(t)$ .

De to transportleddene beregnes ved å integrere over den horisontale flaten  $A_i$  den kombinerte virkning av strøm og vertikal forflytning av grenseflaten  $Z_l$ . For transporten nedover tas bare med bidrag fra de deler av flaten hvor strømmen relativt til flatens vertikale bevegelse går fra  $l-1$  til  $l$ , mens de andre deler av flaten gir bidrag til transporten oppover. Transporten gjennom den bevegelige grenseflaten pr. horisontal flateenhet er gitt ved

$$\hat{w} = w - \frac{\partial Z_{l-1}}{\partial t} + u \frac{\partial Z_{l-1}}{\partial x} + v \frac{\partial Z_{l-1}}{\partial y} \quad (13)$$

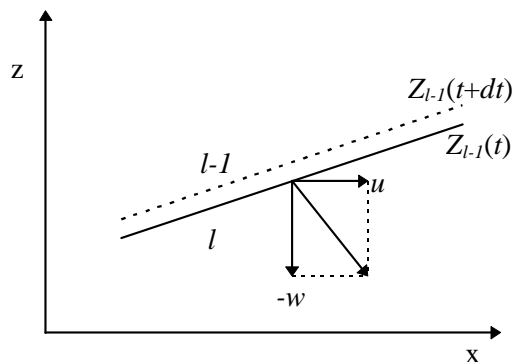
hvor positiv verdi angir transport opp gjennom flaten. Det er her underforstått at  $w, u, v$  alle er gitt som funksjoner av  $x, y$  og  $z$  hvor  $z=Z_l(x,y,t)$ . Den totale transporten ned gjennom hele flaten beregnes da som:

$$R_{i,l-1,k}^{-}(t) = \iint_{A_i} \max(0, -\hat{w}) \cdot c_k(x, y, z = Z_{l-1}, t) dx dy \quad (14)$$

og transporten oppover tilsvarende:

$$R_{i,l-1,k}^{+}(t) = \iint_{A_i} \max(0, \hat{w}) \cdot c_k(x, y, z = Z_{l-1}, t) dx dy \quad (15)$$

Netto vertikal transport beregnes som forskjellen mellom de to transportene. Skissen i figur 59 antyder en slik grenseflate som beveger seg, med dekomponering av hastigheten for et spesialtilfelle hvor  $Z$  varierer bare i bare  $x$ -retning.



Figur 59. Strømkomponenter gjennom bevegelig grenseflate mellom to lag.

For å få volum- og masse-balanse må tilførslene  $F_{i,l,k}(t)$  fra land være gitt for alle områder  $i$ , lag  $l$  og stoffer  $k$ . Bare ferskvannstilførslene inngår i simuleringsmodellen. Dramselva og Glomma er med som de to dominerende elvene i modellområdet, andre mindre elver er neglisjert eller inkludert i de to store elvene. Ved budsjettberegningen brukes de samme tallene for månedsmidler som sirkulasjonsmodellen ECOM-3D, og det lineærinterpoleres også i tid på eksakt samme måte der.

For både volumer og stoffmengder og for transportene tas det ut øyeblikksverdier med et tidsintervall som er satt til 1 time, og det er disse time-verdiene som tas vare på som resultat fra modellkjøringene.

## Vedlegg D. Noen spesielle beregningstekniske problemer forbundet med beregning av massebudsjetter

### 1. Vertikal fordeling av ferskvann

I ECOM-3D ble ferskvannet fra elver fordelt i de øverste 10 meter. Ved massebudsjettberegningen akkumuleres resultatene for tetthetsdefinerte lag, og tykkelsen av lagene vil derfor variere. Ferskvannstilførselen ble ikke aggregert fra simuleringen, i stedet har budsjettberegningen brukt samme data og interpoleringsrutine som ECOM-3D til å beregne ferskvannstilførsler innenfor modellområdet for ytre Oslofjord. Det vil si at budsjettberegningen brukte riktig total vannmengde som funksjon av tid, men det var derfor ikke selvsagt hvordan ferskvannstilførselen skulle fordeles på lagene. Pga. ulik horisontal oppløsning i ECOM-3D og de akkumulerte budsjett-tallene kan ikke samme algoritme brukes. Det ble valgt å fordele ferskvannet vertikalt mellom lagene slik at det blir best mulig overensstemmelse med total vannbalanse, med prioritet for de øverste lagene. Pga. problemet med vertikale transporter mellom lagene diskutert andre steder i rapporten blir ikke dette helt riktig.

### 2. Avvik mellom ECOM-3D-tall og integrerte mengder av vann, salt og merkede vanntyper

I kapittel 10.2.2 omtales en av to brukte metoder for å beregne N- og P-budsjetter. Metoden går ut på å bruke tidsseriene for både volumer og vanntransporter til å integrere virkningene av lokale N- og P-utslipp. Beregningen foregår som en integrasjon i tid, hvor endring i mengde av N og P innenfor hvert delvolum akkumuleres som virkningen av tilførsler og N- og P-transporter mellom delvolumene og mellom modellområdet og randen. Transportene ved hvert tidspunkt beregnes ved å multiplisere volumtransportene gitt av ECOM-3D med de N- og P-konsentrasjoner integrasjonen har gitt frem til da.

Med endelig tidsoppløsning, og fordi både volumer og transporter er gitt som øyeblikksverdier, vil budsjettet ikke stemme helt. Dette må håndteres spesielt under beregningene, for å unngå at beregnede volumer og stoffmengder avviker for mye, eller gir meningsløse, negative verdier. Dette ble bare beskrevet kortfattet i kap. 10.2.2, her gis en mer detaljert forklaring.

For å forklare hvordan beregningen gjøres, kan vi ta utgangspunkt i den enkleste formelen for å beregne endringen i mengden  $M_{i,l}$  innenfor gitt boks og lag i et tidsintervall  $\Delta t$  som funksjon av transporter og tilførsler:

$$\Delta M_{i,l} = \left( F_{i,l} + \sum_{j \neq i} (Q_{ij,l} - Q_{ji,l}) + R_{i,l-1}^+ - R_{i,l-1}^- - R_{i,l}^+ + R_{i,l}^- \right) \Delta t \quad (16)$$

De variable som inngår er definert i tilknytning til figur 32, side 72:

$M_{i,l}$  er mengde innenfor lag  $l$  i boks  $i$ , og integrerte transporter nedover og oppover gjennom grenseflaten til laget ovenfor betegnes  $R_{i,l-1}^-$  og  $R_{i,l-1}^+$ . Variabelen  $Q_{ij,l}$  betegner samlet transport fra boks  $i$  til  $j$  av vann med tetthet som tilhører lag  $l$ . Den motsatt rettede transporten er  $Q_{ji,l}$ .

Det er her underforstått at summeringen over  $j$  bare foretas over naboboksene til boks  $i$ . Dessuten bortfaller selvsagt  $R$ -leddene med indeks  $i, l-1$  i det øverste laget, og  $R$ -leddene med indeks  $i, l$  i det nederste laget.

