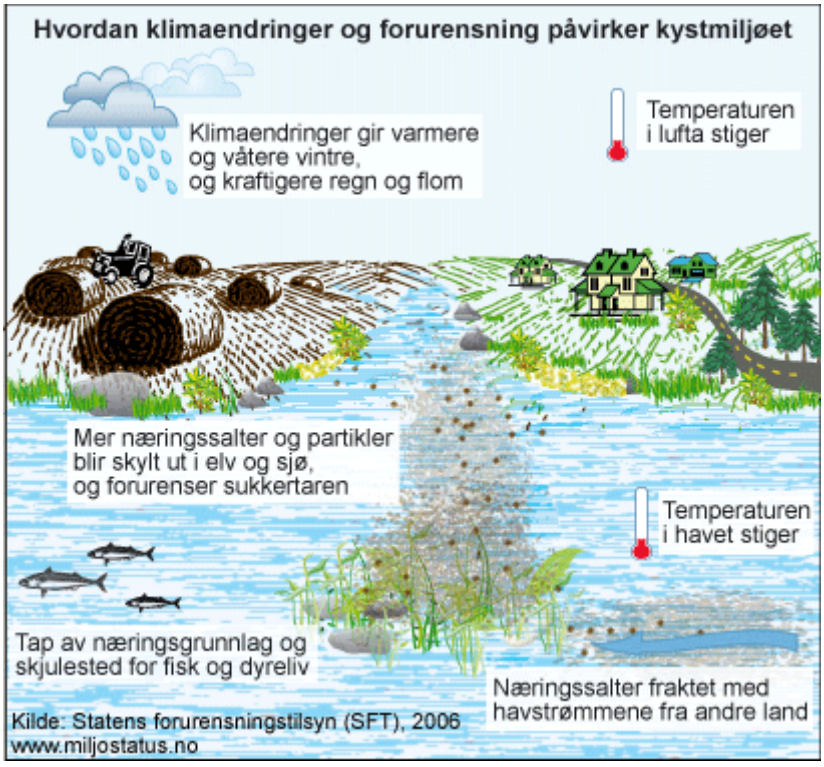
TA-2279/2007

Sukkertareprosjektet:
Analyse av klima- og overvåkingsdata



Lnr. 5454-2007

Forord

Hva er årsak til at sukkertaren er blitt borte?
Miljøverndepartementet med Statens forurensningstilsyn og Direktoratet for naturforvaltning, opprettet Sukkertareprosjektet for å få kunnskap om årsaken til det dramatiske tapet av sukkertareskog i skjærgårdsområder av Sør-Norge. SFT har fra starten invitert fagmiljøene til åpne arbeidsmøter for å legge en best mulig strategi for å løse oppgaven. I tillegg til undersøkelser av sukkertaren og dens miljø, ble det fort klart at klimatiske og miljø-belastningsrelaterte langtidsendringer også måtte undersøkes.

Arbeidet har gått over to år og inneholdt kunnskapshøringer med invitasjon til dataeiere og forvaltere av tidsserier for sammenstilling av relevant og best mulig datamateriale.

Denne rapporten inneholder 8 tematiske kapitler og et kapittel som oppsummerer hva vi mener er de viktigste årsakssammenhenger med betydning for tapet av sukkertareskog. Et stort antall figurer og tabeller det ikke ble funnet plass til i de tematiske kapitlene er trykket i et vedlegg for utfyllende informasjon og resultater fra analysene.

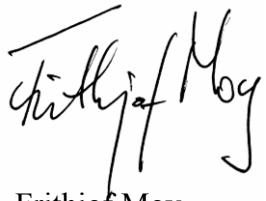
Deltakere fra mange institusjoner har vært med i dette arbeidet og hver deltaker har hatt ansvar for utvalgte ('egne') dataserier, analyse av disse og leveranse av data til felles analyser. Følgende har deltatt:
Per Stålnacke, Eva Skarbøvik, Johannes Deelstra fra Bioforsk,
Bruce Hackett, Knut Iden, Hans Olav Hygen, Knut Harstveit og Jon Albretsen fra met.no,
Lasse H. Pettersson fra Nansen senter for miljø og fjernmåling,
Henning Steen fra Havforskningsinstituttet og
Line Barkved, Heleen de Wit, Øyvind Kaste, Kai Sørensen, Jan Magnusson, Frithjof Moy fra NIVA.

Frithjof Moy (NIVA) og *Per Stålnacke* (Bioforsk) har hatt delt prosjektlederansvar og har vært redaktører for denne rapporten med ansvar for resultatoppsummering (kap. 9), sammendrag og ingress til hvert fagkapittel. Hver forfatter har hatt ansvar for sitt faglige bidrag og har godkjent redaksjonens oppsummering og sammendrag. Alle takkes for deres innsats og gode samarbeid.

Takk til bidragsytere som ikke er forfattere: *Nils Roar Sælthun*, UiO og *Lars Roald*, NVE, for gode innspill og kommentarer.

Ingrid Nissen har vært saksbehandler for SFT.

NIVA, 7. juni 2007



Frithjof Moy
Redaktør

Bioforsk



Per Stålnacke
Redaktør

Innholdsfortegnelse

Sammendrag **5**

1. Introduksjon **8**
1.1 Innledning og formål 8
1.2 Sukkertarens livssyklus 9
1.3 Data-serier og rapportdisposisjon 10

2. Endringer i nedbør og lufttemperatur **11**
2.1 Nedbør 11
2.2 Temperatur 13
2.3 Nullpunktskrysninger 15

3. Vannføring og flomfrekvens **17**
3.1 Vannføringsserier benyttet i flomanalysen 17
3.2 Vannføring 19
3.3 Hva er en flom og hva skyldes den? 19
3.4 Forholdet mellom vannføring og flom 20
3.5 Er flommene blitt større og hyppigere? 20
3.6 Konklusjoner 25

4. Tilførsler av nitrogen, fosfor, suspendert materiale og organisk karbon fra elver **26**
4.1 Tilførsler av nitrogen, fosfor og suspendert materiale 26
4.2 Tilførsler av TOC til Skagerrak og Vestlandskysten 35
4.3 Tilførsler fra jordbruksbekker 40
4.4 Tilførsler fra ikke-norske elver 43

5. Vind og havbølger **51**
5.1 Vind 51
5.2 Bølger 54

6. Sjøtemperatur **57**
6.1 Sjøtemperatur fra direkte målinger 57
6.2 Havoverflatetemperatur målt fra satellitt 61
6.3 Sjøtemperatur fra hindcastsimulering med havmodell 65
6.4 Havoverflatetemperatur fra Hurtigrutens termografstasjoner på Vestlandet i perioden 1936 til 2006. 67

7. Marin vannkvalitet **69**
7.1 Stedsgradienter 70
7.2 Tidsgradient 71
7.3 Partikler i kystvannet 73
7.4 Partikler i Skagerrak og Nordsjøen 75

8. Havsirkulasjon **79**
8.1 Metode 79
8.2 Resultater 83
8.3 Konklusjoner fra havmodellen 86

9. Endringer av betydning for sukkertare **88**
9.1 Bakgrunn 88
9.2 Sjøtemperatur 90
9.3 Vind og bølger 92
9.4 Nedbør og temperatur 93
9.5 Elvetilførsler 94
9.6 Elvetilførsler fra ikke-norske elver 95
9.7 Vind, bølger og havsirkulasjon 97
9.8 Oppsummering 99

10. Referanser **102**

ANNEX

A2. Nedbør og lufttemperatur 2-109
A3. Vannføring og flomfrekvens 3-110
A4. Elvetilførsler 4-132
A5. Havbølger og vind 5-164
A6. Sjøtemperatur 6-179
A7. Marin vannkvalitet 7-187
A8. Havsirkulasjon 8-202

Sammendrag

Kan miljøovervåkings- og klimadata kaste lys over 'sukkertaredøden'?
I 2002 ble det oppdaget at sukkertare manglet på skjærgårdsstasjoner i Aust-Agder og i 2004 ble det gjennomført en regional undersøkelse på Skagerrakkysten for å kartlegge tilstanden. Sammenliknet med tang og tareundersøkelser fra perioden 1976-1996, ble tapet av sukkertareskog på beskyttet kyst estimert til 90 %. Årlig oppfølging siden 2004 har ikke vist tegn til gjenvekst av sukkertare. Også på deler av Vestlandet er det funnet sterk tilbakegang i forekomst av sukkertare. På denne bakgrunn satte miljømyndighetene (MD, SFT, DN) i gang Sukkertareprosjektet for å finne årsakssammenhenger for å kunne iverksette eventuelle tiltak. Tapet av sukkertareskog i Sør-Norge berører viktige sider ved kystøkosystemet og de faktorer som påvirker dette. Denne foreliggende studien har hatt som målsetning å avdekke eventuelle klimatisk og miljøbelastningsrelaterte endringer eller avvik som kan forklare eller ha medvirket til tap av sukkertare og etablering av dagens tilstand i kystsonen. Biologiske årsakssammenhenger undersøkes i andre aktiviteter (se Statusrapport nr 2/2007 fra Sukkertareprosjektet). Innledende klimaanalyser viste at 90-tallet var en unormal periode med blant annet milde vintre i Sør-Norge, slik at det var nødvendig å inkludere data tilbake til 1960, der slike tidsserier eksisterte. Mange overvåkingsprogram ble igangsatt tidlig på 1990-tallet, så det mangler mye data fra tidligere år. Det var følgelig begrenset utvalg av tester som kunne utføres mellom ulike miljøparametere og effekter på sukkertare. Rapporten beskriver klimatiske hendelser og belastningsrelaterte endringer og belyser deres betydning for det marine kystklimaet og for sukkertaren og dens utvikling både direkte og indirekte.

Rekordhøye sjøtemperaturer
Sukkertare er en kaldvannsart hvor sommertemperaturen i Sør-Norge og Skagerrak spesielt, kan være skadelig og i ekstreme tilfeller dødelig for sukkertaren. Endringer i sjøtemperatur er en direkte følge av klimatiske endringer med endret transport av vann via havstrømmer og lokal oppvarming fra lufttemperatur og solvarme spesielt i stille perioder. Analysen av sjøtemperatur viser klart negativ utvikling for sukkertare med stigende sommertemperatur på alle målestasjoner (svensk vestkyst, Sørlandskysten og Vestlandet) siden 1960. I den siste 15-årsperioden har det vært hyppig frekvens av varme somre med rekordhøy sjøtemperatur i 1997 og 2002. Høy sjøtemperatur er ut fra en totalvurdering den enkeltfaktor som mest sannsynlig kan ha utløst en regional sukkertaredød i 1997 og forårsaket bestandsreduksjoner også 1999 og 2002. Analyser av langtidsserier viser at det har vært varme perioder også tidligere, som i 1930-årene, slutten av 1950-årene, slutten av 1960-årene og midten av 1970-årene. Gamle fiskere og dykkere kan også fortelle at "taren har vært borte før".

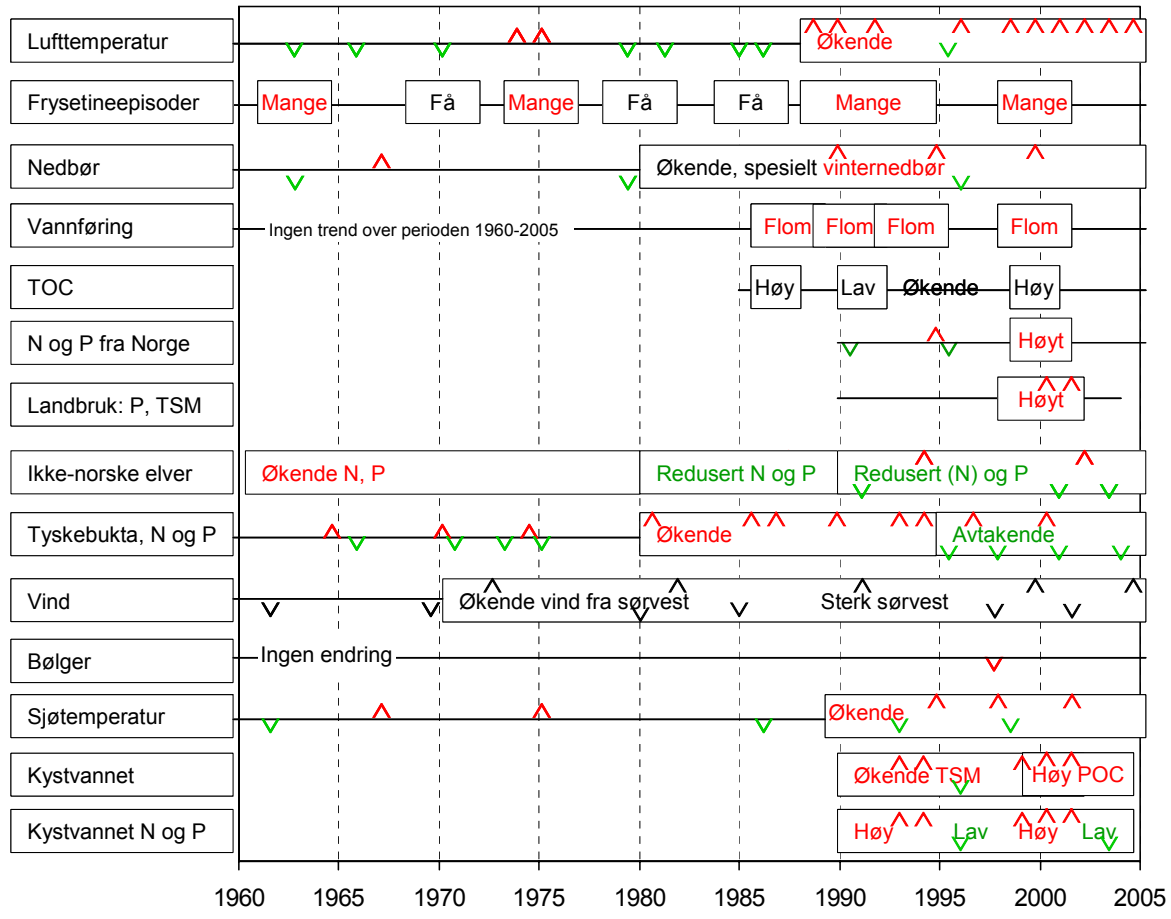
Stor langvarig belastning på ett utsatt biologisk system
Manglende gjenvekst av sukkertare etter sannsynlig sukkertaredød sommeren 1997, kan skyldes en mer langvarig utvikling med gradvis dårligere livsbetingelser for sukkertaren som skyldes store tilførsler av næringssalter og partikler i perioden 1980-2002. Kystovervåkingsprogrammet som startet i 1990, viser høye konsentrasjoner i Skagerrak av nitrat, fosfat og partikler i 1990-95 og i 1999-2002. Biologiske systemer og spesielt klimakssamfunn som sukkertaresamfunnet, har en stor treghet og innbygget motstand mot endringer. Klimakssamfunn responderer lite på økende belastninger inntil en grenseverdi er nådd, eller en direkte skadelig faktor inntreffer. Da endrer samfunnet seg brått og et nytt samfunn etableres med dominans av arter som er favorisert av den nye miljøtilstanden. Senskader av eutrofering og nedslamming av sjøbunnen er sannsynlige årsaker til manglende gjenvekst av sukkertare og vedvarende tap av sukkertareskog på indre kyst av Skagerrak.

Økt hyppighet av 'klimahendelser' de siste 15 år

Mange av dataseriene viser en urolig periode etter 1988 med økende hyppighet av unormale hendelser (jfr. figur under). Data fra sydlige Nordsjøen viser kraftig økning i konsentrasjonen av nitrat og fosfat fra 1980 til 1995 som kan ha hatt betydning for konkurransen mellom arter og være medvirkende årsak til vegetasjonsskifte i Skagerrak. Tilførsler av nitrogen og fosfor fra de kontinentale elvene til Nordsjøen er redusert i de seinere år, men økt hyppighet og styrke av sørvestlige vinder (spesielt i vinterhalvåret) har gitt økt transport av næringsrikt vann fra sørlige Nordsjøen til vår Skagerrakkyst og motvirket effekten av reduserte tilførsler til sydlige Nordsjøen. Imidlertid tyder de siste års målinger (etter 2002) på reduserte lang-transporterte tilførsler til vår kyst. Analysene indikerer ingen tilsvarende nedadgående trend i tilførsler av nitrogen og fosfor fra norske elver. Mange fryse- og tine-episoder, høy nedbør og flommer i vinterhalvåret den siste 15-årsperioden, har bidratt til høye lokale elvetilførsler av både næringsstoffer og partikler til kystvannet til tross for at nedgang i kildeutslipp.