Foreløpig har vi bare tenkt oss at vi ser på totalt volum (konsentrasjon=1), konsentrasjon av hver av de merkede vanntypene, eller salinitet. Da er de mengdene som inngår allerede tilgjengelig fra ECOM-3D, og en integrering i tid er derfor ikke av interesse i seg selv. Det vi ønsker, er altså å bruke tilsvarende beregningsmetode for næringsstoffene N og P, ved å multiplisere vanntransportene med næringsstoff-konsentrasjoner slik at vi får de nødvendige  $Q$ - og  $R$ -ledd for disse stoffene. Hvis vi for et gitt tidspunkt  $t$  har gitt mengder  $M_{i,l,N}$ ,  $M_{i,l,P}$  av de to næringsstoffene, og vannvolumer  $V_{i,l}$ , kan transporter av N og P enklest beregnes ved å multiplisere hver volumtransport med  $M_{i,l,N}/V_{i,l}$  for det område og lag transporten går ut fra<sup>1</sup>, f.eks.:

$$Q_{ij,l,N} = Q_{ij,l} \frac{M_{i,l,N}}{V_{i,l,P}} \quad (17)$$

Som nevnt i kap. 10.2.2 var det et par problemer som måtte løses for å få denne beregningen til å fungere. For det første var det visse problemer forbundet med beregningen av de vertikale transportene, som gjorde de ikke var helt riktige (Hackett et al. 1995). For det andre var transporttallene tatt ut som øyeblikksverdier, og ikke representerte ekte gjennomsnitt over de tidsintervallene de representerte.

Når det gjelder de vertikale transporter  $R$  mellom lagene, ble det etter utprøving av noen alternativer valgt å basere beregningen ikke på tallene fra ECOM-3D, men på beregnede størrelser ut fra volumbalanse. De horisontale transportene inn og ut av et geografisk område blir summert nedenfra og opp, som middelverdi for startpunkt og slutt punkt på et time-intervall. For hvert lag  $l$  beregnes altså samlet netto transport inn i alle underliggende lag. Samtidig summeres volumendringene for de samme lagene i det aktuelle tidsskrittet. Avviket mellom netto transport og volumendring summert over alle fire lag kan en ikke gjøre noe med uten å justere de horisontale transportene, men de vertikale transportene kan justeres slik at avviket blir jevnt fordelt på alle fire lag. Det er dette som gjøres. Beregningen gir altså en ny-beregnet verdi for netto transport mellom lagene, som sett i sammenheng med de horisontale transportene gir samme relative avvik i volumbalansen for alle lagene. Vertikaltransporten legges i utgangspunktet inn som et  $R^+$ -ledd hvis det er rettet oppover, som et  $R^-$ -ledd hvis det er rettet nedover. For å få en viss vannutveksling, økes dette leddet så med 50 % (%-verdien ble valgt etter utprøving), mens en tilsvarende transport legges inn i det motsatt rettede leddet. Det må presiseres at dette er en nødløsning knyttet til at de vertikale transportene trukket ut av ECOM-3D ikke var brukbare pga. den nevnte feilen.

Ved metoden ovenfor ble altså avvikene mellom volumtransporter og volumendringer jevnet ut vertikalt. Det gjenstår likevel et problem pga. av at transportene er gitt som øyeblikksverdier og derfor ikke stemmer med mengdeendringene. For å finne ut av dette, er det nødvendig å se litt på hvordan en integrasjon i tid ut fra (16) av de komponentene som opptrer direkte i ECOM-3D arter seg.

Beregningen starter med gitte verdier  $M_{i,l}$  for  $t=0$  (starten av året), og beregner så suksessivt integrerte tidsserier  $M_{i,l}^*(t_n)$ ,  $t_n=n\Delta t$ , hvor  $n=1, \dots, N$ , ved formelen

$$M_{i,l}^*(t_n) = M_{i,l}^*(t_{n-1}) + \Delta M_{i,l,n-1} \quad ; \quad M_{i,l}^*(0) = M_{i,l}(0) \quad (18)$$

<sup>1</sup> En kunne også brukt et vektet middel av konsentrasjoner i de to involverte delvolumer, det drøftes i vedlegg Vedlegg D. side 141.

hvor  $\Delta M_{i,l,n-l}$  er den endringen som beregnes ved å anvende vanntransportleddene fra ECOM-3D for det aktuelle tidsskrittet.

Dersom tidsseriene for transporter fra ECOM-3D var gitt som sanne middelveidier for hvert tidsintervall på en time, ville (18) eksakt gjenskape tidsserien for volum eller mengde innenfor datamaskinens regnenøyaktighet. Siden transportene er tatt ut som øyeblikksverdier hver time, samtidig med volumer og mengder, er det ikke mulig. Hvis vi starter med modellverdiene for alle mengder og volumer ved  $t=0$ , og bruker samme beregningsmåte, vil de integrerte volumer og mengder etter (18) stort sett avvike mer og mer fra modellverdiene ettersom  $t$  øker. Best overensstemmelse vil vi vente hvis vi beregner endring fra  $t_n$  til  $t_{n-1}$  ved hjelp av middelveidien av transportleddene for de to tidspunktene, men det vil likevel kunne bli større og større avvik. Siden transportene er aggregert av ECOM-3D, og gyldig for modellverdiene av  $M_{i,l}$ , vil en slik enkel beregning etterhvert føre til problemer, fordi transportleddene ikke er avpasset etter de integrerte mengdene de skal anvendes på. F. eks. kan det tenkes at en har forholdsvis store netto transporter ut av et volum, selv om den integrerte verdien er volumet er svært liten, eller endog negativ, på grunn av akkumulert avvik på grunn av at transportene er øyeblikksverdier. Dette kunne etterhvert gi meningsløse resultater. Erfaring med beregning på de serier som ble tatt ut av modellen viste at dette var et reelt problem.

Det samme problemet får vi når vi kombinerer vanntransportleddene med beregnede konsentrasjoner av N og P for å beregne transportledd. Integrasjonen vil gi tidsserier for mengde N eller P innenfor delvolumer. De konsentrasjonene av N- og P som skal kombineres med vanntransportene, må beregnes ved å fordele mengdene på vannvolumer. Enten kan vi bruke volumene direkte fra modellen, men da kan konsentrasjonene blir meningsløse, evt. negative. Alternativt kunne vi bruke integrerte volumer, men det ville fører til ennå større problemer, fordi volumene i seg selv kan bli meningsløse.

For å få bukt med dette må derfor avvikene mellom integrerte og simulerte modell-volumer og -mengder begrenses. En mulighet ville være å justere transportene slik at integrert volum- eller mengdeendring stemte med "fasiten" fra ECOM-3D i hvert trinn, men siden hvert transportledd involverer to delvolumer, ville det bli en litt komplisert optimeringsprosedyre som måtte oppfylle krav til summer av transportjusteringer for hvert delvolum, samtidig som den minimerte de relative transportendringene etter et passende sett av kriterier. Uansett ville vi ikke få frem de "virkelige" transportene (det vil si det vi ville fått ved å logge "kontinuerlig" fra ECOM-3D). Det er derfor valgt å bruke en enklere løsning, hvor vi betrakter delvolumene uavhengig av hverandre. Avvik mellom integrert volum og modell-volum tillates, men søkes hele tiden begrenset. Det gjøres ved å modifisere integrasjonsprosessen noe.