Sammensatt årsakssammenheng med mange endringer i påvirkningsfaktorer

Sammenfall av høy sjøtemperatur, lite vind og bølger (sommerstid) og høy tilførsel av nitrogen, fosfor og partikler i tidsrommet for bortfall av sukkertare, sannsynliggjør en sammensatt årsakssammenheng med disse som viktige faktorer (se figur under).



Illustrasjonen summerer opp resultatet av klimatiske hendelser i perioden 1960-2005. Linje og boks indikerer lengden på de ulike dataserier som er undersøkt. Topp- og bunn-symbol viser henholdsvis år med høye og lave verdier. Fargen indikerer sannsynlig positivt (grønt) eller negativt (rødt) effekt for sukkertare. Begge deler eller ukjent effekt er i sort.

Reduserte utslipp og tilførsler gir håp om gjenvekst av sukkertare
Modellberegninger viser at langtransporterte tilførsler av næringsalter har gått ned etter 1995, basert på at transporten ut fra de kontinentale elvene har gått ned. Reduksjoner i langtransporterte næringssalttilførsler gir håp om gjenvekst av sukkertareskog. Imidlertid kan vi ikke ennå se noen nedgang i tilførsler fra norske elver tross nedgang i kildeutslipp, slik at betydningen av lokale elvetilførsler øker for vannkvaliteten i kystvannet av Skagerrak.

Sukkertarens kjerneområder i skjærgård og fjorder på indre kyst er påvirket av både lokale tilførsler og tilførsler fra Kyststrømmen. Siste års målinger fra Kystovervåkingsprogrammet viser bedring i vannkvaliteten og økt biologisk mangfold på ytre kyst av Skagerrak (Moy et al. in press). Det er en positiv utvikling som sannsynlig er resultat av mindre langtransporterte tilførsler og som vil ha positiv effekt på gjenvekst av sukkertare og på kystøkosystemet generelt.

Viktig med overvåkingsdata og lange tidsserier
En viktig del av dette arbeidet har vært å identifisere og sammenstille tilgjengelige miljøovervåkings- og klimadata for å belyse den mulige årsaken til bortfall av sukkertare. Denne rapporten tydeliggjør viktigheten av langsiktige tidsserier som et verktøy for å øke forståelsen av faktorer som styrer og påvirker miljøforandringer. Koblingen av meteorologiske data, oseanografiske data, langtransporterte tilførsler med havsirkulasjon, næringssaltdata i kystvann og vannførings- og tilførselsdata fra norske og ikke-norske elver til Nordsjøen, gjør rapporten unik, og data og kunnskap formidlet her har potensiell overføringsverdi til andre studier og forvaltningsoppgaver. Analysene viser også med tydelighet verdien av lange og pålitelige overvåkingsdata for å kunne analysere komplekse årsakssammenhenger og gi svar på spørsmål som går ut over målsetningen for det enkelte overvåkingsprogram.

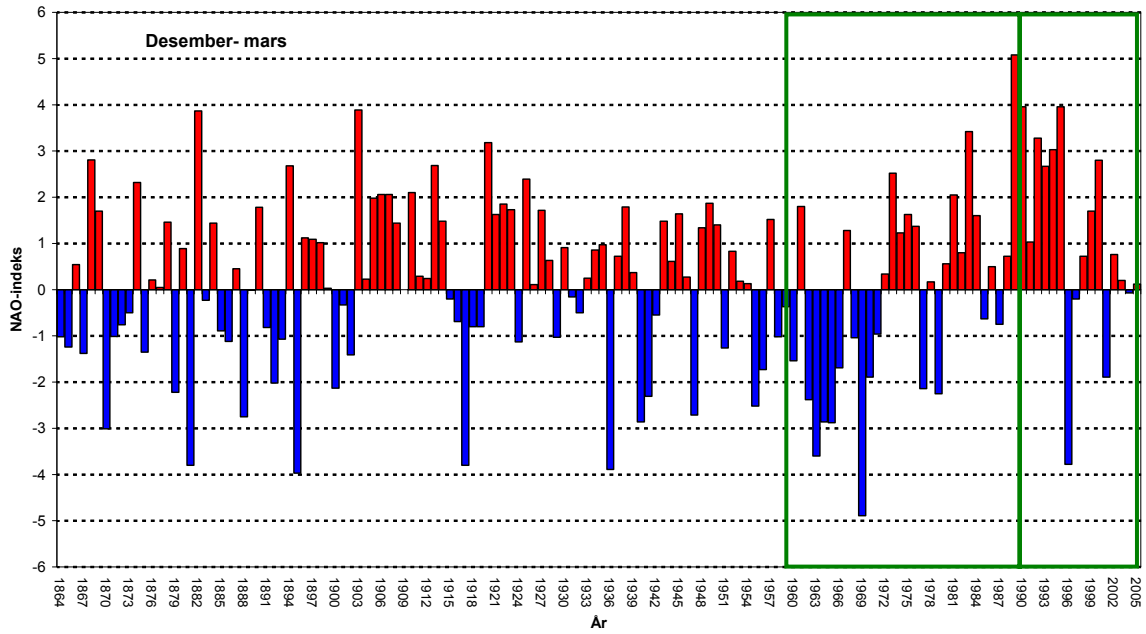
1. Introduksjon

Frithjof Moy (NIVA) og Per Stålnacke (Bioforsk)

1.1 Innledning og formål

Den dramatiske tilbakegangen i forekomsten av sukkertare (*Saccharina latissima*, tidligere *Laminaria saccharina*) på beskyttet kyst av Sør-Norge har reist viktige spørsmål om kyst-økosystemet og de faktorer som påvirker dette. Fra mange hold er det rapportert om klimatiske unormaliteter siste tiår og statusrapport nr 2 fra Sukkertareprosjektet (Moy et al., 2007) holder klimaendringer sammen med eutrofi som de to mest sannsynlige årsaker til sukkertaredøden.

Studie av klimatiske endringer eller hendelsers med mulig betydning for sukkertaren ble startet i 2005. Studiet har vært delt i 2 faser hvor fase 1 hadde fokus på å identifisere og sammenstille umiddelbart tilgjengelige empiriske overvåkings- og klimadata fra tidsperioden 1990-2004. Tidsperioden ble avgrenset til 1990-2004 fordi det er lengden på mange av overvåkingsseriene. Resultatet av fase 1 viste at klimaet hadde høyere nedbør, høyere sjøtemperatur og økt frekvens og omfang av vindstyrke enn langtidsmiddel. Det ga grunnlag for en fase 2 av klimaprosjektet med mer inngående analyser av de påviste endringer. En vurdering av NAO-indeksen[1] viste også at startåret 1990 for analyseperioden lå i en periode med unormalt varme vintre (positiv vinterindeks, figur 1.1). Følgelig var det også et behov for å utvide tidsseriene tilbake til 1960 der det var mulig i fase-2 analysene.



Figur 1.1 North Atlantic Oscillation index (NAO) for vintersesongen (desember-mars) fra 1864 til 2005. (Hurell (1995) og oppdateringer fra Hurell).

[1] NAO er forkortelsen for den nord-atlantiske oscillasjon (*oscillasjon* = svingninger). Den nord-atlantiske oscillasjon kjennetegnes av at lufttrykket ved havnivå over Island svinger i motfase med tilsvarende trykk over Asorene. Ved en høy NAO-indeks er trykket over Island lavere enn normalt. Dette medfører mer vestavind med mild og fuktig vestlig luftstrøm over Sør-Norge, slik at vi får milde vintre i sør. Lav indeks gir østavær og kaldere vintervær forbundet med luftmasser fra øst.

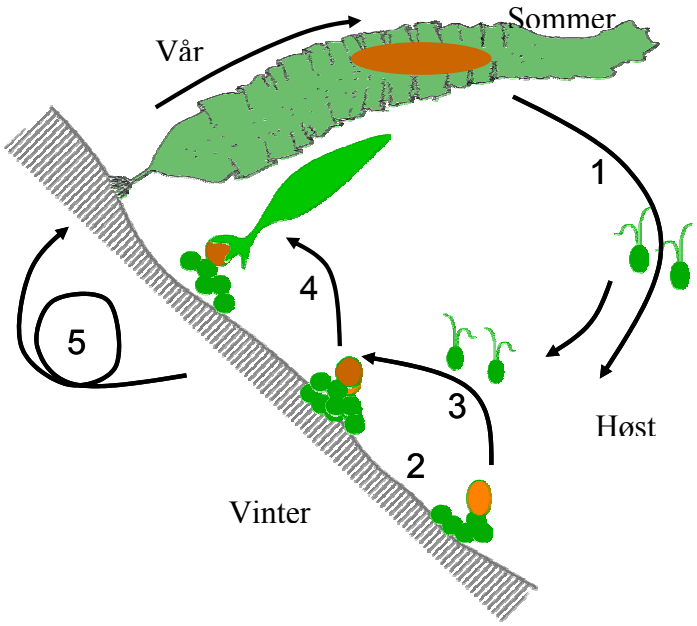
Formålet med klimastudiene var å lage en helhetlig analyse for å finne faktorer som kan forklare sukkertarens bortfall og dagens tilstand. Målsetningen var todelt: 1) beskrive klimatiske hendelser og endringer i siste periode (tilbake til 1960 om mulig) med betydning for det marine kystklimaet og 2) å belyse klimatiske faktorers betydning for sukkertaren og dens utviklingen både direkte og indirekte. I dette ligger også en gjennomgang av klimatiske endringer i siste periode med mulig overføringsverdi ut over sukkertareproblematikken. En viktig del av dette arbeidet har derfor vært å identifisere og sammenstille tilgjengelige empiriske overvåkings- forsknings-, og meteorologiske data.

Det er ikke mulig å bevise hva som førte til bortfall av sukkertare gjennom disse analysene, men analysen kan sannsynliggjøre medvirkende faktorer. Det er trolig flere faktorer i kombinasjon som har ført til den negative utviklingen for sukkertare. Det er også sannsynlig at det er andre faktorer som i dag hindrer gjenvekst av sukkertare enn de var årsak til sukkertaredøden.

1.2 Sukkertarens livssyklus

Sukkertare (*Saccharina latissima* synonym: *Laminaria saccharina*) er en stor, flerårig brunalge med et 1–3 m langt og 10–20 cm bredt, olivenbrunt, bølget blad, festet med en 10–40 cm lang stilk til stein og fjell. Sukkertare vokser på beskyttet til moderat bølgeutsatt kyst fra ca. 1 til 30 m dyp. Sukkertaren er en kaldtvannsart og har en nordlig sirkumpolar utbredelse og finnes både i Stillehavet og langs kystene på begge sider av Atlanterhavet og på Svalbard.

Sukkertaren blir normalt mellom 3 og 5 år gammel og har en velkjent biologi. Algen har en kompleks livssyklus som skifter mellom en stor sporofytt (sporeproduserende livsfase, sukkertaren slik vi ser den) og en mikroskopisk gametofytt (gametproduserende fase) (Figur 1.2). Det er mange steg i denne livssyklusen hvor forstyrrende elementer kan redusere suksessen på flere trinn og svekke reetablering tilstrekkelig til at bestanden dør ut. Som vist i Figur 1.2 vokser sukkertarens blad raskt ut om våren. Samtidig felles den ytre gamle delen av bladet slik at sukkertaren beholder sin form og danner en permanent vegetasjon gjennom hele året. Om sommeren stopper veksten opp, og algen begynner å utvikle sporer. På senhøsten og vinteren sprer sukkertaren et stort antall zoosporer i vannet. Dette er mikroskopiske, svømme-



Figur 1.2 Livssyklus hos sukkertare
1. Sporeslipp høst og vinter.
2. Sporene søker ned mot sjøbunnen, fester seg til underlaget og spirer til mikroskopiske hann og hunnplanter.
3. Hannplantene slipper ut en mengde små spermatozoider som skal befrukte egget på hunnplanten.
4. Det befruktede egget spirer straks og en ny kimplante vokser ut av egget på hunnplanten og over hunnplanten som blir borte.
5. Ut over våren vokser kimplanten raskt og avhengig av lys og plass kan den unge sukkertaren bli en meter lang i løpet av den første sommeren. Sukkertaren blir først fertil det andre året i syklusen. (Ill. F.Moy)

dyktige sporer som spres normalt innenfor en radius av noen hundre metere, mer avhengig av strømforhold enn svømmedyktighet. Zoosporene søker ned mot sjøbunnen, fester seg til underlaget, hvor fast steinbunn er det beste. I løpet av vinteren spirer sporene til mikroskopiske, små hann- og hunnplanter. Dette er sukkertarens 'usynlige' gametofyttfase med kjønnslig formering. På hunnplanten vokser det fram et egg og hannplantene slipper ut en mengde små spermatozoider. Disse skal finne veien til en hunnplante og befrukte egget. Det befruktede egget spirer straks og en ny kimplante vokser ut av egget på hunnplanten. Kimplanten vokser ut over hunnplanten (som blir borte) og forankrer seg med festetråder (senere hapterer). Kimplanten vokser raskt ut over våren til synlig størrelse og avhengig av lys og plass kan den unge sukkertaren bli en meter lang i løpet av den første sommeren. Sukkertaren blir ikke fertil det første året og det er først neste år at syklusen er tilbake til punkt 1 i figuren og syklusen kan repeteres. Relativt kort levealder (3-5 år) gjør at sukkertaren er avhengig av jevnt god rekruttering for å opprettholde en tett bestand.

Høy sjøtemperatur om sommer og høst virker negativt på sukkertaren. Sjøtemperatur over 17 °C reduserer veksten og i Skagerrak kan temperaturen også bli dødelig (ca 23 °C). Vintertemperaturen i Skagerrak har ingen direkte innvirkning på sporofytten eller de små gametofyttene. Derimot har forsøk vist at slam på sjøbunnen og slam på gametofytter og kimplanter, har negativ innvirkning på befruktning og overlevelse. Disse forhold undersøkes i aktiviteter som Statens forurensningstilsyn og Direktoratet for naturforvaltning i fellesskap har satt i gang. I tillegg er det initiert flere forskningsoppgaver som skal studere faktorer med betydning for tarens livssyklus.

1.3 Data-serier og rapportdisposisjon

Følgende dataserier og analyser er behandlet i rapporten:

1. Meteorologiske data (metno) for nedbør, lufttemperatur, vind og bølger
2. Elv-tilførsler av næringsstoffer/partikler (NIVA/RID) og vann (NVE) for Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva, Otra, Orreelva, Suldalslågen samt ikke-norske elver
3. Nitrogen og TOC data for klimapåvirkede bekker (NIVA/RESA) for Birkenes, Langtjern, Storgama
4. Næringsstofftilførsler fra landbruksbekker (Bioforsk/JOVA) for Kolstadbekken, Mørdrebekken, Rømua, Skuterudbekken, Grimestadbekken, Vasshaglona, Timebekken og Skas-Heigre
5. Sjøtemperatur (HI) fra Flødevigen, Hurtigruta, Tjärnö, Lista og Utsira
6. Havoverflatetemperatur målt fra satellitt (NERSC) og partikler (NIVA) i Skagerrak, Kattegat og Tyskebukten
7. Kystovervåkingsprogrammet (NIVA/KYO) med næringsstoffdata og hydrografi fra stasjoner i Skagerrak (Færder, Jomfruland Arendal II, Arendal III og Lista) og Tyskebukta (Helgoland) og Kattegat (Anholt),
8. Havsirkulasjon (met.no) modellert for Skagerrak

Dataseriene er plukket ut etter en lang prosess som har inkludert flere åpne arbeidsmøter i regi av SFT, hvor både relevans til problematikken og datatilgjengelighet er vurdert. Prosjektet har laget en sammenstilling av de utvalgte dataseriene og gjennomført analyser for å klarlegge samvariasjoner og evt. signifikante korrelasjoner som kan kaste lys over endringer i tilførsler og mulige klimatiske forhold. Hver dataserieanalyse rapporteres her selvstendig i hvert sitt kapittel (kapitel 2-8) med utfyllende data og figurer i eget vedleggsdokument (med samme kapittelinndeling for å lette gjenfangst av data). Til slutt (kapitel 9) er det laget en oppsummering som viser sammenhenger mellom viktige hendelser i tid og en evaluering av dette sett fra sukkertarens synspunkt.