Modifikasjonen krever at vi integrerer totalt vannvolum ut fra volumfluksene parallelt med mengdene N og P. Vi lar  $V_{il}(n)$  betegne vannmengden i ett av delvolumene gitt direkte av ECOM-3D ved tiden  $t_n$  ("sann verdi"), og  $V_{il}^*(n)$  det tilsvarende integrerte vannvolumet. Dersom integrert volum er mindre enn "sant" volum reduseres alle transporter ut av delvolumet tilsvarende, og hvis integrert volum skulle bli  $<0$  settes alle transporter ut av volumet til 0. Dvs. at (18) modifiseres til

$$\Delta M_{i,l} = \left( F_{i,l} + \sum_{j \neq i} (v_{il} Q_{ij,l} - Q_{ji,l}) + R_{i,l-1}^+ - v_{il} R_{i,l-1}^- - v_{il} R_{i,l}^+ + R_{i,l}^- \right) \Delta t \quad (19)$$

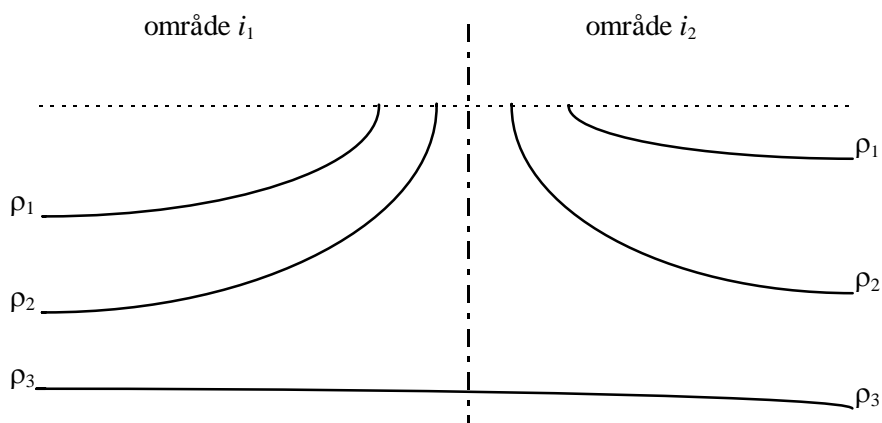
hvor

$$v_{il} = \max \left[ 0, \min \left( 1, \frac{V_{il}^*}{V_{il}} \right) \right] \quad (20)$$

Ved hjelp av denne korreksjonen ble det oppnådd å holde avvikene innenfor visse grenser, stort sett slik at avviket i volum lå godt innenfor en faktor 2 den ene eller andre veien.

### 3. Tilsynelatende selvmotsigende resultater kan forekomme i aggregerte tall

Når simuleringer med 3-dimensjonale sirkulasjonsmodeller oppsummeres i endelige volumer med transporter mellom som beskrevet ovenfor, kan resultatet inneholde tilsynelatende selvmotsigelser. For eksempel kan det forekomme at de horisontale transportene er satt = 0 begge veier mellom volumer definert av de samme tetthetsgrense i to områder som ligger inntil hverandre, selv om begge de involverte volumene er  $>0$ . Det kan skje fordi volumene representerer en akkumulering over et geografisk område med tetthetsdefinerte grenseflater, mens de horisontale transporter er integrert over grenseflaten mellom boksene. Selv om et område inneholder vann innenfor et tetthetsintervall noen steder, behøver ikke det bety at slikt vann det forekommer på randen. Situasjonen er skissert noe overdrevet i figur ..... Her vil både lag 1 og 2 finnes med volum  $>0$  i begge områdene, men ikke på randen, og transporten mellom dem blir derfor =0. Lag 3 finnes kontinuerlig, og all transport mellom områdene vil altså gå i dette tetthetsdefinerte laget.



**Figur 60.** Skjematisk vertikalsnitt på tvers av en grenseflate med tetthetsflater som gir tetthetsdefinerte lag isolert fra hverandre.

### 4. Kalibrering av virkning av vannflukser på N- og P-transport

De beregnede størrelsene gir til sammen både et bilde av midlere advektiv transport i øyeblikket, gitt ved nettotransportene gjennom flaten, og av transporter som med den gitt romoppløsningen blir av diffusiv karakter, dvs. som vannutveksling i form av virvelpregede strømmer. Det er likevel et kalibreringsproblem hvor stor del av bruttostrøm som gir vannutskiftning, og hvor mye som bare er en transport frem og tilbake av det samme vannet. I denne rapporten er det gått ut fra at all transport er effektiv. En metode for å kalibrere virkningen av vanntransporter på stofftransporten ble prøvd ut, men ikke benyttet i de endelige beregningene. Vi ser på et sett av horisontale transporter  $Q_{ij,l}$   $Q_{ji,l}$  i hver sin retning mellom to delvolumer  $V_{i,l}$  og  $V_{j,l}$ . For et stoff med indeks  $k$  lar vi  $M_{i,l,k}$  og  $M_{j,l,k}$  betegne mengdene innenfor hvert delvolum, og bruker da følgende uttrykk til å beregne den resulterende netto stofftransporten  $W_{ij,l,k}$

$$W_{ij,l,k} = Q_{ij,l}c_{i,l,k} - Q_{ji,l}c_{j,l,k} \quad \text{hvor} \quad c_{s,l,k} = \frac{M_{s,l,k}}{V_{j,l}} ; \quad s = i, j \quad (21)$$

Det innebærer at vi antar at transporten fra ett delvolum til et annet bærer med seg det aktuelle stoffet i en konsentrasjon som er lik midlere konsentrasjon i det volumet det strømmer ut fra. I realiteten vil vi heller vente at et eller annen vektet middel mellom konsentrasjonene i de to volumene er et bedre estimat for transporten mellom volumene, dvs. at vi kunne bruke

$$W_{ij,l,k} = Q_{ij,l} [c_{i,l,k}(1-f_1) + c_{j,l,k}f_1] - Q_{ji,l} [c_{i,l,k}(1-f_2) + c_{j,l,k}f_2] \quad (22)$$

hvor  $f_1$  og  $f_2$  er passende verdier mellom 0 og 1. Vi tenker oss at  $f_1$  og  $f_2$  må variere med hvilke transporter det gjelder, og med tid.

Samme betraktning kan gjøres for vertikale transporter.

For både vertikale og horisontale transporter ble det lagt inn i programmet en slik mekanisme som en opsjon. For sporstoffkonsentrasjonene er både stofftransportene og gjennomsnittskonsentrasjon kjent fra ECOM-3D, slik at koeffisienter  $f_1$  og  $f_2$  kan beregnes, og mekanismen bygde på at gjennomsnittlig verdi for koeffisientene, beregnet for sporstoffene for hver transportflate og hvert tidspunkt, ble benyttet for N og P. Et mulig problem med dette er at stofftransporter ut fra områder med små konsentrasjoner kan bli for store. Som et alternativ ble det derfor også forsøkt med en mekanisme hvor bare den effektive konsentrasjonsforskjellen for den diffusive delen av transporten (som i tallverdi er lik den minste av de to motsatt rettede transportene) får justert den effektive konsentrasjonsdifferansen. Bl.a. på grunn av problemet med beregningen av vertikale transporter ble det til slutt valgt å ikke aktivere disse mekanismene.

## 5. Tidsoppløsning for integrasjon av N- og P- massebudsjetter

Det er ikke gitt at integrasjonen av stoffbudsjetter kan integreres for et helt time-intervall. ECOM-3D integrerer med mye kortere tidsintervaller, og en finere tidsoppdeling er derfor også lagt inn i beregningen av stoffbudsjetter. For hvert timeintervall sjekkes summen av flukser ut av alle delvolumer i begynnelsen og slutten av intervallet, og den største fluksen sjekkes mot mengden i delvolumene. Integrasjonen over hvert timeintervall foretas om nødvendig i flere mindre skritt, slik at en sikrer numerisk stabilitet av løsningen

# Vedlegg E. Teknisk beskrivelse av beregningsopplegg for massebudsjett.

## 1. Oversikt over programmene

Beregningene av N- og P-budsjetter for ytre Oslofjord gjøres med en sekvens av tre EDB-programmer. Programmene er skrevet i FORTRAN, og kompilert og lastet med WATCOM FORTRAN v. 9.5 for kjøring direkte under MS-DOS. Programmene blir laget ved hjelp av WATCOMs "MAKE utility" ut fra en beskrivelsesfil som heter MAKEFILE. (uten *extension*) og det fremgår av denne filen hvilke kildefiler som inngår i de forskjellige programmene. Innholdet av MAKEFILE. er gjengitt nedenfor under punkt 0.