2. Endringer i nedbør og lufttemperatur

Knut Iden, Hans Olav Hygen og Knut Harstveit (met.no)

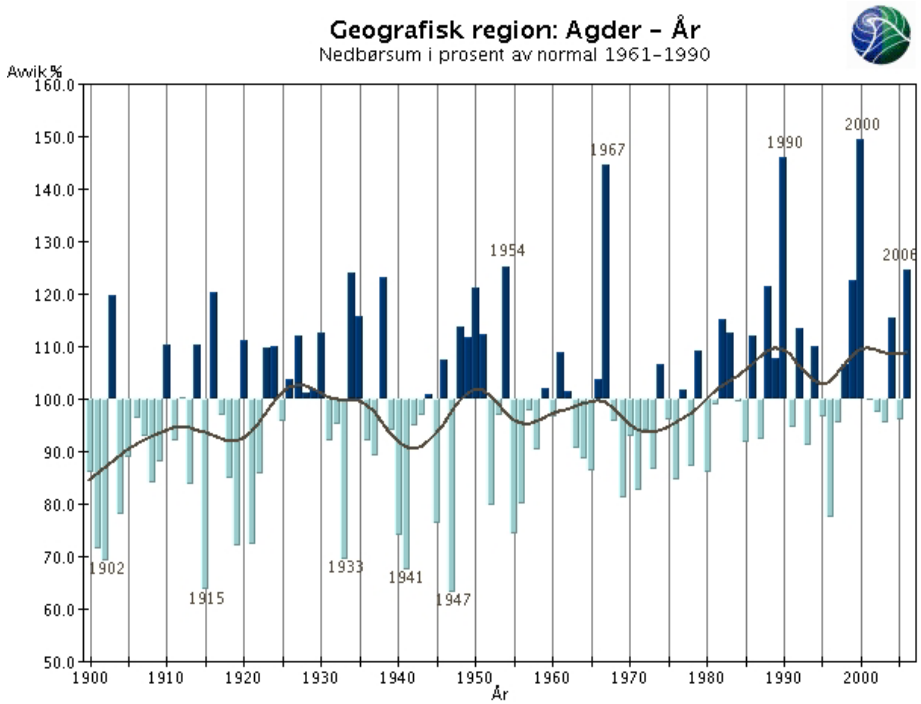
Nedbør og temperatur påvirker avrenning fra land og kan bidra til utvasking av næringsalter og partikler som fører til eutrofiering og nedslamming av sukkertarens leveområder. Store nedbørsmengder gir stor vannføring i bekker og vassdrag, men også årstid og temperatur spiller inn. Nedbør i milde vintre faller som regn og kan gi stor utvasking siden jorda i vinterfasen ligger brakk. Frysing og tining (antall nullpunktkrysninger) gir økt jorderosjon. Analysen viser at Agder-regionen har blitt både våtere og varmere siden 1980 sammenliknet med normalen. Rundt 1962, 1975, 1992 og 2000 var det mange fryse-tinedøgn og spesielt siden 1988 har det vært en så å si en sammenhengende 15-årsperiode med unormalt høy vinternedbør. Høy temperatur førte også til at vinternedbøren kom som regn.

- -

Meteorologisk institutt har etablert en serie med kart (griddete) for daglig nedbør og temperatur. Med dette utgangspunkt er det mulig å lage regionale anomali kart (i dette tilfelle avvik fra langtidsgjennomsnitt, sk normal-perioder) for perioder som måned, sesong og år. I denne forbindelse har en benyttet kartene basert på Agder-fylkene.

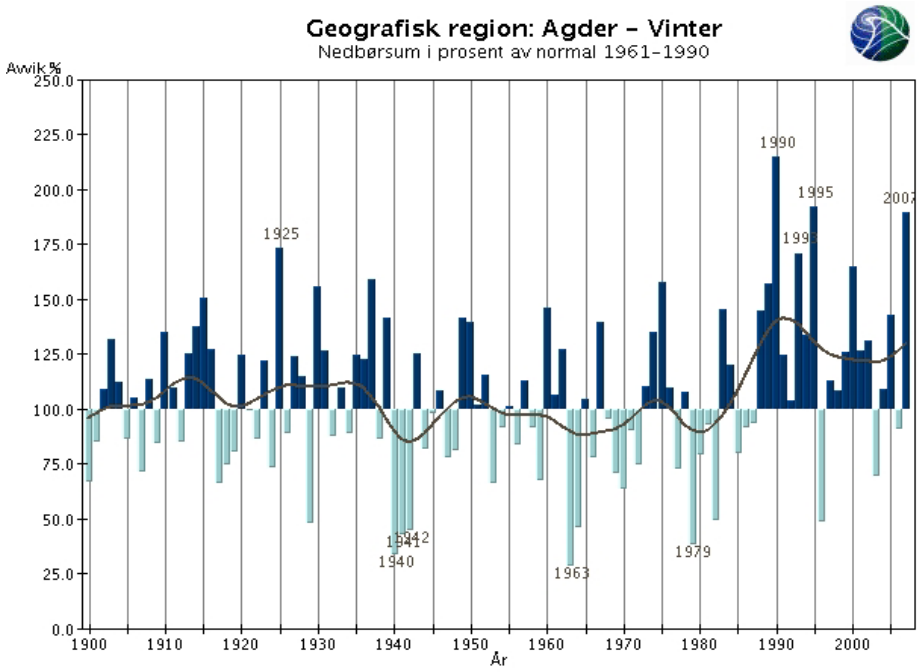
2.1 Nedbør

Figur 2.1 viser årlig nedbør i % av normalen for Agder-fylkene som helhet, for nedbør. De fem høyeste og de 5 laveste verdiene er angitt ved år. År 2000 er på topp tett fulgt av 1990 og 1967. De fem høyeste verdiene er alle fra den siste halvdelen av serien mens de laveste alle er fra den første halvdelen. Den utglattede kurven antyder en økning i årsverdiene fra midt på 70 tallet.

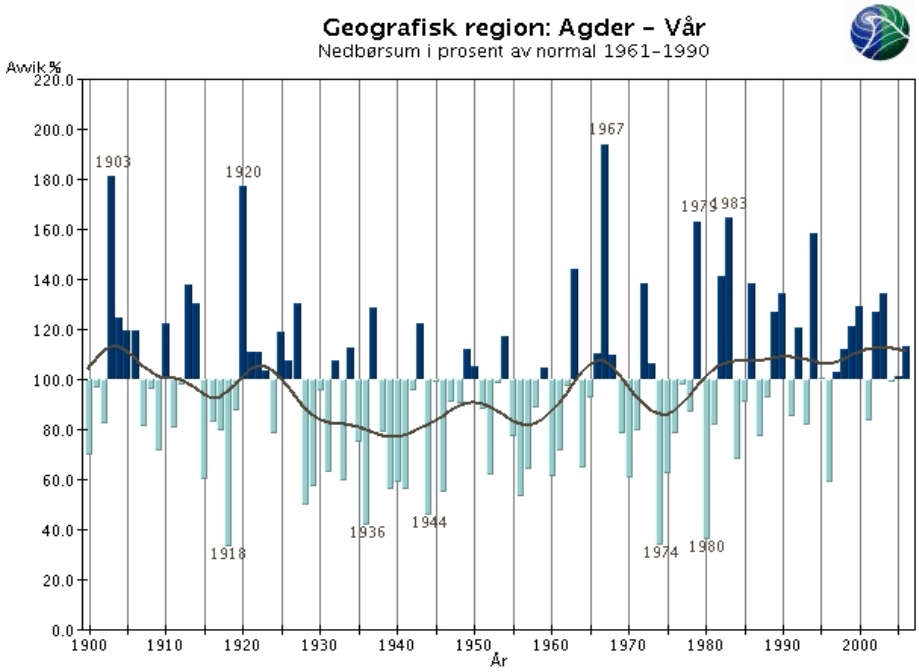


Figur 2.1 Nedbørsum i % av års normal 1961-1990 for Agder.

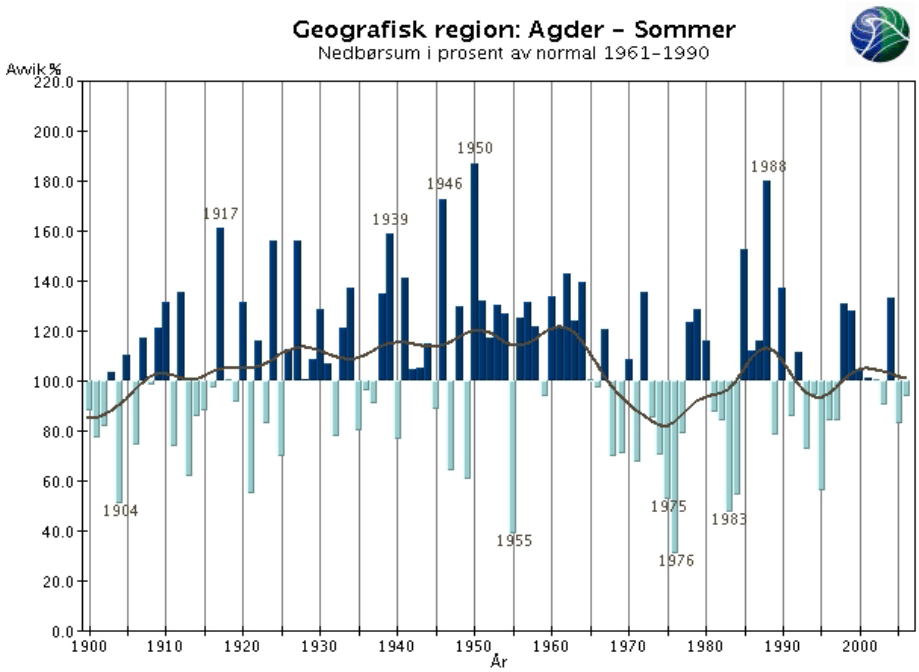
For vinteren (Figur 2.2) er denne tendens enda mer utpreget. Etter en del tørre vintre omkring 1980 har de fleste vintrene hatt nedbør vesentlig over normalen. Våren (Figur 2.3) viser ikke det samme systematiske trekk. Her har en etter 1980 hatt nesten like mange år med nedbør under normalen som år med nedbør over normalen. Det samme kan en si om sommeren (Figur 2.4). Her må en imidlertid trekke frem sommeren 1988 som markerer seg med over 180 % av normal nedbør for sommeren. For høsten (Figur 2.4) er det etter 1980 en overvekt av år med nedbør under normalen. Også her må en trekke frem et enkelt år (2000) som markerer seg med høyest verdi i serien.



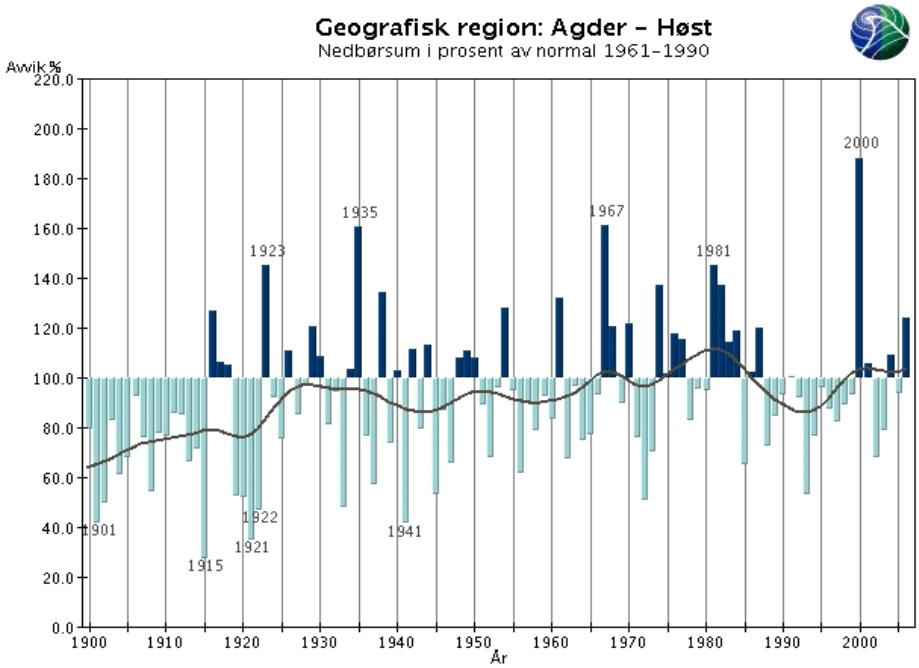
Figur 2.2 Nedbørsum i % av normalen for Agder for vinteren (des., jan. feb.)



Figur 2.3 Nedbørsum i % av normalen for Agder for våren (mars., apr., mai.)



Figur 2.4 Nedbørsum i % av normalen for Agder for sommer (juni, juli, aug.).

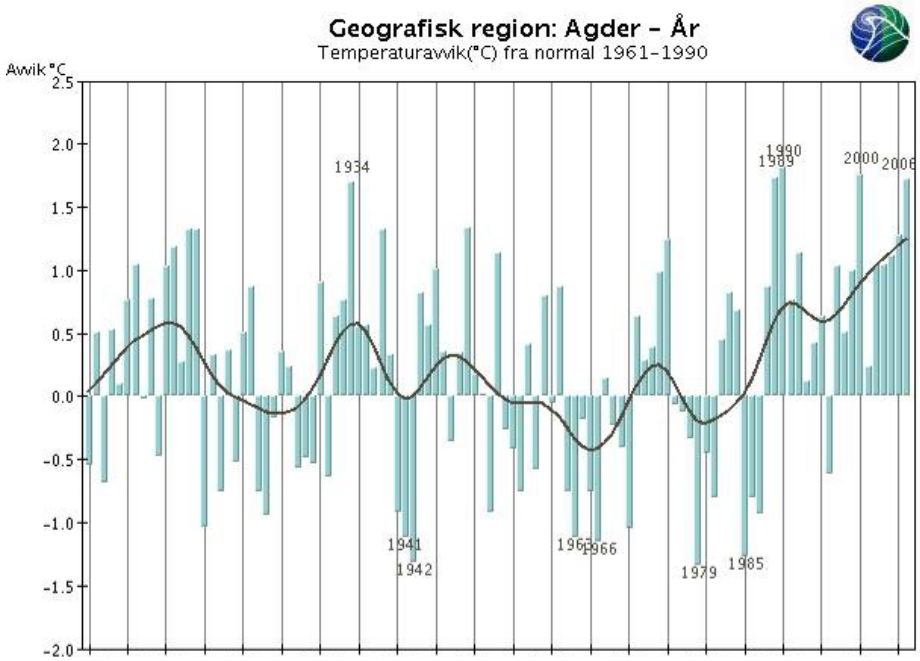


Figur 2.5 Nedbørsum i % av normalen for Agder for høst (sept., okt., nov.).