Nedenfor beskrives først kort de enkelte eksekverbare programmene og deres funksjon. Deretter gis mer detaljerte beskrivelser av hvert program i egne avsnitt. Nødvendige beskrivelser av innhold i og formatet på de filer som benyttes eller produseres av programmene finnes enten i sammenheng med programmene eller i etterfølgende avsnitt.

De tre programmene er:

- VOLAREAL.EXE** Dette programmet leser inn en geografisk/topografisk beskrivelse av modellområdet i symbolsk format og skriver en binær fil med informasjon til bruk i budsjettberegningene.
- MODLPREP.EXE** Dette programmet leser inn rådata fra ECOM-3D som foreligger som tekstfiler, og kobler dem med topografi-data og data for ferskvannstilførsler. Resultatet lagres i binær-format som en beskrivelse av transporter og volumer av vann totalt og av de ulike merkede vanntypene.
- CALCBUDG.EXE** Dette er den sentrale delen av beregningsopplegget. Programmet leser inn beskrivelsen av simuleringen fra de binære filene MODLPREP produserer, og kombinerer det med en beskrivelse av randbetingelser og tilførsler. Tilførslene gis på månedsbasis som et fast datasett lagret på en fil, produsert av TEOTIL (i dette tilfelle 1993-situasjon, se vedlegg A), og modifiseres av et sett koeffisienter som leses inn fra en annen fil. På dette grunnlaget beregnes konsentrasjoner av N og P. Ved å sammenligne resultater av å bruke ulike koeffisientsett som tilsvarer ulike scenarier kan virkningen av tiltak på N- og P-konsentrasjoner beregnes, med de forenklinger og forutsetninger som det er redegjort for ellers i rapporten.

## 2. Program VOLAREAL.EXE

De filene som leses inn er:

- Bunnmatrisefilen som simuleringsmodellen bruker. Denne filen inneholder informasjon om dypet til alle rutene i modellen. Filen ligger lagret med navn  
    `...\ECOM3DAT\BUNNMTRX.DAT.`
- En fil produsert av simuleringsmodellen ECOM-3D som angir modellrutenes tilordning til de forskjellige geografiske områdene, eller boksene. Filen ligger lagret med navn  
    `...\ECOM3DAT\BOXASSGN.DAT`



Programmet VOLAREAL.EXE bruker dette til å bygge opp en binær fil som inneholder en tabell over horisontalt tverrsnittareal som funksjon av dyp for hvert geografiske område. Denne filen brukes senere av programmet MODLPREP ved hjelp av subrutiner i filen VOLDEPTH.FOR til å finne gjennomsnittlig dyp for grensen mellom de forskjellige lagene ut fra data om volumene som funksjon av tid. Filen lagres med navn:

\...\ECOM3DAT\VOLUMBOX.BIN

### 3. Program MODLPREP.EXE

Programmet leser følgende inndata-filer:

- Simuleringsdata fra ECOM-3D som ligger på to filer pr. måned, identifisert av månedskode *mmm*:  
(*mmm* = jan, feb, mar, apr, may, jun, jul, aug, sep, oct, nov, dec)
  - *YOSL\_mmm.TX1* inneholder tidsserie med volumer hver time for område (boks), lag, vanntype, samt vertikale transporter. Data ligger med en datapost pr. time og boks.
  - *YOSL\_mmm.TX2* inneholder tidsserie med data for horisontale toveis transporter mellom tilgrensende områder (bokser), og inn og ut av modellranden. Data ligger med en datapost pr. time og transportflate.
- Månedsmidler for elvetilførsler fra en fil som inneholder nøyaktig de samme data som inndatafilen til simuleringsmodellen ECOM-3D. (Filnavn \...\ECOM3DAT\RIVERINP.DAT, se nedenfor).
- Topografidata på fil \...\ECOM3DAT\VOLUMBOX.BIN fra program VOLAREAL.EXE.

MODLPREP kombinerer disse data og lagrer dem i et binært format som fremgår av programkoden, og som senere leses av CALCBUDG.EXE, se nedenfor. Det lagres én fil pr. måned, med navn *mmm.BDT*, hvor *mmm* står for månedskoder som angitt ovenfor. Ferskvannstilrenningen interpoleres i tid mellom månedsmidler med samme algoritme som i ECOM-3D, og lagres sammen med simuleringsresultatene som øyeblikksverdier. Topografidata brukes til å beregne midlere dyp for grenseflaten mellom lagene for hvert tidspunkt, dette lagres også sammen med volum- og transportdata.

Programmet startes opp med to parametre på kommandolinjen:

MODLPREP *innfilnavn utfilnavn*

*Innfilnavn* angir navn (uten *extension*) på det settet av filer *innfilnavn.TX1* og *innfilnavn.TX2* som skal leses inn. Programmet må altså kjøres én gang for hvert av disse filparene.

*Utfilnavn* angir tilsvarende ønsket navn på den binære filen som skal produseres. Hvis den finnes fra før blir den skrevet over. Navnet skal angis uten *extension*, den settes automatisk til *.BDT*

### 4. Program CALCBUDG.EXE

Programmet leser inn de binære filene MODLPREP produserer (\*.BDT), for en eller flere måneder, og kombinerer transport- og volum-data derfra med data for næringsalter, delvis tilførsler fra land og delvis som randbetingelser, dvs. som konsentrasjon i innstrømmende vann fra Skagerrak.

Næringssalttilførsler spesifiseres i tre filer:

- Utslippssituasjonen pr. 1993 beskrives av en standard tilførselsfil.
- Vertikal plassering av tilførsler fra tett befolkning angis i en egen datatabell lest inn fra en annen fil.
- Tilførselsmengdene varieres ved hjelp av et sett av koeffisienter, som beskriver relative endringer i forhold til 1993-situasjonen.

I tillegg leses fra en egen fil månedsverdier for konsentrasjoner av N og P i innstrømmende vann fra Skagerrak.

Programmet CALCBUDG beregner ut fra disse data gjennomsnittsverdier og mål på spredning rundt middelveidien for konsentrasjoner av vanntyper og av næringsstoffer N og P med valgfri midlingsperiode. Resultatene skrives ut på en fil i et format som kan leses av grafikk- og statistikk-programmet *Statistica* (StatSoft, Inc. 1996). Her ligger det en post (*case*) pr. kombinasjon av tidsperiode, boks og lag. Tidsperioder er identifisert av dato for begynnelsestidspunktet, lagret som dag nr. siden 1.1.1900, slik at datoformat i *Statistica* (eller evt. *Excel*) kan benyttes direkte. Filen skrives i formatet for den tidligere DOS-versjonen av *Statistica* programmet, dvs. filer av type \*.CSS. disse kan leses av nye versjoner av *Statistica* og konverteres da automatisk til en *Statistica*-fil.

Programmet startes med to parametre på kommandolinjen:

CALCBUDG *binfilnavn scenario*

hvor

*binfilnavn* **enten** er navn på en månedsfil (*mmm.BDT*) fra MODLPREP som da blir lest som eneste inndatafil,  
**eller** har formen *@filnavn*, hvor *filnavn* er navn på en fil som inneholder en eller flere linjer, hver linje med navn på en fil *mmm.BDT*. I dette tilfelle leses disse filene inn i den rekkefølgen de står.