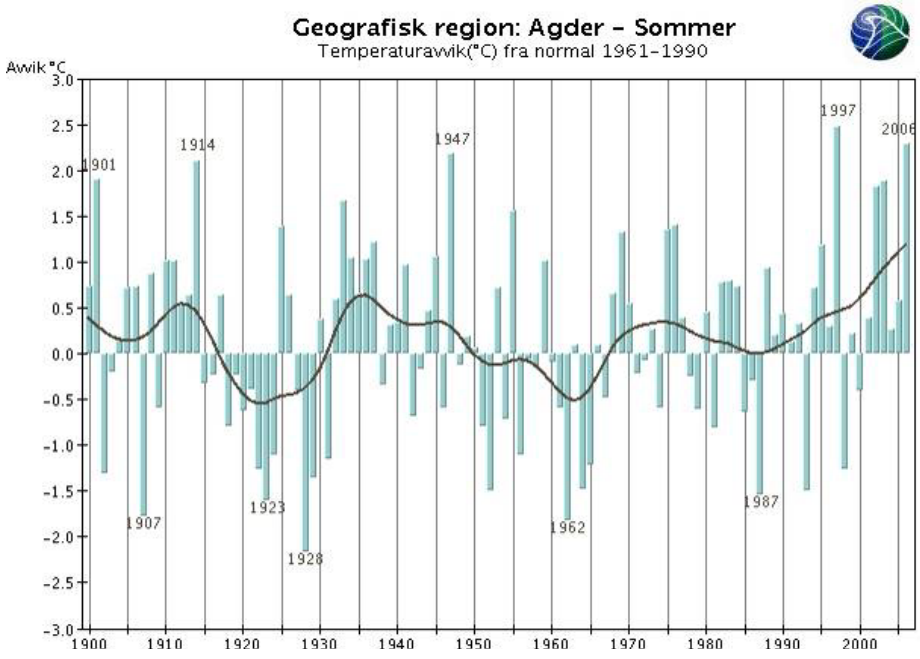
2.2 Temperatur

Etter 1988 er det bare 1996 som har hatt middel som er under årsnormalen (figur 2.6). Årsnormalen er basert på perioden 1961-1990. De andre årene er til dels betydelig over og av de fem varmeste årene er det bare 1934 som er før 1988 mens alle de 5 kaldeste er før. Kaldest var 1979. Den utglattede kurven viser da også en betydelig stigning fra dette året og frem mot 2006. Når det gjelder sommer (Figur 2.7) er det 4 år fra og med 1987 der

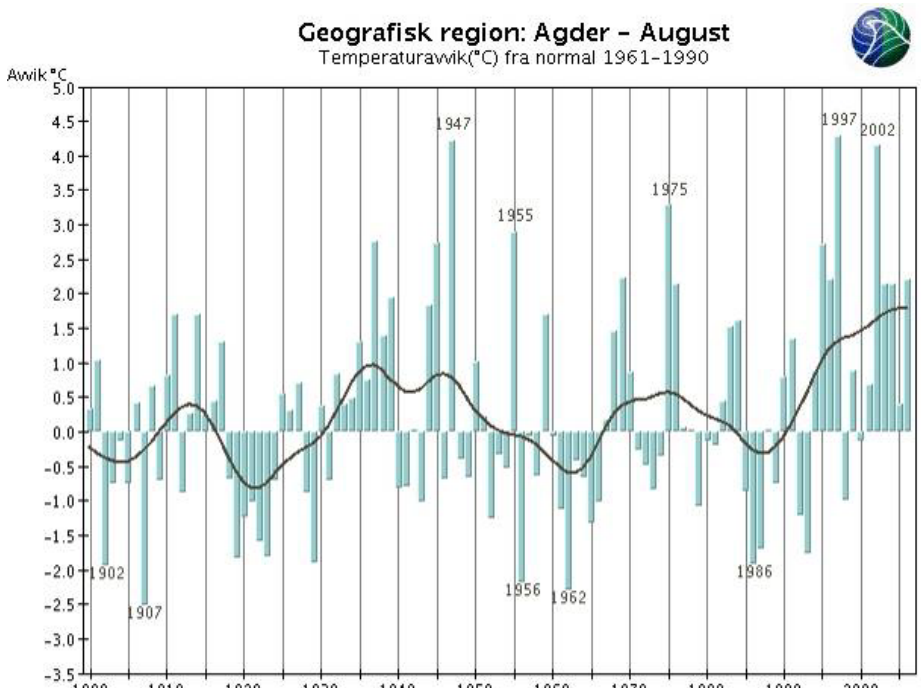
temperaturmidlet har vært under normalen. Sommeren 1997 er den varmeste tett fulgt av 2006 og dernest 1947. Den utglattede kurven antyder en betydelig økning etter 1987. Figur 2.8. viser temperaturen for august måned.



Figur 2.6 Temperaturavvik (ºC) fra års normal (1961-1990) for Agder.



Figur 2.7 Temperaturavvik (ºC) fra normal (1961-1990) for sommer for Agder.



Figur2.8 Temperaturavvik (ºC) fra normal (1961-1990) for august for Agder.

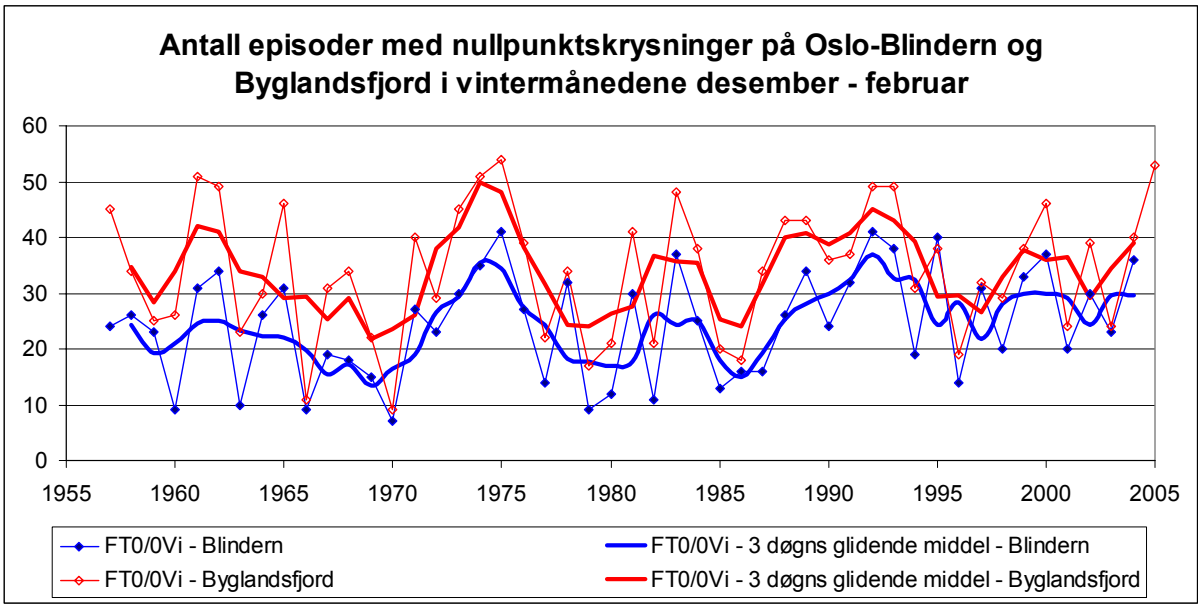
2.3 Nullpunktskrysninger

Jorderosjon kan være knyttet til hvor ofte marken fryser og tiner i løpet av vinteren. Vi har laget et datasett fra Oslo-Blindern og Byglandsfjord (Aust-Agder), der årlig antall nullpunkts-krysninger, FT0/0 er plottet fortløpende. Et døgn er definert som et døgn med nullpunkts-krysning dersom maksimumstemperaturen ligger over 0°C og minimumstemperaturen ligger under 0°C. Figur 2.9 viser et plott over antall døgn med nullpunktskrysninger om vinteren på Oslo – Blindern og Byglandsfjord, også gitt som glidende 3-døgns midler.

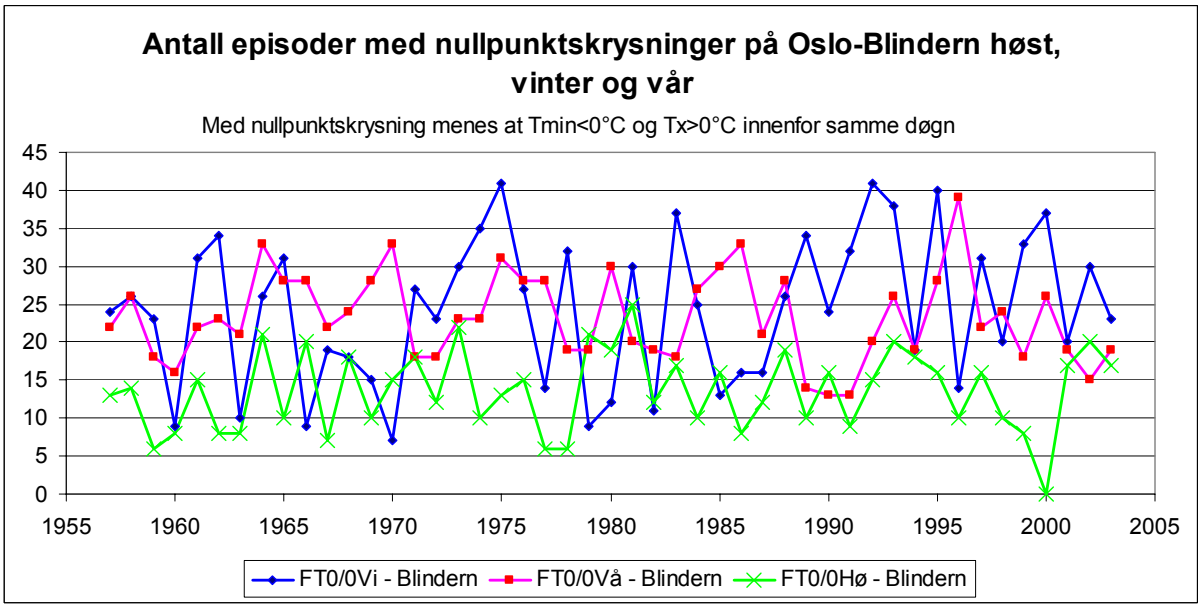
Materialet viser en tydelig trend med økende antall nullpunktkrysninger siden 1960 – årene. Men vi ser også en topp omkring 1973 – 1976. Vi ser også at det er en markant økning i vintersesongen fra 80-tallet til en topp i 1992. Byglandsfjord følger samme mønster som Oslo, men der er 10-15 flere døgn med nullpunktskrysning om vinteren på denne stasjonen.

Figur 2.10 er tatt med for å illustrere sesongforskjeller. Det er flest krysninger om vinteren, og det er også vintersesongen som viser trend, øvrige sesonger viser ikke dette.

Resultatene kan indikere på økt jordtap etter 1988 og utover i sammenligningen med perioden før. Imidlertid er dataseriene fra elveovervåkingen og landbruksbekkene for korte slik at vi ikke kan tallfeste om dette har vært tilfelle. En økning nullpunktskrysninger etter 1988 med mulig øking i erosjon og tilførsel til havet, vil kunne medføre økt nedslamming.



Figur 2.9 Antall episoder med nullpunktkrysninger på Oslo-Blindern og Byglandsfjord i vintermånedene desember – februar.



Figur 2.10 Antall episoder med nullpunktkrysninger på Oslo-Blindern høst, vår og vintermånedene.

3. Vannføring og flomfrekvens

Line Johanne Barkved (NIVA)

Stor vannføring og spesielt flommer har betydning for tilførsel av næringsstoffer og partikler fra land til kystvannet. Studier i Numedalslågen (blant flere) har vist at 90 % av årstilførselen av partikler til kystvannet skjer i flomepisoder. Analyse av flomfrekvens er følgelig en viktig del av dette klimastudiet knyttet til bortfall av sukkertaren. Det ble ikke funnet trender i flom-mønsteret eller flomegenskaper i siste 15-årsperiode som ikke har forekommet i tidligere perioder. Menneskelige inngrep i vassdrag, spesielt reguleringer, påvirker vannføringen slik at det er vanskelig å påvise eventuelle effekter av klimaendringer. Likevel kan hyppig forekomst av høst- og vinterflommer på 1990-tallet på Sørlandet ha hatt en medvirkende negativ effekt på sukkertaren.

- -

Det primære fokus for analysen i denne delen av prosjektet har vært på flommer og flomvannføring i lys av sukkertarens død, det er også sett på studier av vannføring generelt. Viser flomanalyser noe spesielt for perioden 1996-2002, da store deler av tareskogen forsvant langs Skagerakskysten, eller i nærliggende perioder i forkant og etterkant som kan knyttes til sukkertaredøden? Ser vi endringer i flomstørrelse, hyppighet, sesong for flom, varighet for flom? Har det vært langsiktige endringer i flomegenskapene?

Analysen viser at signifikante langtidsendringer i flommønster er vanskelig å påvise da dette er avhengig av start og sluttpunkt for analysen. Det er ikke funnet spesielle flomforhold da sukkertaren forsvant som ikke har forekommet i tidligere perioder. Videre vil menneskelige inngrep i vassdraget, særlig regulering påvirker vannføringen og flomegenskapene og kan gjøre det vanskelig å påvise effekter av eventuelle klimaendringer.

Det er foretatt analyser på flomserier med årsmaks, sesongmaks og verdier over et terskelnivå. Det er lagt særlig fokus på sesongverdier. Hensikten har vært å se på om det har vært spesielle forhold/episoder i løpet av perioden hvor sukkertaren har forsvunnet (det vil si hovedsakelig 1996-2002) som ikke har forekommet tidligere, og da særlig i lys av mulige klimaendringer. Det er særlig i sammenheng med partikkeltransport at endringer i flommønster er interessant for sukkertareproblematikken. Flomtopp (peak flow) er av særlig interesse knyttet til erosjon og partikkeltransport. Det er foretatt en overordnet analyse av utvalgte flomserier i lys av andre relevante studier som foreligger eller pågår, nasjonale og internasjonale forskere har jobbet med klimaeffektstudier i flere tiår.

3.1 Vannføringsserier benyttet i flomanalysen

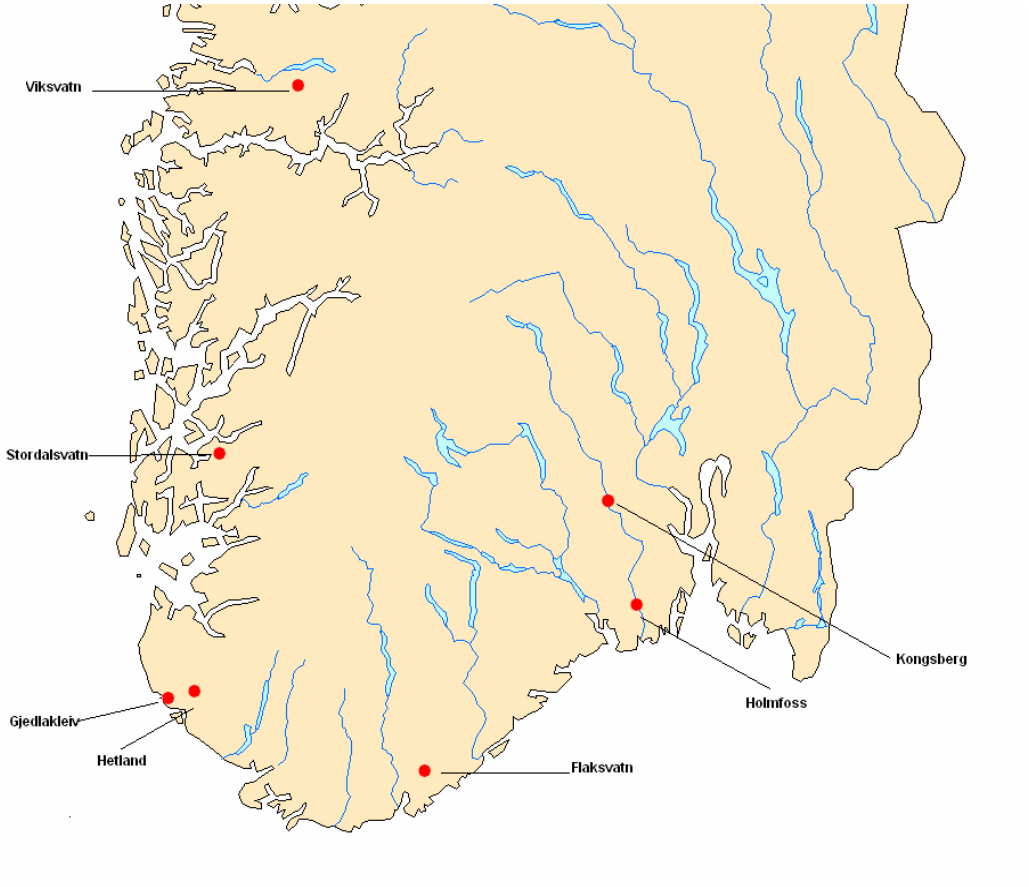
Vannføringsstasjonene som er benyttet er valgt ut i fra at de skal være hensiktsmessige for analyser knyttet til sukkertaren (se Figur 3.1 og Tabell 3.1). Det har i den forbindelse vært ønskelig å benytte kystnære stasjoner fordi vannføring og partikkeltransport ut i fjord og hav er av primær interesse.

Reguleringer og andre inngrep i vassdrag påvirker vannføringen og introduserer usikkerhet i klimaendringsanalyser fordi det er vanskelig å si om vannføringen er endret som følge av klima. Det er derfor forsøkt å finne stasjoner som er så lite påvirket av regulering som mulig i de relevante områdene. Det er tatt utgangspunkt i hvilke serier som er benyttet i andre

klimastudier (Roald, 2000; Roald et al. 2006). For stasjoner sterkt preget av regulering eller andre inngrep kan man benytte tilsigserier, som er beregnet naturlig vannføring. Disse er imidlertid ikke helt uproblematiske da de kan være beheftet med støy og kan også noen ganger gi litt for høy vannføring fordi de som regel ikke tar hensyn til naturlig magasinering. Særlig for Numedalslågen er det vanskelig å finne stasjoner som ikke er påvirket av regulering. Stasjonene Holmfoss og Kongsberg er likevel tatt med i analysen fordi disse stasjonene også har interesse for andre prosjekter knyttet til næringssaltavrenning som for eksempel Elvetilførselsprogrammet (RID). Vannføringsseriene er hentet ut fra NVE's HYDRA II database.

Tabell 3.1. **V**annføringsstasjoner benyttet i flomanalysen (for detaljer se Anneks 3.1)

Stasjonsnavn	**Vassdrag**	**Region**	**Areal (km^2)**
Flaksvatn	Tovdal	Sørlandet	1794
Gjedlakleiv	Bjerkreim	Sørvestlandet	639
Hetland (Ogna v. Hetland)	Bjerkreim	Sørvestlandet	70
Kongsberg	Numedalslågen	Østlandet	4219
Holmfoss	Numedalslågen	Østlandet	5192
Viksvatn	Gaula	Vestlandet	505
Stordalsvatn	Stordalsvatn	Vestlandet	127



Figur 3.1. Lokalisering av vannføringsstasjoner benyttet i flomanalysen.

3.2 Vannføring

Det foreligger flere studier som har sett på endringer i vannføring og vannføringsmønster, som midlere vannføring. En av hovedkonklusjonene i rapporten til Førland et al. (2000) var følgende:

A special focus is set on the anomalies in temperature, precipitation and runoff during the latest 20 years (1980-1999), and it is e.g. demonstrated that the winter precipitation in Western Norway is more than 25% higher during 1980-1999 than for the normal period 1961-1990."

Analyser utført av Hisdal et al. (2004), i forbindelse med prosjektet 'Climate and Energy', av mer enn 100 vannføringsserier for periodene 1961-2002, 1941-2002 og 1920-2002 viser at det i Norden generelt er klare tendenser til økt vannføring både om vinteren og våren (for alle periodene). En mulig forklaring kan være at stadig mer av vinternedbøren faller som regn og at snøsmeltingen starter tidligere på grunn av økt temperatur. Årsnedbøren har økt i alle deler av Norge de siste hundre årene og i de fleste landsdeler er økningen størst vinter og vår (Førland et al. 2007).

For sommersesongen påvirkes resultatet i stor grad av analyseperioden og de ulike periodene gir ulike resultater. For sommersesongen i perioden 1941-2002 ble det funnet en tendens til redusert vannføring i sørlige og østlige deler av Norge, som muligens kan forklares av tidligere vårflom. For høstsesongen var det generelt ingen endringer for analyseperiodene (mindre enn 5 % signifikante trender er funnet for høstsesongen).

For årsavrenningen ble det funnet positiv trend mot høyere vannføring for 20 % av seriene for perioden 1961-2000 og 1941-2002, og 5 % av seriene for perioden 1920-2002. Analyse-resultatene påvirkes altså av analyseperioden og hvilke stasjoner som er med.

Vannføringen i Skagerrakelvene i perioden 1990-2005 er beskrevet i kapitel 4 i forbindelse med rapporteringen av elvetilførsler av næringsstoffer, suspendert materiale og TOC.

3.3 Hva er en flom og hva skyldes den?

For en analyse av flommer må en flomserie dannes og det finnes flere måter å definere flom på både i tid, rom og størrelse. De definisjonene som er benyttet i dette studiet er angitt i Tabell 3.2.

Flommer kan være snøsmelteflommer, regnflommer som følge av langvarig eller lokale høyintense regnbyger eller kombinasjonsflommer av snøsmelting og regn. De vanligste årsakene til flom er snøsmelting og regn, ofte kombinert med høy fuktighet i jorda (Roald, 1999). Fuktighetstilstanden i jorda er viktigst for flommer som skyldes mye regn. Dersom jorda nesten er vannmettet før regnet, kan det gi stor avrenning selv ved liten nedbør. Under større nedbørepisoder sent på høsten kan nedbøren falle som snø i deler av nedbørfeltet, og dette vil føre til at flommen blir liten eller uteblir om ikke temperaturen blir så høy at snøen smelter (Roald og Asvall, 2007).

Flomstørrelsen er avhengig av nedbørfeltets flomdempende egenskaper og av initialtilstanden i feltet, det vil si forekomst av snø, mark- og grunnvannsinnholdet og om bakken er frosset. Flommer vil som regel forverres ved tele i bakken og i strøk med stor andel tette flater

Størrelsen på nedbørfeltet vil også påvirke størrelsen på flommen. Kortvarige, intense nedbørsituasjoner kan gi store flommer i små nedbørfelt, mens større felt ikke får tid til å reagere. Store flommer inntreffer når flere faktorer virker sammen. Store snømengder eller sterkt regnvær alene fører derfor ikke nødvendigvis til flom (Roald, 1999; Roald og Asvall, 2007).

I og med at flommer er tilfeldige (stokastiske) hendelser kan vi få svært ulike forløp i ulike vassdrag selv i nærliggende vassdrag (Killingtveit, 2006).

Tabell 3.2. Flomdefinisjoner benyttet for denne analysen

Årsflom:	Høyeste registrerte vannføring hvert år (m3/s) (årsmaks, peak flow)
Middelflom:	Gj.snittet av den største vannføringen hvert år (årsflommene) for en periode (m3/s)
Sesongflom:	Høyeste vannføring registrert i definert sesong. Vår (Snøsmelt eller kombinert snøsmelt+regn) Høst (regn), vinter (regn), sommer (regn, kombinert regn sen snøsmelt). (m3/s). Sesongvisse flommer, det vil si at den høyeste vannføringen hver sesong er med i serien.
POT (Peak over threshold):	Flomserie med uavhengige flomtopper over ett treskelnivå.
T-års flom:	En flom som i gjennomsnitt gjentar seg med T- års mellomrom. Merk! sannsynligheten for en T-års flom er 1/T hvert år (dvs. en 10-årsflom har 0.1 sannsynlighet for å inntreffe hvert år)

3.4 Forholdet mellom vannføring og flom

Flomverdier er sterkt avhengig av nedbørfeltets flomdempende eller flomforsterkende egenskaper. Endring i nedbør og økt avrenning gir ikke nødvendigvis større flommer fordi nedbørfeltets flomdempende egenskaper og initialtilstanden i feltet spiller en stor rolle (se 3.3).

Roald (1999) viser at sammenhengen mellom største årlige flomverdi og årets middelvannføring ofte er moderat. For stasjoner i Glommas hovedløp finner han en korrelasjon 0.2-0.4 og for vestlandvassdragene korrelasjon 0.4-0.6 mellom årlig flom og årets middelvannføring. Dette viser at selv om det er påvist trender i årsavløpet, behøver ikke trendene være signifikante for flomseriene.

3.5 Er flommene blitt større og hyppigere?

Årsflommer og sesongflommer

I vår analyse av årsflommer for de utvalgte seriene får vi signifikant utslag for trend på noen av stasjonene ved bruk av Mann-Kendalls test (gjengitt i anneks 3.5-1), men det gir ikke entydige resultater. Hvilken periode det testes for påvirker også resultatet. Det kan ikke trekkes noen konklusjon om langsiktig, entydig trend i data.

Hisdal et al. (2004) har analysert årlig trend for flom (peak value) i 150 langtidsserier i de nordiske landene for tre tidsperioder. Studiet viser tendens til større årsflommer (peak flows) bl.a for perioden 1941-2002, men resultater er sårbart for periodevalg.

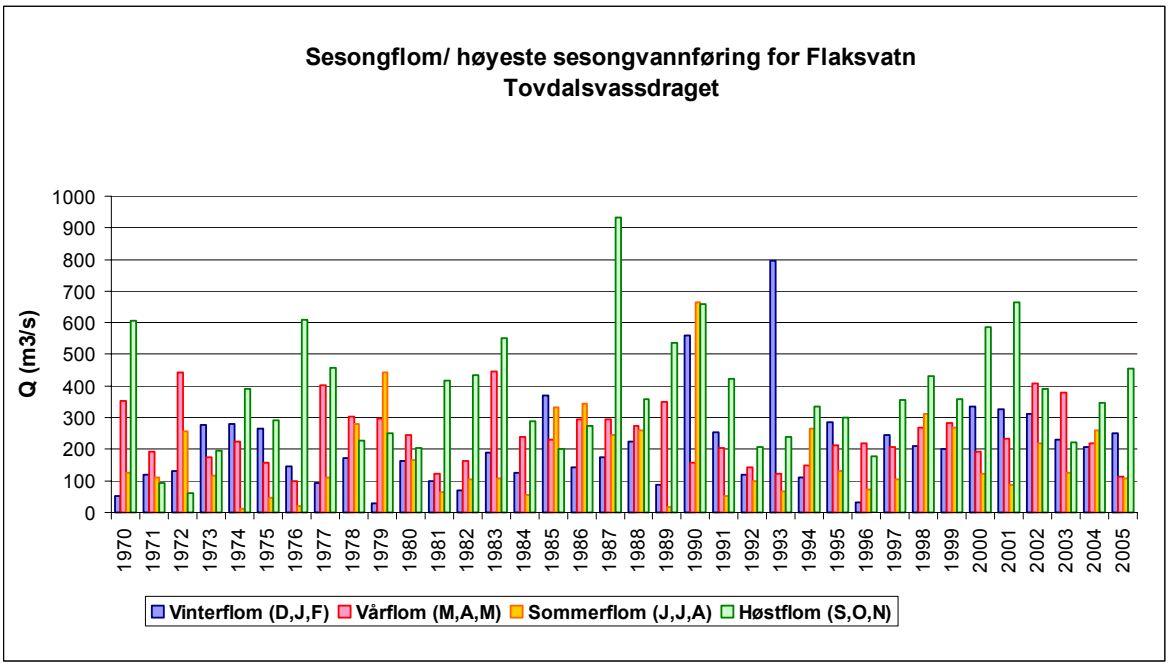
For sesongflommer er sesonger delt inn på følgende måte: Vinter: desember-februar, Vår: mars-mai, Sommer: juni-august, Høst: september-november.
Plott av sesongflommer (Anneks 3.5-2) gir et bilde av relativt kraftige høst og vinterflommer for Flaksvatn (Tovdalsvassdraget) forut for sukkertarens død (se Figur 3.2 og 3.3). Viksvatn (Gaularvassdraget), hvor det ikke har forekommet tareskogdød i særlig grad, ser også ut til å ha hatt flere kraftige vinterflommer i perioden. Flaksvatn sine vinterflommer er relativt store i forhold til de som har vært i løpet av den analyserte perioden. Vi ser relativt store høstflommer i perioden 1987-1990 med påfølgende store vinterflommer i 1991-1993 i forhold til midlere sesongflom for normalperioden 1960-1990 (se Anneks 3.5-2), merk at i år 2000 var det en veldig spesiell høstflom som varte i ca 60 dager. Det er imidlertid ikke eksepsjonelle forhold, f.eks også de milde 1930-årene var preget av relativt store regnflommer.

Ved å se på hvor mange av de største sesongflommene for den totale perioden (1920-2005) som faller innenfor de to periodene 1996-2002 (perioden hvor sukkertaren forsvant) og 1990-2005 (hele 15-årsperioden, Anneks 3.5-3), finner vi at for Flaksvatn er de største andelene i vinter og høstsesongen vi finner, dvs. for de 10 største vinterflommene i Flaksvatn, forekom 4 av dem i perioden 1990-2005 (40%) og 2 i perioden (1996-2002).

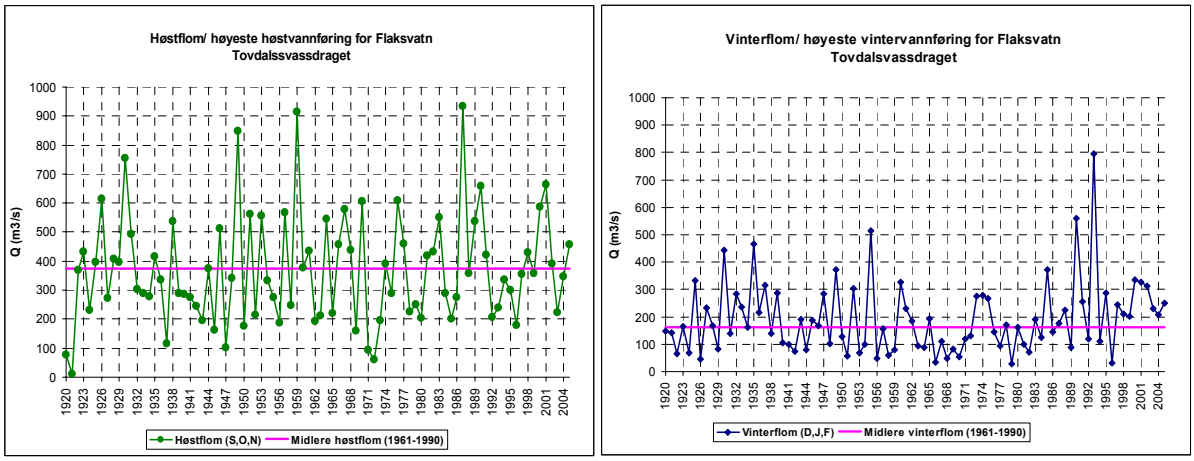
Resultater ved bruk av Mann-Kendalls test på sesongflommer gir ikke entydige resultater om signifikante endringer (gjengitt i Anneks 3.5.1). Det er viktig å merke seg at trendtester er følsomme for periodens start og sluttverdier, så periodevalg vil påvirke resultatet.

Konklusjonen fra analyser av trend i lange tidserier (Roald, 1999) i HYDRA-prosjektet, for periodene 1920-1990 og 1970-1990 var at det ikke er klare trender i flomseriene, unntatt for serier hvor det er bygget magasiner i nedbørfeltet som medfører dempning av flommene, og at trendanalysen er følsom for start og sluttverdiene i seriene. Rapporten konkluderer med at det ikke er klare trender i tidspunktet for største årlige flom (foruten vassdrag hvor reguleringsinngrep kan være årsaken) og at det er periodevis dominans av høstflommer i noen regioner og vårflommer i andre regioner.

I internasjonal kontekst har Kundzewicz et al. (2005) foretatt en analyse av 195 serier av årlige flomverdier (årsmaks) uten å finne noen entydig trend mot større flommer; 27 viste positiv trend og 31 negativ trend, mens de fleste seriene (137) viste ingen signifikant trend.



Figur 3.2. Sesongflommer for Flaksvatn (Tovdalsvassdraget). Se anneks 3 for detaljplott



Figur 3.3. Høst og vinterflommer for Flaksvatn (Tovdalsvassdraget). Se anneks 3 for alle sesongene.

Hyppighet av flommer

Det er sett på forekomst av døgnvannføringer/flomhendelser over ett terskelnivå (POT), og videre for å undersøke om det har vært en økning i forekomst/frekvens av større flommer ble det foretatt en analyse av forekomsten av en T-års flom for de forskjellige seriene innen 10-årsperioder. Gjentaksintervall (T) 5 år ble valgt som nivå.

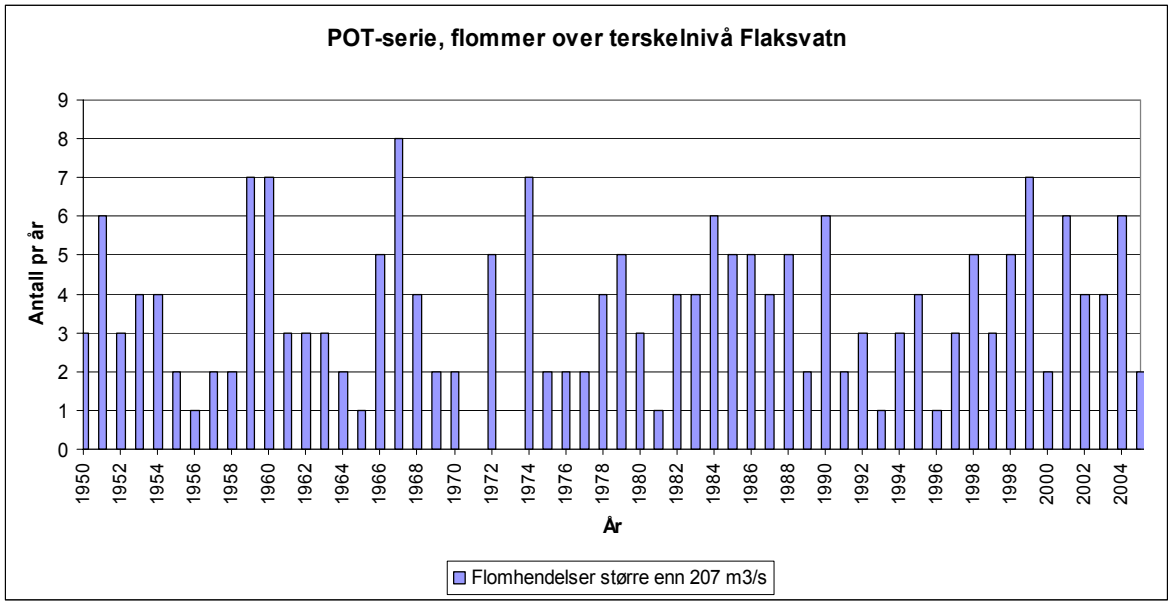
Ekstremverditeori sier at hendelsene skal være fra samme populasjon, det vil si at regnflommer og snøsmelteflommer bør behandles avskilt. I vassdrag med hyppighet av både høst- og vårflommer er det vanlig å utføre separate analyser av disse (Sælthun, 1997). Her er det analysert både på vårflommer (M, A, M), høstflommer (S, O, N), vinterflommer (D, J, F) og sommer (J, J, A).