*scenario* er et navnet på en scenariofil. Det er en tekstfil som inneholder navn på de ulike filene som brukes til å sette opp tilførslene for kjøringen.

Budsjetter er beregnet for en rekke scenarier som beskrevet nedenfor, hvor tilførslene er endret i forhold til 1993-situasjonen, dels ved hjelp av koeffisienter, og dels ved å bruke en annen beskrivelsesfil for dykking av utslipp fra renseanlegg. Følgende scenarier er definert, de er beskrevet på scenarifiler med navn SCENARIO.xxx:

Kode xxx    Beskrivelse:

93A	Utslippssituasjon anno 1993 (alle koeffisienter =1)
RAD	Dykking til 50 m dyp av alle utslipp fra renseanlegg med avløp direkte til ytre Oslofjord.
RRA	70 % N-fjerning på renseanlegg med avløp direkte til ytre Oslofjord.
SRV	80 % N-fjerning på VEAS
ZS5	Alle norske tilførsler fra norsk tett befolkning satt = 0
ZLC	Alle menneskeskapte norske tilførsler satt = 0
ZRO	Alle norske tilførsler satt = 0, inkludert naturlig bakgrunn

En scenario-fil har dette innholdet:

---

```
&SCENARIO
  SCENARIO_TEXT = 'fri tekst'
  NUTR_LOAD      = 'navn på tekstfil med tilførsler fra Teotil'
  DIVED_OUTLETS = 'navn på tekstfil med spes. av dykking av tilførsler'
  NUTR_FACTOR    = 'navn på fil med justeringskoeffisienter for tilførsler'
  NUTR_BOUNDARY  = 'navn på tekstfil med beskrivelse av randbetingelser'
&END
```

Det som står med store bokstaver i beskrivelsen ovenfor er fast, mens tekster i liten skrift og med kursiv beskriver et variabelt innhold. Disse tekstene skal stå i anførselstegn som vist ovenfor.

For NUTR\_LOAD brukes i de aktuelle scenariene alltid den samme filen `\...\tilfoers\norge\oslofj.93`. Her beskrives tilførsler av N og P delt opp på kildetype, område og måned. Denne filen er generert av TEOTIL og er fast for alle kjøringene. Det finnes også en annen fil `\...\tilfoers\norge\oslofj.10` som beskriver utslipps-situasjonen anno 1910.

For DIVED\_OUTLETS brukes to ulike filer:

`\...\tilfoers\norge\ra_liste.93` som beskriver dagens situasjon gitt i tabell 8, og brukes i de fleste scenariene, og

`\...\tilfoers\norge\ra_50m.93` som angir dykking til 50 m av alle utslipp fra renseanlegg direkte til ytre Oslofjord.

Disse filene beskriver hvor stor andel av totale tilførsler som dykkes og hvilket dyp de dykkes til.

For NUTR\_FACTOR er det ikke nødvendig å oppgi noen datafil (= ' '), da blir tilførslene for 1993 benyttet uten endringer, det gjelder bl.a. scenario 93A. For de fleste scenariene brukes en fil `NUTRFACT.xxx`, hvor `xxx` angir scenario-koden ovenfor.

For NUTR\_BOUNDARY angis navnet på en fil med månedsverdier for konsentrasjoner av N og P i innstrømmende vann fra Skagerrak, med konsentrasjoner spesifisert for hvert av de 4 tetthetsdefinerte lagene i modellberegningene. Verdiene er basert på statistikk for Skagerrak (avsnitt 8.2). Alle scenariene som er beskrevet her brukte filen `nutrbnd.d1`, som gir konsentrasjoner av biologisk bundet eller tilgjengelig N og totalkonsentrasjoner av P, se side 149. Som et ledd i utprøvingen av beregnings-opplegget ble det også satt opp en datafil `nutrbnd.d2`, hvor bare biotilgjengelig ubrukt N og uorganisk P ble angitt, og en fil `nutrbnd.zro`, hvor konsentrasjonene i Skagerrak ble satt  $\equiv 0$ , men disse filene ble ikke brukt i de scenarier som beskrives i denne rapporten.

Det henvises ellers til innholdet av scenarietilfilene og de filene de peker til, og til selve programkoden, når det gjelder hvordan scenariene er implementert.

Som beskrevet i vedlegg Vedlegg D. er det lagt inn i beregningsprogrammet mulighet til å justere både de horisontale og de vertikale transportene i forhold til verdiene fra ECOM-3D. Etter utprøving er det valgt å kjøre beregningen med horisontale transporter gitt direkte av ECOM-3D, dvs. uten noen korreksjonsfaktor, mens vertikale transporter er satt opp som enveistransporter ut fra volumbalanse, med tillegg av en toveistransport på 50 % av enveistransporten (dvs. en faktor 0.5). Dette er nedfelt i en kode 1v05 som inngår i navnet på resultatfilene, dvs. de forskjellige scenariene gir filer `xxx_1V05.CSS` som via Statistica konverteres til filer `xxx_1V05.STA` for resultat-presentasjon.

## 5. Format og innhold i noen sentrale inndata-filer til programmene

### Format på tekstfil BUNNMTRX.DAT

Denne filen er en av inngangsdatafilene til ECOM-3D (Hackett et al. 1995), og inneholder den topografiske beskrivelsen. Filen inneholder dyp  $D(i,j)$  for alle ruter  $i,j$ , ( $i$ =posisjon i Nord-sør-retning;  $j$ =posisjon i Øst-Vest-retning. Ruter som ligger på land er angitt med dyp -32767, ellers er angitt bunndyp  $i$  m. Et utsnitt av filen ser slik omtrent slik ut:

```
1+ 2+ 3+ 4+ 5+ 6+ 7+ 8+ 9+ 10+ 11+ 12+ 13+ 14+ 15+ 16+ 17+ 18+ 19+ 20+ 21+
...
105+ 56 51 32 25 28 38 51 69 81-32767-32767-32767-32767-32767-32767-32767 30 33 57 97 117
104+ 55 51 30-32767-32767 73 87 108 123 97 58 55 58 50 46 45 46-32767 49 85 116
103+ 45 50 37 40 69 92 109 127 147 136 101 99 103 85 71 68 80 77 70 98 119
...
```

Den første raden, med tall etterfulgt av +, angir rutenr. i vest-øst-retning (indeks  $i$ ). Etterfølgende rader hvorav det ovenfor bare er vist et lite utsnitt, gir først rutenr. i sør-nord-retning ( $i$  synkende rekkefølge, og deretter bunndyp for hver rute ifølge  $i$ -listen ovenfor. De viste data representerer altså  $D(i,j)$  for  $i=1,\dots,21$ , og  $j=105,\dots,103$ . Datafilen er organisert i slike sekvenser, sekvens nr.  $k$  inneholder data for  $i=k+1,\dots,\min(90,k+21)$ , og  $j=115,\dots,1$ .