Størrelsen på 5-års sesongflom for de ulike seriene ble estimert ved hjelp av ekstremverdistatistikk med en GEV-fordeling (Coles, 2001) og L-momenter (Wang, 1996) for

å estimere parametrene i fordelingen (Anneks 3 gjengir estimater). Disse estimatene ble så benyttet for å se på hvor ofte en flom av en slik størrelse forekom innen hver sesong innenfor bestemte perioder.

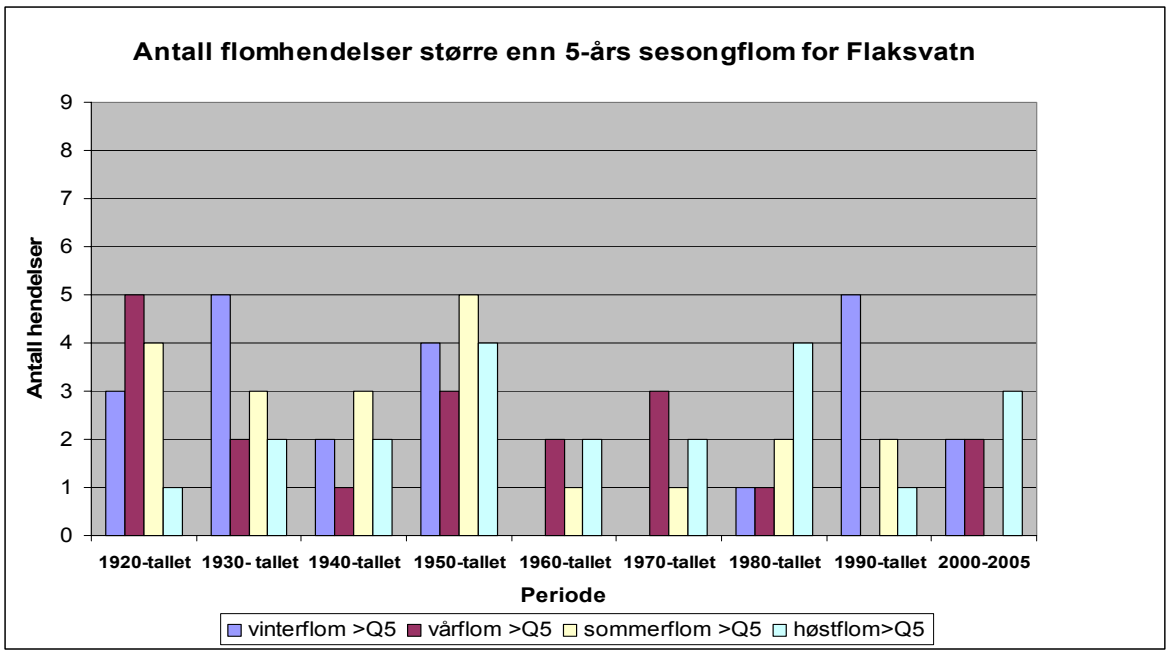
En sesongflom med 5 års gjentaksintervall er ikke det samme som en årsflom med gjentaksintervall 5 år. Dersom man deler året opp i sesongserier og ønsker å benytte disse for å estimere årsflom med ett bestemt gjentaksintervall må man se på sammensatt sannsynlighet. Det er ikke gjort her, da hensikten har vært å se på frekvensen/hyppigheten av flommer over ett bestemt nivå for hver sesong. Sesongflomnivå er estimert på grunnlag av serie med største sesongvannføring hvert år. Årsflom med 5-års gjentaksintervall er også estimert ut fra serie med årsflommer (største døgnvannføring hvert år). Plott av antall flomhendelser er angitt i Anneks 3.

Det er ikke påvist klare trender i sesongforekomsten av flommene, verken når man ser på antall hendelser pr år eller per sesong (se Figur 3.4). Det har imidlertid vært flomrike år siden slutten av 1990-tallet, med relativt stor andel av regnflommer.



Figur 3.4. Antall forekomster per år av døgnvannføringer over terskelnivå i Tovdals-vassdraget ved Flaksvatn. (Terskelnivå er satt til middelverdi + 3x standardavviket).

Plott av hyppighet av større flommer (Figur 3.5 og Anneks 3) viser at det på 1980-tallet og 1990-tallet var hyppighet av flommer og da særlig vinterflommer (trolig regnflommer eller kombinasjonsflommer) for Sørlandet og Østlandet. Ser man hele tidsperioden under ett (1920-2005) gir imidlertid ikke analysematerialet grunnlag for å vurdere hvorvidt det har vært en unik tilstand eller hyppighet av flommer de siste 15 årene som ikke har forekommet tidligere. Relativt hyppig forekomst av flommer på 1990-tallet kan imidlertid ha hatt en medvirkende negativ effekt på sukkertaren. Det gjelder særlig i områder hvor vinterflom og høstflom har vært dominerende som for Tovdalsvassdraget (Flaksvatn).



Figur 3.5 Hyppighet av sesongflommer med mer enn 5-årsgjentaksintervall for Flaksvatn i Tovdalsvassdraget. Vi ser at det på 1980-tallet og 1990-tallet var en relativt høy forekomst av høst og vinterflommer. (Se Anneks 3 for plott for de andre stasjonene).

Lindström og Bergström (2004) foretok en analyse av 60 flomserier i Sverige og en av konklusjonene var at ingen signifikant økning i frekvens av 10-års flommer eller større kunne bekreftes. De bemerket også at registrerte eldre flomtopper ofte kan være underestimerte, noe som gjør det vanskelig å vurdere om det har vært en eventuell signifikant økning i flomstørrelse.

Flommer viser en trendens til å klustre seg i tid; man kan se en opphopning av flommer i bestemte perioder. I f.eks Glomma var det en rekke høstflommer i de milde 1930-årene og i 1940- og 1950-årene, da det generelt var kalde vintrer med lite snø (Roald, 1999).

Lindström og Bergström (2004) finner i sin analyse av trender i vannføring og flom i Sverige tre ti-årsperioder som framstår som særlig nedbørsrike/våte, 1920, 1980 og 1990-tallet, som er i tråd med Roald (1999, 2000) sin undersøkelse av norske serier og også for våre analyser. De finner videre at 1970-tallet var veldig tørt. Det stemmer med vårt plott for Numedalslågen (Østlandet) som viser liten flomhyppighet på 1970-tallet. I følge analysene til Lindström og Bergström (2004) økte både flomvolum og flomstørrelse sett i ett kortere perspektiv mellom 1970-2002, men lignende forhold er å finne på 1920-tallet. Det er i tråd med de konklusjoner som kan trekkes basert på våre analyser.

Lindström og Bergström (2004) viser videre at det siden 1990 har vært en hyppig forekomst av flommer i Sverige, med flommene i 1993, 1995, 1998 og 2000 som de mest utpregede. De viser videre at de fleste flommene har vært regnflommer om sommeren eller høsten, mens det tradisjonelt har vært smelteflom om våren som har vært den største flommen hvert år. Også i Norge er 1995 og 2000 utpregede år. Flommen i 1995 rammet store deler av Østlandet. Flommen høsten 2000 var en spesiell hendelse som rammet Østlandet og Sørlandet med varighet opp til 60 dager i enkelte vassdrag. bl. a for Tovdalsvassdraget.

Regulering vil påvirke flomfrekvensen, og der hvor vassdraget er sterkt regulert til kraftproduksjon er det vanskelig å koble flomfrekvens til eventuelle klimaendringer. Det er

som tidligere nevnt i denne analysen, enten benyttet serier som er så lite påvirket av regulering som mulig eller så er det benyttet tilsigsserier. Ved større og mer sjeldne flomhendelser vil reguleringens flomdempende effekt avta med økende gjentaksintervall, slik at flomforholdene sannsynligvis blir mer lik uregulerte forhold. For Flaksvatn er det funnet at reguleringene sannsynligvis ikke har særlig innvirkning på flomvannføringene nede ved Flaksvatn (Drageset, 2003).

Andre flomparametere
Basert på de analyser som er foretatt på flomvolum og flomvarighet (for Flaksvatn) er det her ikke avdekket noe mønster eller signifikante trender for tidspunkt for flom innen sesong og flommenes varighet /volum, men dette er kartlagt i noe mindre grad i dette studiet. Flommen høsten 2000 bemerker seg imidlertid på grunn av sin lange varighet.

Scenarier
Scenarieanalyser (ikke tema for dette studiet) viser at det vil kunne komme påviselige signifikante endringer i flomegenskaper som følge av klimaendringer (Bl.a Sælthun, 1998; Roald et. al, 2006; Førland et al. 2007a). Studier viser at den nåværende stigende trenden i temperatur, spesielt i vintertemperatur, kan bidra til en omfordeling av flommer fra vår til høst og vinter (Sælthun 1998; Roald og Asvall 2007).

3.6 Konklusjoner

- Det er ikke funnet flomegenskaper for perioden da sukkertaren forsvant som ikke har forekommet i tidligere perioder.
- Menneskelige inngrep i vassdrag, særlig regulering, påvirker vannføringen og flom-egenskapene og kan gjøre det vanskelig å påvise eventuelle effekter av klimaendringer.
- Det er ikke funnet entydige trender i flomegenskapene (i tråd med andre studier).
- Resultatene fra denne analysen er i samsvar med resultater fra andre studier i Norge og Norden (Roald (1999), Hisdal (2004, Førland et al. (2000), Lindström og Bergström (2004), Det har generelt vist seg vanskelig å påvise overveiende bevis for en økning i flomstørrelse.
- Signifikante langtidsendringer i flommønster er vanskelig å påvise da dette er avhengig av start og sluttpunkt for analysen.
- Resultatene er følsomme for analysegrunnlag, periodevalg og metodikk som benyttes for å analysere effekten av klima(endringer) på flom. Killlingtveit (2006) framhever mer presise beregninger som ett av forskningsbehovene knyttet til klimaendringer og flommer.

4. Tilførsler av nitrogen, fosfor, suspendert materiale og organisk karbon fra elver

Eutrofiering og nedslamming av sukkertarens leveområder kan ha sammenheng med økte tilførsler av næringssalter, organisk karbon og partikler via bekker og elver både fra norske og utenlandske elver. Kvantitative data er analysert for å belyse årsakssammenhenger til bortfall av sukkertaren. Slike dataserier er dessverre svært begrenset i tid og de fleste serier startet først i 1990. Nitrogen- og tildels fosfortransporten i elvene er godt korrelert med vannføringen, men flomtopper i senere år (1999-2002) ga spesielt økt fosfor- og karbontransport i elvene på Agder. 1999-2002 hadde også høy transport av partikler fra de norske store vassdragene. Fra de kontinentale elvene ble det målt spesielt store nitrogen- og fosfortilførsler i årene 1994 og 1995. I disse to årene var nitrogentilførselen mer enn 25 % over normalverdiene. Imidlertid viser transporten av N og P i Elben (til Tyskebukta) en positiv, market nedgang siden midten av 1980-årene.

- -

Dette kapittelet er fokusert på en kvantifisering av transport av nitrogen, fosfor, suspendert materiale og organisk karbon fra norske og ikke-norske elver, og om det har vært endringer i denne transporten over tid.

Kapittelet er delt inn i følgende 4 del-kapitler:

4.1 Tilførsler av nitrogen, fosfor og suspendert materiale fra norske elver til Skagerrak og Vestlandskysten
4.2 Tilførsler av organisk karbon fra norske elver til Skagerrak og deler av Vestlandskysten
4.3 Tilførsler fra landbruksbekker
4.4 Tilførsler fra ikke-norske elver

4.1 Tilførsler av nitrogen, fosfor og suspendert materiale

Per Stålnacke, Eva Skarbøvik (Bioforsk) & Heleen de Wit (NIVA)

Det SFT-finansierte elvetilførselsprogrammet (RID) måler tilførsler av næringssalter og utvalgte miljøgifter til norske havområder. Programmet skal gi en årlig vurdering av alle tilførsler via vassdrag, arealavrenning og direkte utslipp til kyst- og havområder.

I 1988 godkjente Pariskommisjonen prinsippene for et omfattende studium av tilførsler av næringssalter og utvalgte miljøgifter via elver og direkte tilførsler til konvensjonens kyst-områder: Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges (RID).

Siden 1990 har Norge fulgt opp dette gjennom Elvetilførselsprogrammet (RID), som måler tilførslene fra omlag 75 prosent av fastlandsnorges landareal (90 prosent i Skagerrakområdet).

I Skagerrak (svenskegrensen til Lindesnes) måles det i 5 hovedvassdrag (Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skiensleva og Otra) (se figur 4.1). I tillegg har det vært målt i ett antall 'bi-elver'. Imidlertid er prøvetakingsfrekvensen (en gang per år) altfor lav for å kunne brukes til bra transportestimering og vurdering av langtidstrender. På vestlandet (Lindesnes til Stad) er det kun målinger i 2 elver: Orre og Suldalslågen (se figur 4.1). Orreelva er ett relativt lite vassdrag med ett nedbørfelt på kun 105 km^2.



Figur 4.1. Stasjoner i det norske elvetilførselsprogrammet (RID).

Vannføring

Vi velger her kun å presentere vannføringstallene for de 5 hovedelvene til Skagerrak da disse svarer for en betraktelig andel av den total ferskvannstilførselen til Skagerrak.

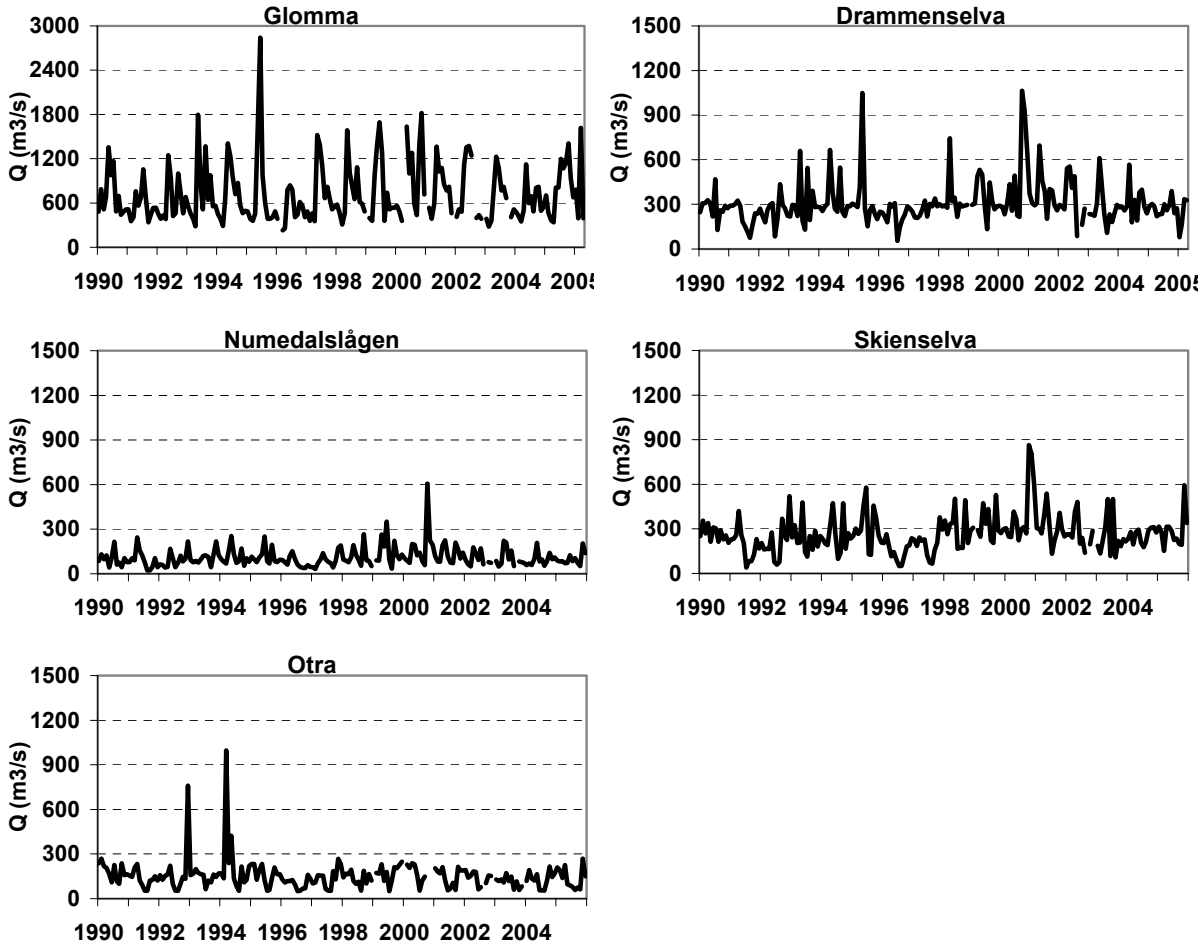
Ikke noen av de 5 Skagerrak-elvene oppviste en statistisk signifikant trend (Tabell 4.1) perioden 1990-2005.