### Format på tekstfil BOXASSGN.DAT

Denne filen er produsert av ECOM-3D spesielt for formålet. Den inneholder informasjon om hvilke bokser de forskjellige rutene i modellen inneholder. Filen har omtrent dette utseendet:

```
==== Values of INTPG(IM,JM,NTOTICES) <====
Box no. 1      i = 42      j = 94      intpg(i,j,ic) = 0.0119047619      0.00
Box no. 1      i = 43      j = 94      intpg(i,j,ic) = 0.5714285714      0.00
Box no. 1      i = 44      j = 94      intpg(i,j,ic) = 1.0000000000      0.00
Box no. 1      i = 45      j = 94      intpg(i,j,ic) = 1.0000000000      0.00
Box no. 1      i = 46      j = 94      intpg(i,j,ic) = 1.0000000000      0.00
Box no. 1      i = 47      j = 94      intpg(i,j,ic) = 1.0000000000      0.00
```

og tallverdiene leses i fritt format. For hver boks listes de ruter ( $i,j$ ) som inngår; verdien kalt  $intpg$  er den andel av rutens areal som inngår i boksen. De fleste rutene tilhører bare en boks og finnes derfor bare på en linje, med  $intpg(i,j,ic)=1.0$ , men de rutene som ligger langs grenselinjene kan være fordelt på flere bokser, og vil da forekomme flere ganger i filen, summen av vektore skal være=1.

### Format på tekstfiler YOSL\_mmm.TX1

Disse filene inneholder data for volumer, mengder og vertikale transporter ved gitt tidspunkt. Data ligger sortert etter tidspunkt og boksnr.

Data for gitt tidspunkt og boks innledes av en linje som inneholder først ett blankt tegn, deretter en fast identifikasjonskode BOKS, etterfulgt av boksnr, dato og klokkeslett. FORTRAN-format for denne linjen er: (1x,A4,I3,I7,I3)

Deretter følger  $4+2*3=10$  linjer som hver består av 6 desimalverdier.

Hver linje har Fortran-format (6E13.6). Linjenr  $i=1,\dots,4$  inneholder volum og mengder for lag nr.  $i$  i boksen, mens de etterfølgende 6 linjene inneholder transportverdier mellom lagene, slik at linje nr.  $4+2\cdot(i-1)+k$  inneholder tall for transporter mellom lag  $i$  og  $i+1$  ( $i=1,\dots,3$ ), hhv. nedover ( $k=1$ ) og oppover ( $k=2$ ).

I alle linjene gir den første verdien mengde vann totalt ( $m^3$ ), den andre mengde salt (kg), og verdi  $2+k$ ,  $k=1,\dots,4$  mengde av de 4 definerte vanntypene ( $m^3$ ). Transportene i linje 5 til 10 er gitt som mengde pr. tidsintervall, dvs. pr. time.

Et eksempel på begynnelsen av en slik fil (for juni) er:

```

BOKS 1 930601 01
0.169345E+10 0.462219E+11 0.138945E+08 0.156654E+09 0.403564E+08 0.229462E+09
0.800620E+09 0.242220E+11 0.783568E+07 0.807621E+08 0.153142E+08 0.690079E+08
0.240092E+10 0.807418E+11 0.250722E+08 0.250215E+09 0.402544E+08 0.133005E+09
0.127123E+10 0.452114E+11 0.135017E+08 0.133710E+09 0.206608E+08 0.559412E+08
0.580068E+04 0.168228E+06 0.533399E+02 0.567985E+03 0.122920E+03 0.581449E+03
0.915160E+04 0.265340E+06 0.851834E+02 0.898004E+03 0.187061E+03 0.938278E+03
0.160901E+05 0.504343E+06 0.161739E+03 0.164006E+04 0.288346E+03 0.132478E+04
0.168500E+05 0.528384E+06 0.169595E+03 0.172107E+04 0.303001E+03 0.131828E+04
0.410276E+04 0.143734E+06 0.435512E+02 0.431725E+03 0.671532E+02 0.190734E+03
0.534213E+04 0.187244E+06 0.559692E+02 0.556597E+03 0.874372E+02 0.244037E+03
BOKS 2 930601 01
0.153453E+10 0.415454E+11 0.128523E+08 0.141350E+09 0.334561E+08 0.224328E+09
0.928970E+09 0.281130E+11 0.896029E+07 0.928329E+08 0.179004E+08 0.748691E+08
.....

```

### Format på tekstfiler YOSL\_mmm.TX2

Disse filene inneholder data for de horisontale transportene (dvs. innenfor samme lag) mellom forskjellige bokser, dvs. gjennom de vertikale grenseflatene som deler fjorden inn i bokser. Data ligger sortert etter tidspunkt, boks-par og lag.

Data for gitt tidspunkt og boks-par består av 4 sekvenser, ett pr. lag. Hver slik sekvens innledes av en linje som inneholder først ett blankt tegn, deretter en fast identifikasjonskode FLATE, etterfulgt av to boksnr. (nedenfor referert til som  $b_A$  og  $b_B$ ), lag nr. (1 - 4) dato og klokkeslett. FORTRAN-format for denne linjen er: (1x,A5,2I3,I2,I7,I3)

Etter dette følger data på to linjer. Den første linjen gir brutto transport i retning fra boks  $b_A$  til  $b_B$ . Den andre linjen gir brutto transport i motsatt retning. Hver datalinje inneholder 6 transportverdier, for vann, salt og de fire vanntypene (tracere), i samme rekkefølge som i filene YOSL\_mmm.TX1, og med samme format.

Et eksempel på begynnelsen av en slik fil (for juni) er:

```

FLATE 1 2 1 930601 01
0.105711E+05 0.291106E+06 0.887389E+02 0.100200E+04 0.254395E+03 0.121139E+04
0.961246E+04 0.262533E+06 0.753564E+02 0.914378E+03 0.264792E+03 0.108558E+04
FLATE 1 2 2 930601 01
0.233256E+04 0.697620E+05 0.219360E+02 0.231150E+03 0.481726E+02 0.196820E+03
0.234990E+04 0.710981E+05 0.223178E+02 0.233529E+03 0.468395E+02 0.190307E+03
.....

```

## Data for ferskvann og sporstoff fra norsk område

Programmet MODLPREP.FOR leser inn en datafil \...\ECOM3DAT\RIVERINP.DAT med tall for ferskvannsmengder og tracer-nummer for de tre elvene fra norsk område som er med i modellen. Filen er vist nedenfor, og inneholder nøyaktig de samme data som inndatafilen til simuleringsmodellen:

```

name 'Haldenvassdraget climatologic'
tracer 3
box_w 8,1
Q 27., 27., 29., 39., 36., 18., 13., 18., 24., 30., 40., 38.

name 'Glomma 1993'
tracer 3
box_w 8,0.7
box_w 9,0.3
Q 539., 457., 347., 364., 1700. , 834., 877., 1362., 669., 688. , 547., 517.

name 'Dramselva/Oslofjord 1993'
tracer 4
box_w 2,1.0
Q 253., 277., 267., 232., 279., 170., 268., 543., 200., 322., 274., 263.

```

## Data for næringssaltkonsentrasjoner i Skagerrak - innhold av filen nutrwnd.d1

Dette er en FORTRAN NAMELIST inputfil som leser inn data til et array NutrExtConc(12,4,2), hvor første indeks angir måned, andre indeks lag nr. og siste indeks stoff (1=N, 2=P). Faktorene NutrExtScaleFactor angir omregning fra  $\mu\text{M}$  som data er gitt i til  $\mu\text{g/l}$ , som brukes i beregningene.

```

&BOUNDARY_DATA
  Text='Biologisk bundet eller tilgjengelig N, total P'
  NutrExtScaleFactor = 14, 31

  NutrExtConc(1,1,1)=12.387, 17.960, 13.736, 10.537, 8.649, 7.835,
                    7.300, 8.072, 10.140, 11.733, 10.520, 11.000

  NutrExtConc(1,2,1)=19.413, 17.852, 20.228, 10.402, 7.826, 11.533,
                    8.042, 9.428, 8.019, 10.853, 9.763, 11.734

  NutrExtConc(1,3,1)= 11.947,15.303, 14.747, 11.553,10.352, 10.022,
                    9.109, 8.285, 7.833, 9.542, 9.771, 11.944

  NutrExtConc(1,4,1)= 10.954,14.208, 13.377, 13.408,12.137, 17.548,
                    14.448,13.216, 13.236, 14.280,13.494, 16.522

  NutrExtConc(1,1,2)= 1.100, .987, .683, .499, .397, .401,
                    .350, .467, .620, .690, .769, 0.9
  NutrExtConc(1,2,2)= 1.112, .972, .658, .499, .356, .633,
                    .404, .502, .411, .640, .699, .834
  NutrExtConc(1,3,2)= .901, .906, .827, .712, .575, .496,
                    .569, .501, .412, .589, .699, .763
  NutrExtConc(1,4,2)= .778, .924, .699, .879, .836, .909,
                    .850, .921, .755, .902, .990, 1.008

```

&END

Kommentar, leses ikke inn av programmet:

Spesifiserer NutrExtConc(Month[1:12], Layer[1:4], Nutr[1(N):2(P)]), med enhet  $\mu\text{M}$ , regnes om til  $\mu\text{g/l}$  ved hjelp av NutrScaleFactor.

N = Biotilgjengelig N, (nitrat+ammonium+ 2.3  $\mu\text{M}$ , innenfor totN)

P = Total-P.

Hentet fra statistikk for SMHIs stasjoner i Skagerrak 1988-1994.

## 6. Resultatfiler

### Filer \*.CSS direkte fra CALCBUDG.EXE

Hver resultatfil er skrevet som en datafil for Statistica/CSS v.3.0. Den inneholder de variable som er beskrevet nedenfor, men ikke nødvendigvis i samme rekkefølge:

**Variabelnavn: Forklaring:**

Date	Dato
Month	Månedsnummer
Box	Nr. på geografisk område 0-17 (se fig.....)
Layer	Lag nr. (1-4)
Volume	Volum av det aktuelle laget (boks og lag) ved slutten av perioden
Top_Dpth	Dyp for midlere øvre grense av laget (=vannstand for lag 1)
Bottom_D	Dyp for midlere nedre grense av laget (=Top_Dpth fra laget ovenfor)
Tid	Midlere "alder" på vannet innenfor modellområdet, dvs. hvor lenge vannet i middel har befunnet seg innenfor en av de 17 boksene. For et enkelt system som består av ett volum, og med konstant volum og gjennomstrømning over tid, vil denne variabelen bli det som vanligvis kalles oppholdstid.
VANNMN_V	Forholdstallet mellom summert transportintegrert volum og summert "sant" volum fra ECOM-3D over den aktuelle perioden. Dersom transporttallene var middelerverdier over hver integrasjonsperiode, skulle denne variabelen være =1. Avvik fra 1 angir unøyaktigheter pga. av at transportverdiene bare er gitt som øyeblikksverdier. Se kap. ##### for nærmere beskrivelse.

Dessuten inneholder filen en serie variabel-sekvenser, hver med 5 variable. Første del av variabelnavnene innenfor hver slik sekvens er en felles 1-3 bokstavers kode *s* som angir hvilket stoff eller egenskap som beskrives. Variablene innenfor hver sekvens er:

s_MN_V	Volummidlet konsentrasjon
s_MN_T	Enkelt aritmetisk middel av konsentrasjoner, likt vektet uavhengig av volum
s_MIN	Minste konsentrasjon i løpet av akkumuleringsperioden
s_MAKS	Største konsentrasjon i løpet av akkumuleringsperioden
s_STD	Standardavvik for variasjonen i konsentrasjon (uten volumvekting)

Følgende sekvenser finnes:

	Kode <i>s</i> :	Forklaring:
Næringssalter:	P	Konsentrasjon av fosfor
	N	Konsentrasjon av nitrogen
	PSU	Salinitet
Vann typer (kilder):	TY	Ferskvann fra de kontinentale elver (via Tyskebukta)
	SV	Ferskvann fra den svenske vestkysten eller via Østersjøen
	GL	Vann fra Glomma
	DR	Vann fra Dramselva

For de fem siste kodene ( $s = \text{psu, TY, SV, GL, DR}$ ) finnes også en oppsummering av konsentrasjonen av de merkede vannmassene fra ECOM-3D, og en sammenligning med transportberegningene, i form av fem variabelpar:

$s\_MODL$	Volummidlet gjennomsnittlig konsentrasjon av vanntype $xx$ , hvor $xx$ angir vanntype	$\frac{\sum V_{il}(t) \cdot c_{il,xx}(t)}{\sum V_{il}(t)}$
$s\_RDEV$	Midlere relativt avvik mellom konsentrasjon fra ECOM-3D og konsentrasjoner fra transportberegningene, dvs. $xx\_Mn\_V$ beskrevet ovenfor	$\sum \left( \frac{c_{tr} - c_{sim}}{c_m} \right)^2 / n$

De kolonnene som beskriver konsentrasjoner og mengder av N og P (dvs. med kode  $s = N$  eller  $P$ ) er forskjellige for hvert scenario. De andre er felles for alle scenariene, men de er med i hver fil for lett å kunne se dem i sammenheng.

### Resultater samlet på filen NPBDCONC.STA

Denne filen inneholder et utvalg av kolonner fra de forskjellige resultatfilene, og dessuten noen beregnede kolonner. Variable  $s\_MV\_xxx$  inneholder volummidlet konsentrasjon fra kolonnene  $s\_MN\_V$  i resultatfilen for scenario  $xxx$ , kopiert inn fra hver fil. Variable  $s\_MS\_xxx$  er beregnet som mengde, dvs. konsentrasjon ( $s\_MV\_xxx$ )  $\cdot$  Volume, ved hjelp av Statistica Basic-programmet NPBDCONC.STB:

Fire variable beregnes av Statistica ved formler lagt inn i variabelbeskrivelsen (*Recalculate*):

DN_93ZLC	= N_MV_93A - N_MV_ZLC
DP_93ZLC	= P_MV_93A - P_MV_ZLC
DN_93SRV	= N_MV_93A - N_MV_SRV
DP_93SRV	= P_MV_93A - P_MV_SRV

Filen NPBDCONC.STA inneholder også en kolonne AREA, som definerer områder som hver omfatter flere av de boksene fjorden er delt inn i. Ved hjelp av *Statistica Basic Module/Breakdown* genereres en tabell med månedsmidler fordelt på områdene (1-8), bare for modell-lag 1, av variable Volume, Tykkelse samt P\_MV\_93A til og med N\_MS\_ZLC. (Spesifikasjoner i Statistica kommandofil  $np\_vmsum.SCL$ ).

Resultatet lagres som data (*Save As Data...*) i filen NP\_VMSUM.STA. Deretter modifiseres filen på følgende måte:

To nye kolonner MONTH og AREA innføres etter variabel *Tykkelse* (grupperingsvariablene blir ikke med over i datafilen).

Statistica Basic-programmet NP\_VMSUM.STB kjøres. Programmet setter for det første verdier i kolonnene MONTH og AREA, og beregner dessuten volummidlet konsentrasjon for hver kombinasjon AREA og MONTH ved å dele hver midlere mengde ( $s\_MS\_xxx$ ) med midlere volum (VOLUME) og plassere resultatet i tilsvarende kolonne  $s\_MV\_xxx$ . (Midlere mengde og midlere volum er bare summert mengde og volum dividert med samme heltall = antall obs., så resultatet blir en ekte volummidlet konsentrasjon).