Den visuelle inspeksjonen av data (Figur 4.2) viste imidlertid høy vannføring høsten 2000 i alle vassdrag utenom Otra. Vårflommen på Østlandet i 1995 ga også høy vannføring i Glomma og Drammenselva i mai. Året 1995 er også spesielt, samt at det er tendenser til oppganger periodene 1990-1995 og 1996-2001(2002), spesielt i Glomma og Drammenselva.

Tabell 4.1. Statistisk signifikans test av vannføring og næringsstoffer i 7 norske elever 1990-2005. P-verdier er vist i tabellen.

River	Q	NH_4-N	NO_3-N	Tot-N	PO_4-P	Tot-P	SPM
Glomma	0,8056	0,2075	0,7017	0,2201	0,9617	0,2272	0,4708
Drammenselva	0,2167	0,3690	0,5765	0,1692	0,6061	0,5694	0,4744
Numedalslågen	0,7510	0,7419	0,0738	0,1911	0,1997	0,0901	0,6081
Skienselva	0,1379	0,9479	0,0002	0,0003	0,1560	0,3852	0,3075
Otra	0,5800	0,4720	0,7132	0,4253	0,1125	0,2937	0,0037
Orrelva	0,4191	0,1752	0,2918	0,4750	0,0733	0,8585	0,9579
Suldalslågen	0,5872	0,4750	0,0456	0,0605	0,0724	0,7736	0,0488

Significant downward (p<0,05)
Downward but not significant (0,05<p<0,2)
Significant UPWARD (p<0,05)
Upward but notsignificant (0,05<p<0,2)



Figur 4.2. *Vannføring* i Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva og Otra, 1990-2004.

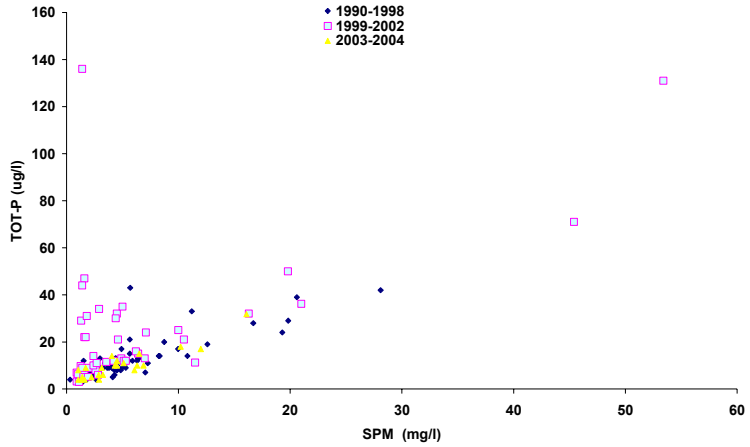
Konsentrasjonsutvikling

Konsentrasjons-utviklingen 1990-2005 er vist i Annex 4 for total-nitrogen, nitrat (NO_3-N), ammonium (NH_4-N), Total fosfor (TP), ortofosfat (PO_4-P), suspendert materiale (SPM) og total organisk karbon (TOC).

De statistiske testene viste følgende (tabell 4.1):

- For total nitrogen, detekterte vi kun en statistisk signifikant nedgang i konsentrasjonen - i *Skienselva*. I Numedalslågen ser vi også en tendens til nedgang (imidlertid ikke statistisk signifikant). Det kan tilsynelatende virke som om det generelt har vært lave konsentrasjoner de tre første årene (1990-1992) i følgende elver: (se figurer i annex 4) *Glomma, Drammenselva* og *Numedalslågen*, og til dels i *Otra*.
- Nitrat-konsentrasjoner viser en statistisk signifikant nedgang i Skienselva og Suldalslågen (vestlandet).
- For total fosfor, fant vi en tendens til oppgang i *Numedalslågen* (imidlertid ikke statistisk signifikant). Ikke noen av de 5 elvene oppviste en nedgang i total-fosfor verdier. Dette må betraktes som noe overraskende gitt at de norske utslippene av fosfor fra kilder som kommunalt avløp, jordbruk og industri har gått ned med over 50% siden 1985 (http://www.miljostatus.no/templates/PageWithRightListing.aspx? id=2685).

- En mer detaljert vurdering av dataseriene viste generelt høye konsentrasjonsnivåer og enkelte 'toppverdier' for fosfor i perioden 1999-2002. Dette er synlig i alle 5 elvene (Annex 4). I nedbørfelt der TP domineres av erosjonsprosesser som i *Numedalslågen*, noterte vi en god sammenheng mellom SPM og TP for alle perioder foruten akkurat i perioden 1999-2002 (Figur 4.3). Spesielt verdt å notere er de mange høye TP-konsentrasjonene ved lave SPM-verdier i denne perioden sammenligning med perioden før (1990-1998) og perioden etter (2003-2004). I denne sammenheng bør det noteres at årene 1999 og spesielt 2000 var temmelig spesielle hydrometeorologisk. I alle 5 elvene er 2000 det år med desidert høyest observert års-vannføring i perioden 1990-2004, pga en meget nedbørrik høst (som høsten 2005). Det bør også bemerkes at prøvene i perioden 1999-2003 blev analysert av ett annet laboratorium.
- Ikke noen statistisk signifikante trender blev observert for PO_4-P.
- For suspendert partikulært materiale (SPM) noterte vi kun en nedgang - i *Otra og en oppgang - Suldalslågen*. Vi bør for *Glomma* imidlertid notere at toppkonsentrasjoner over 40 mg/l ikke har vært observert siden begynnelsen av år 2000. Spesielt lave SPM nivåer er notert i mange elver i år 2002. I *Drammen, Numedalslågen* og *Skienselva* observeres høye verdier høsten 2000, som sammenfaller med høy vannføring.

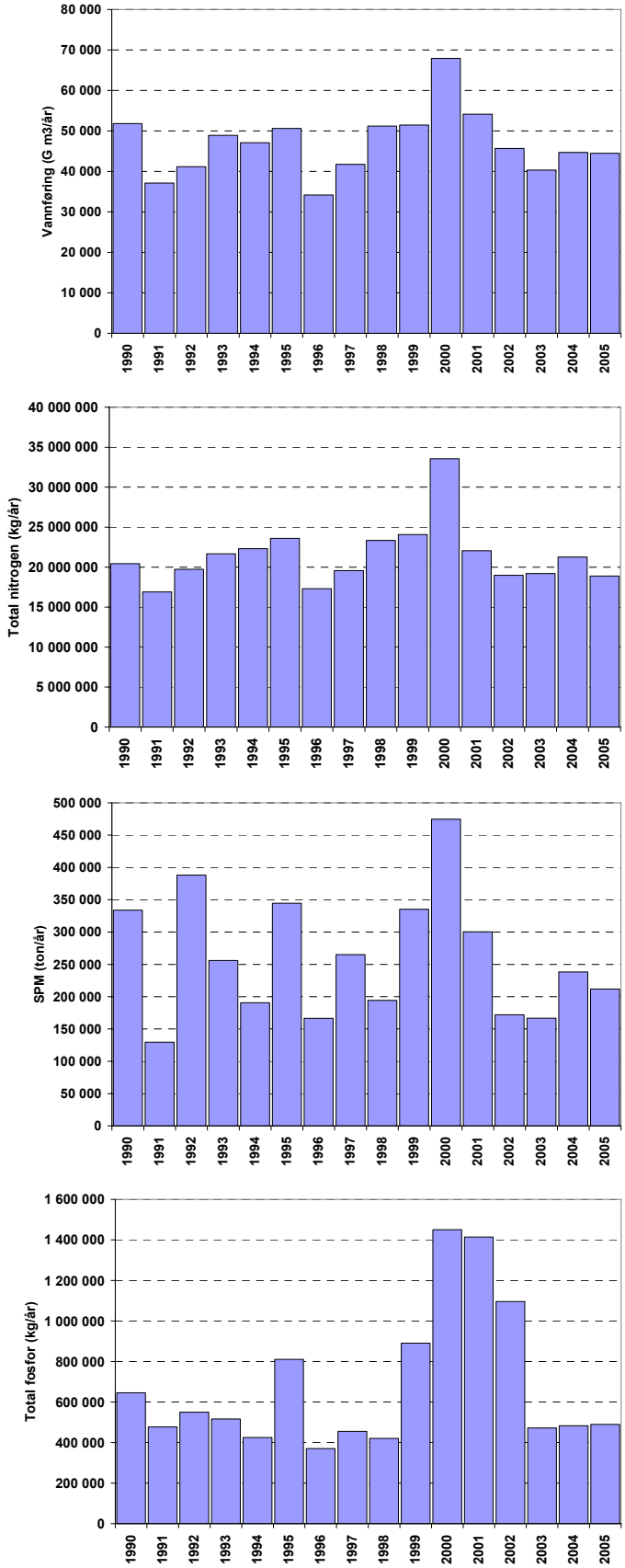


Figur 4.3. Korrelsjonsplott mellom TP og SPM konsentrasjoner for 3 forskjellige tidsperioder i Numedalslågen.

Elvetilførsler til Skagerrak fra Norge

De årlige elvetilførslene fra Norge til Skagerrakkysten (summen av de 5 elvene) for tidsrommet 1990-2005 er vist i Figur 4.4 . År 2000 peker seg ut med høyest vannføring og næringstofftilførsel. År med lave tilførsler er 1991 og 1996, og til dels 2003.

Den årlige variasjonen i de norske tilførsler av næringssalter er avhengig av størrelsen på ferskvannstilførselen og når på året det er mer enn normal vannføring, dvs. nedbørsavhengig.

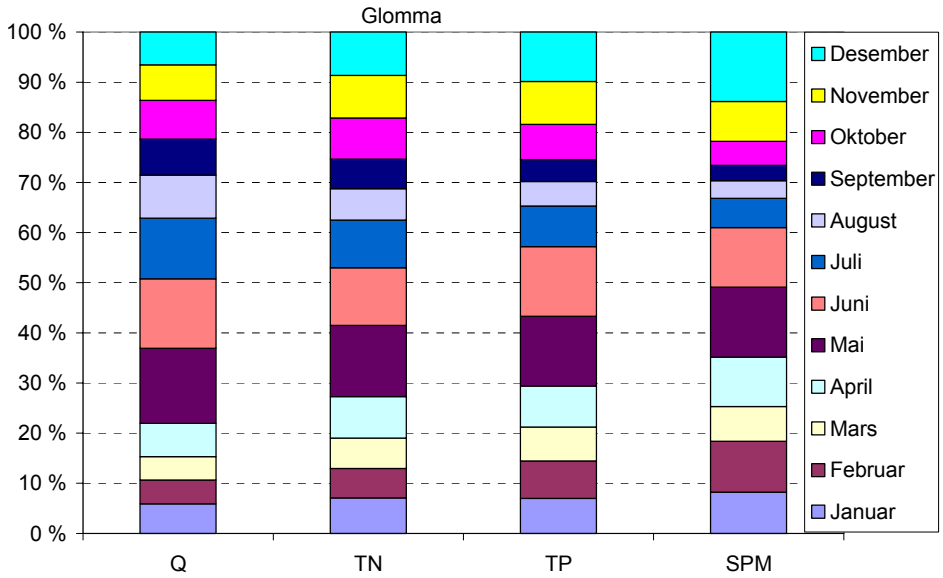


Figur 4.4. Årlig vannføring og vassdragstransport av total nitrogen, total fosfor og suspendert partikulært materiale i gjennomsnitt i de 5 hovedelvene til Skagerrak 1990-2005

Vanntilførselen til kysten av sør-Norge domineres av Glomma og Drammenselva, spesielt under sommeren og høsten (Figur 4.5). På årsbasis vil Drammenselva og Glomma bidra med vel 60 % av den totale ferskvannstilførselen.

Det er liten samvariasjon mellom vannføring og totaltilførslene av fosfor og SPM (Figur 4.4). Spesielt for partikler (SPM) og fosfor vil intensiteten i flommer være mer avgjørende for årlige variasjoner (se flomåret 1995, Annex 4).

For total-nitrogen er det derimot en signifikant sammenheng med vannføring (R^2=84%) (se også Figur 4.4)



Figur 4.5. Relativ vannføring Glomma fordelt på måned i 1993. (1993 er brukt som et eksempel, da det er liten årsvariasjon mellom elvenes relative andel det året).

Usikkerhet i transportstallene og spesielt partikkeltransport

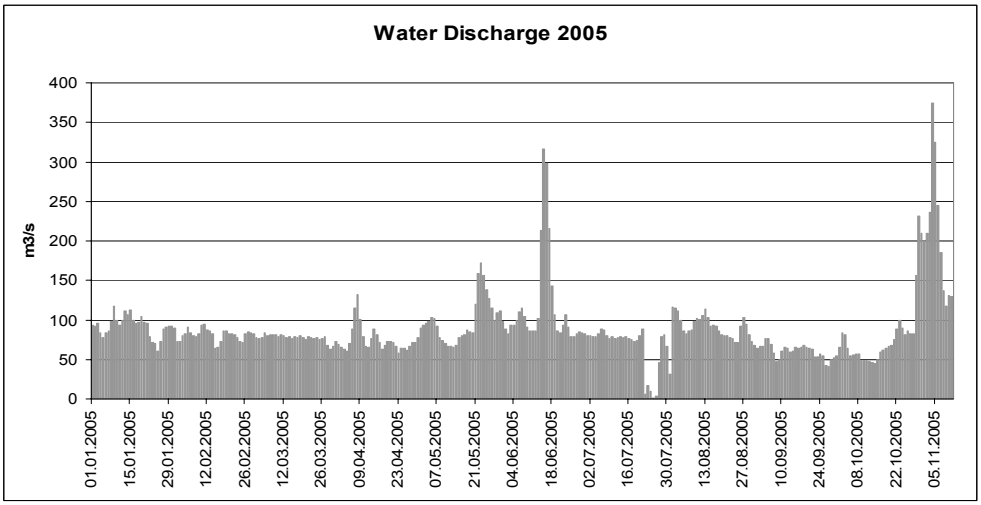
Dette avsnittet gir utvalgte resultater av PARTRAN-prosjektet (samarbeidsprosjekt mellom NIVA og NVE med finansiell støtte fra SFT og Sukkertareprosjektet). Tallene er til dels rapportert i Borgvang et al. (2006). Resultatene viser at det er stor usikkerhet knyttet til elvetilførselen av partikulært materialet.

Kontinuerlig måling av vannføring og partikler i Numedalslågen (NVE delfinansiert av Sukkertareprosjektet) har vist at flommer opptrer innenfor svært korte tidsrom, generelt innenfor en uke og med en flomtopp i løpet av en dag (Figur 4.6a). Spesielt i 2005 og kanskje typisk for de siste milde vintrene), er en stor flomtopp på sen-høsten (jfr Figur 4.6a den 5. nov 2005) som godt kan være større enn den normale "vårflommen" (i juni).