## 7. Beskrivelse av programkode samt opplegg for generering av programmer

### Innhold av WMAKE-fil 'MAKEFILE.'

```
# WATCOM FORTRAN 77 9.5b MAKEFILE
# laget etter mal fra WATCOM\SRC\GOODIES\MAKEFILE.FOR
# Programmer for beregning av NP-budsjetter i Ytre Oslofjord
# -----

Compiler = wfc386
Compiler_Options = /5 /warn
Compiler_Options += /Stack
#Compiler_Options += /D2 /DEBUG /BOUNDS /TRACE
#Compiler_Options += /def=__debug__

Linker_options =
#Linker_options += DEBUG ALL
#Linker_options += OPTION map OPTION Verbose

##### generere programmer:

write.exe : write.obj
        wlink $(Linker_Options) name write file write.obj

CALENDAR.exe : calendar.obj
        wlink $(Linker_Options) name Calendar file calendar.obj

##### Program som leser inn ASCII-filer fra ECOM-3D
##### og lagrer dem binært for videre behandling:

Obj_Modlprep = MODLPREP.obj modelinp.obj setupdsc.OBJ voldepth.obj
Obj_Modlprep += PROG_ARG.obj
Obj_RiverInp = riverinp.obj timeintp.obj CALENDAR.OBJ

##### NB! Må sørge for at direktiv-filen inneholder alle *.obj

MODLPREP.exe: $(Obj_Modlprep) $(Obj_RiverInp)
        wlink $(Linker_Options) @modlprep.lnk

##### Program som leser inn binære data fra ECOM-3D og kombinerer
##### det med næringssaltdata til massebudsjetter. Statistikk
##### for konsentrasjoner og oppholdstider skrives ut på fil.

Obj_CALCUBUDG = CALCUBUDG.obj modelinp.obj setupdsc.obj &
        NUTRINP.OBJ OUTP_REC.OBJ CSSWRITE.OBJ mod_binf.OBJ &
        prog_arg.obj DBG_COND.OBJ dbg_flag.obj

##### NB! Må sørge for at direktiv-filen inneholder alle *.obj

CALCUBUDG.EXE: $(Obj_CalcBudg)
        wlink $(Linker_Options) @calcbudg.lnk

##### Program som leser inn dybdedata og bokstilordning
##### for gridpunkter og setter opp volum/dyp-beskrivelse:

Obj_VOLAREAL = VOLAREAL.obj setupdsc.obj
#VOLDEPTH.Obj

VOLAREAL.EXE: $(Obj_VOLAREAL)
        wlink $(Linker_Options) name VOLAREAL &
        file {$(Obj_VOLAREAL)}
```

---

```
##### Test-versjon av CSSWRITE #####
CSSWRITE.exe: CSSWRITE.obj CSSWtest.for
$(Compiler) $(Compiler_Options) CSSWTEST.FOR
wlink $(Linker_Options) name CSSWRITE &
file {CSSWRITE.obj CSSWTEST.obj}

##### Test-versjon av Riverinp #####
riverinp.exe: riverinp.obj rivertst.for timeintp.obj
$(Compiler) $(Compiler_Options) rivertst.FOR
wlink $(Linker_Options) name riverinp &
file {riverinp.obj rivertst.obj timeintp.obj}

##### kompilere:

##### Hovedprogram for MODLPREP:
MODLPREP.obj : MODLPREP.for CALCBUGD.CMN MODELINP.INC Modlprpl.inc
$(Compiler) $(Compiler_Options) MODLPREP.FOR

##### Hovedprogram for CALCBUGD:
CALCBUGD.obj : CALCBUGD.for CALCBUGD.CMN dbg_flag.inc
$(Compiler) $(Compiler_Options) CALCBUGD.FOR

##### Beskriver forbindelse mellom bokser innenfor modellomraadet:
setupdsc.obj : setupdsc.for CALCBUGD.CMN
$(Compiler) $(Compiler_Options) setupdsc.FOR

##### Leser inn simuleringresultatene fra ECOM-3D:
MODELINP.obj : MODELINP.for MODELINP.INC CALCBUGD.CMN
$(Compiler) $(Compiler_Options) MODELINP.FOR

##### Leser data om ferskvanns- og sporstoff-input
RIVERINP.obj : RIVERINP.for RIVERINP.inc CALCBUGD.CMN
$(Compiler) $(Compiler_Options) RIVERINP.FOR

##### Leser data om næringsstoff-tilførsler:
NUTRINP.obj : NUTRINP.for CALCBUGD.CMN NUTRINP.INC PREP_INP.INC
$(Compiler) $(Compiler_Options) NUTRINP.FOR

##### Klargjør for innlesing av ulike typer data til CALCBUGD:
PREP_INP.obj : PREP_INP.for CALCBUGD.CMN PREP_INP.INC
$(Compiler) $(Compiler_Options) PREP_INP.FOR

##### Leser inn dybde data og bokstilordning for gridpunkter
##### og setter opp volum/dyp-beskrivelse (VOLUMBOX.BIN):
VOLAREAL.obj : VOLAREAL.for CALCBUGD.CMN VOLAREAL.INC
$(Compiler) $(Compiler_Options) VOLAREAL.FOR

##### Leser inn topografi-beskrivelse satt opp av VOLAREAL
VOLDEPTH.obj : VOLDEPTH.for CALCBUGD.CMN Voldepth.inc
$(Compiler) $(Compiler_Options) VOLDEPTH.FOR

##### Interpolerer lineært mellom månedsmidler
TIMEINTP.obj : TIMEINTP.for
$(Compiler) $(Compiler_Options) TIMEINTP.FOR

##### Lagrer resultater fra CALCBUGD på *.CSS filer
##### for senere innlesing til Statistica
OUTP_REC.obj : OUTP_REC.for OUTP_REC.inc CALCBUGD.CMN
$(Compiler) $(Compiler_Options) OUTP_REC.FOR

##### Kontrollerer debug-utskriften fra CALCBUGD
DBG_COND.obj : DBG_COND.for CALCBUGD.CMN
$(Compiler) $(Compiler_Options) DBG_COND.FOR

dbg_flag.obj : dbg_flag.for dbg_flag.inc
$(Compiler) $(Compiler_Options) dbg_flag.FOR

##### Generelle rutiner for skriving av *.CSS filer,
##### kalles fra OUTP_REC.FOR
CSSWRITE.obj : CSSWRITE.for
```

---

```
$(Compiler) $(Compiler_Options) CSSWRITE.FOR

##### Kalender-rutiner, brukes av MODLPREP
CALENDAR.OBJ : calendar.for
    $(Compiler) $(Compiler_Options) calendar.FOR

##### Generisk regel for å kompilere:
.for.obj:
    $(Compiler) $(Compiler_Options) $?

##### Generisk regel for å linke:
.obj.exe:
    wlink $(Linker_Options) name $? file $?
```

### **Innhold av Modlprep.lnk**

```
name MODLPREP
file {MODLPREP.obj modelinp.obj setupdsc.OBJ voldepth.obj}
file {riverinp.obj timeintp.obj CALENDAR.OBJ}
file {prog_arg.obj}
```

### **Innhold av CalcBudg.lnk**

```
name CALCBUDG
file {CALCBUDG.obj modelinp.obj setupdsc.obj}
file {NUTRINP.OBJ OUTP_REC.OBJ CSSWRITE.OBJ mod_binf.OBJ}
file {prog_arg.obj dbg_cond.obj dbg_flag.obj}
```