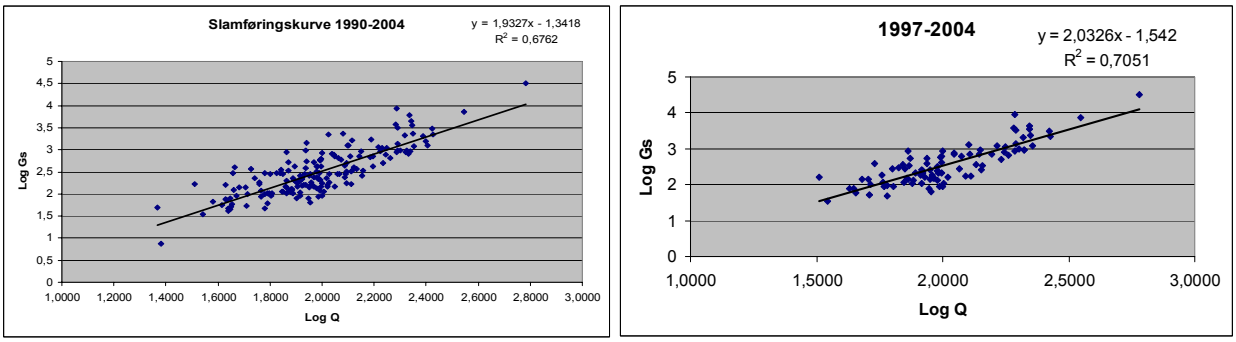
Målinger fra RID-programmet viser at det er en sammenheng mellom vannføring og partikkeltransport (Figur 4.6b) og en mulig tendens til brattere kurve for siste periode 1997-2004), men det er stor variasjon i datamaterialet (merk at begge aksene i figur 4.6b er logaritmiske). Daglige målinger fra NVE har vist at partikkeltransporten i Numedalslågen varierer markert og at mer enn 90 % av partikkeltransporten i et kalenderår skjer i løpet av et par dager i forbindelse med flomepisoder. Det er følgelig viktig å se på flomepisodene for å

beregne partikkeltransport fra elv til kystvann. Flomepisoder i vinterhalvåret, når jorda generelt ligger brakk, gir stor og muligens en annen type partikkeltransport til kysten med innvirkning på bunnvegetasjonen i influensområdet, enn tilførsler via normal vårflom.

Analyseresultatene fra Numedalslågen viser også at det blir store forskjeller ved å bruke ulike beregningsmetoder for stofftransport. I figur 4.7a neden vises resultatet av tre beregningsmetoder: linear interpolasjon (linear interpolation), RID-metoden (ratio estimator) og slamføringskurve (rating curve), basert på data fra RID-målingene (1 gang per måned). Dette sammenlignes med tilførsler fra NVEs sine daglige målinger. Ved siden av en generell underestimering er det verdt å merke seg store forskjeller mellom forskjellige metoder enkelte år. Figur 4.7b viser at RID-målingene en gang per måned mister mange av konsentrasjonstoppene. Det bør også noteres at døgndata kun er tilgjenglig under de is-frie delene av året.

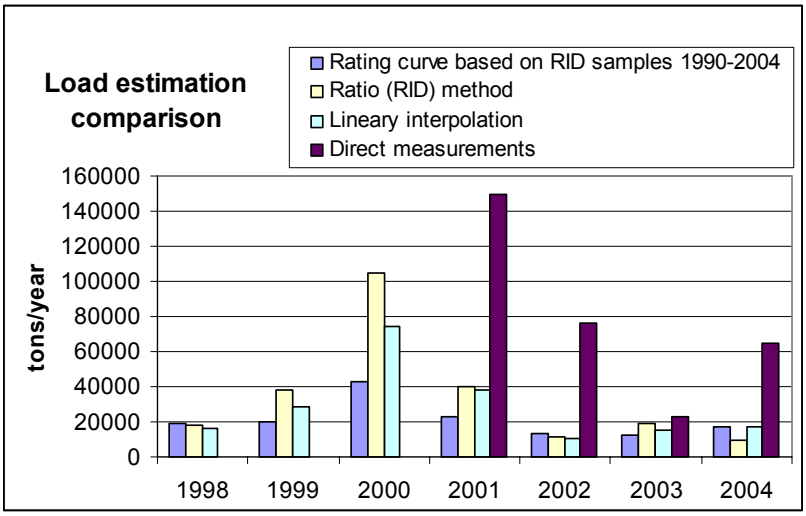


Figur 4.6a. Vannføring (m^3/s) målt i Numedalslågen i 2005.

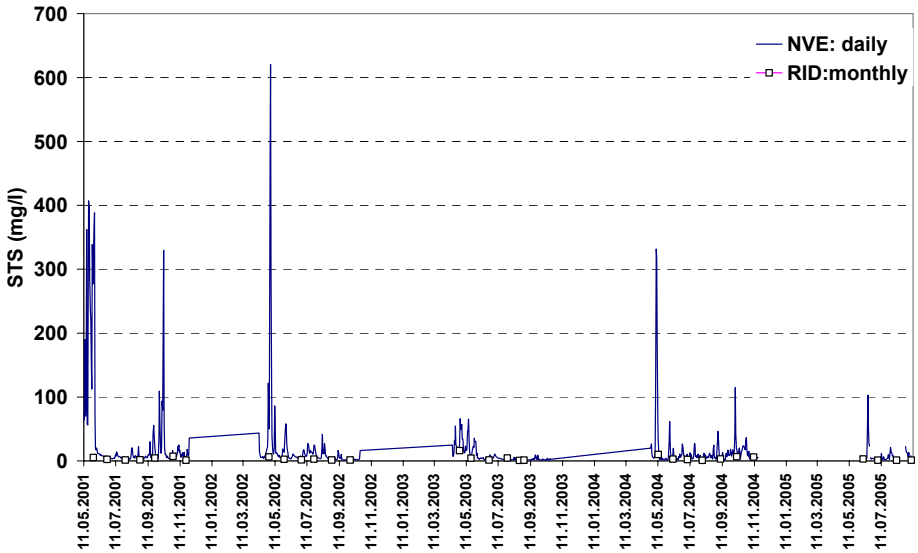


Figur 4.6b. Slamføringskurver for periodene 1990-2004 (venstre) og 1997-2004 (høyre) i Numedalslågen. Kurvene viser log-log forholdet av transport av suspendert materiale i g/s (y-akse) og vannføring i m^3/s (x-akse). Slamføringskurver er en vanlig måte å beregne transport av suspendert materiale innen fagfeltet fluvialgeomorfologi, bl.a. er det en mye brukt beregningsmåte hos USGS.

Numedalslågen er en spesiell elv ettersom den har relativt grovt suspensjonsmateriale samt få innsjøer som virker som sedimentasjonsbassenger. Det er derfor vanskelig å vurdere om resultatene fra Numedalslågen kan overføres til andre vassdrag i Skagerrak regionen. Det ville være interessant å se hvilke utslag ulike utregningsmetodikker vil gi i for eksempel Glomma, Otra og Skiensvassdraget. Disse beregningene kunne evt. også brukes til å vurdere nye trender for totaltransport av bl.a. fosfor og sediment, og ville helt klart være en viktig bidragsyter til forbedrede transporttall.



Figur 4.7a. Årlige transporttall av suspendert materiale i Numedalslågen for årene 1998-2004 regnet ut med 3 ulike metoder og tilførsler med direkte målinger (på døgnbasis I 2001-2004).
Blå søyle. Metode 1, slamføringskurven eller "ratio method" RID-tall fra 1990-2004.
Gul søyle: RID-metoden, som rapportert til OSPAR.
Lys grønn søyle: lineær interpolasjon basert på RID-tall.
Lilla søyle: NVEs tall fra automatisk prøvetaker som tok døgnlige prøver i 2001-2004

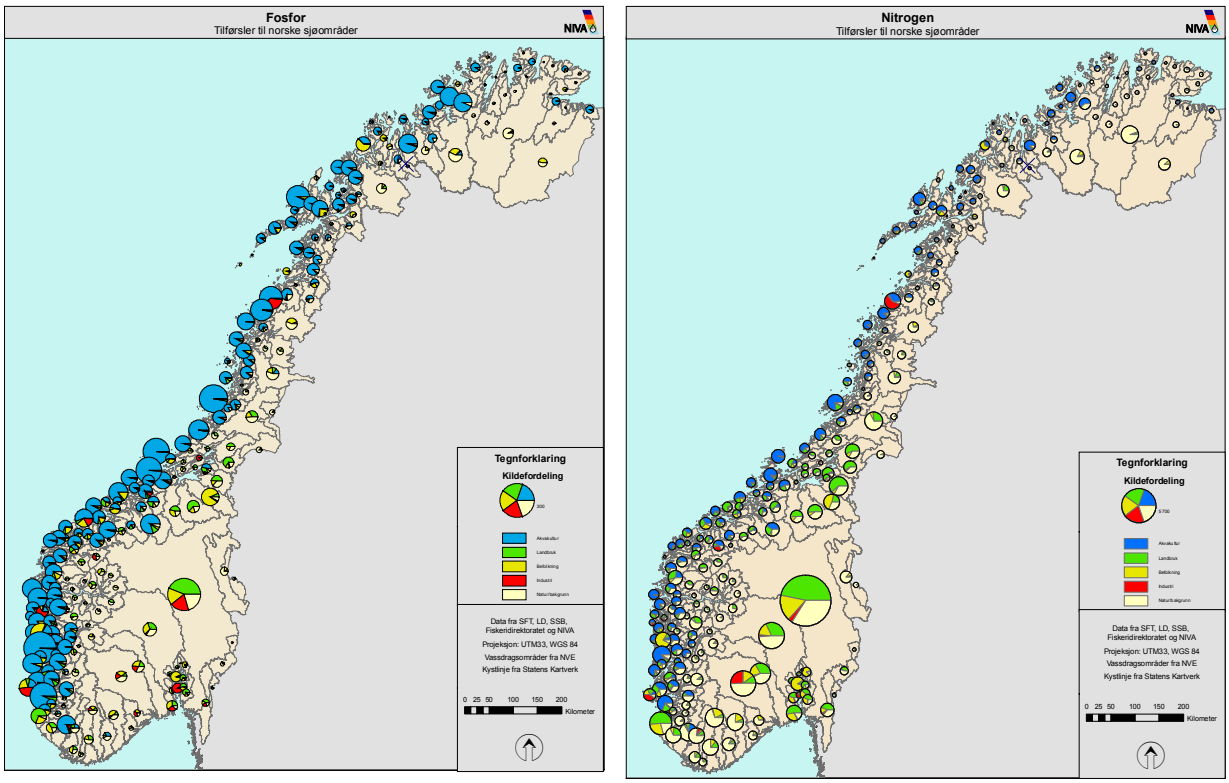


Figur 4.7b. Konsentrasjoner av partikler (suspendert tørrstoff - STS) i Numedalslågen målt daglig av NVE (linje) og månedlig av RID-programmet (firkanter).

Tilførsler til vestlandskysten (Lindesnes til Stad)

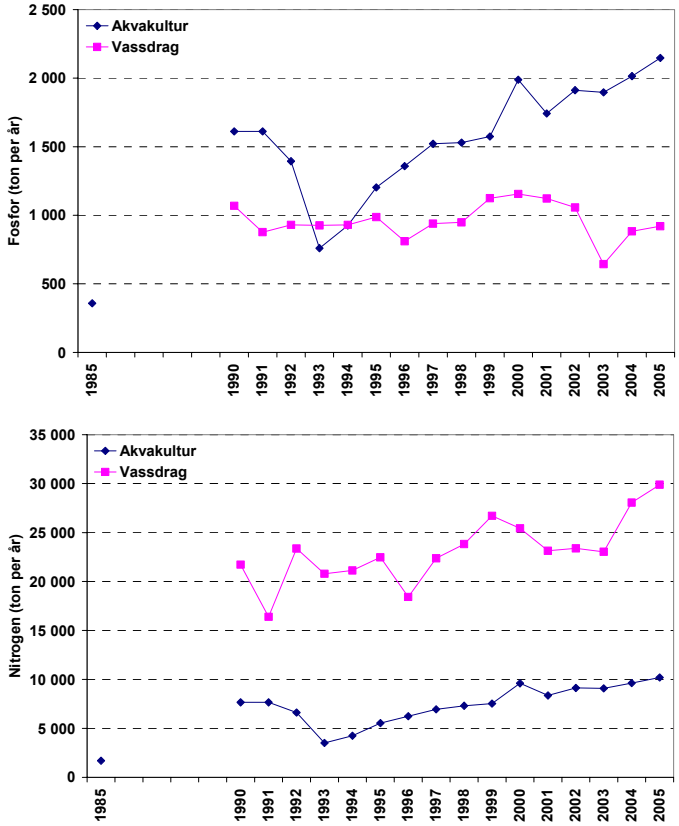
Det er usikkerhet knyttet til tilførsler via vassdragene på denne kystrekninga (fra Lindesnes til Stad[2]), da det kun er målt med tilstrekkelig hyppighet i 2 elver (Orre og Suldalslågen). Det er i tillegg utført målinger en gang per år i andre vassdrag på denne kyststrekningen. Basert på disse meget usikre beregningene viser både nitrogen- og fosfortilførselen fra vassdrag en økende trend. Dette må dog ikke overtolkes. Tallene representerer kun ett grov overslag over nivået i vassdragstilførselen. Det bør også bemerkes at bedre vannføringsdata etter 2004 og endret prøvetakingstrategi, påvirker analyseresultatet.

Beregninger av tilførsler fra Teotil-programmet (Selvik et al. 2007) viser at det er andre kilder enn vassdragstransport som dominerer mht. tilførsler av fosfor (Figur 4.8). Til Vestlands-kysten (Lindesnes til Stad) er akvakultur den klart største kilden. Beregningene viser også at utslipp fra akvakultur har økt betydelig (Figur 4.9).



Figur 4.8 Den relative størrelsen av de forskjellige fosfor og nitrogen kildene pr. vassdragsområde i 2005 (Akvakultur=blå, Landbruk=grønn, Befolkning=brun, Industri=rød, Naturlig bakgrunn=lys gul). Kilde: Selvik et al. (2006)

[2] Stad representerer grensen mellom Nordsjøen og Norskehavet.



Figur 4.9. Tilførsler av fosfor (øvre panel) og nitrogen (nedre panel) fra vassdrag og akvakultur til området fra Lindesnes til Stad fra 1990 til 2005. Kilde: Borgvang et al. (2007) og Selvik et al. (2006).

4.2 Tilførsler av TOC til Skagerrak og Vestlandskysten

Øyvind Kaste (NIVA)

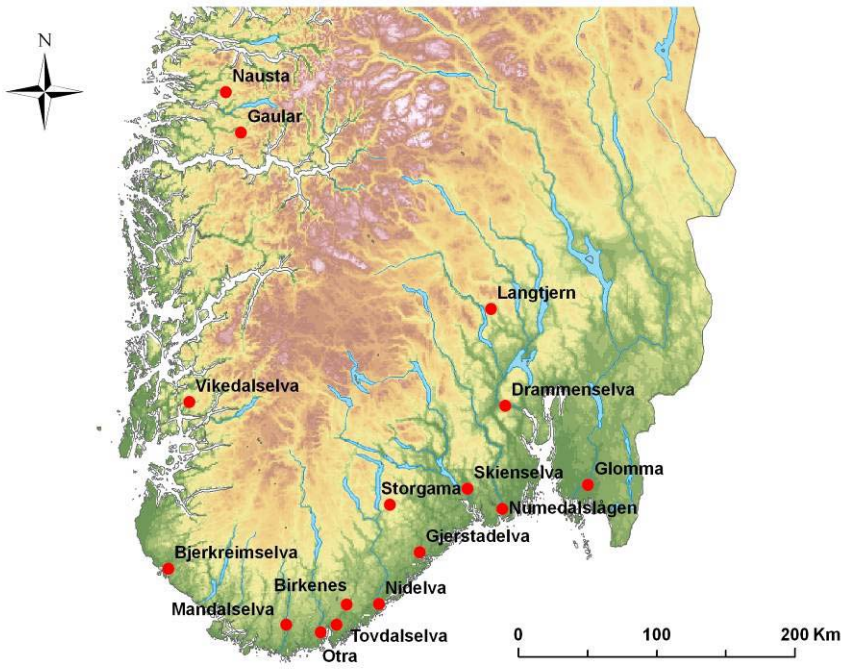
I dette kapittelet er det fokusert på transport av totalt organisk karbon (TOC) fra overvåkingslokaliteter (bekker og elver) langs Skagerrakkysten og deler av Vestlandet for å belyse om det har vært endringer i tilførsler av organisk materiale til kystvannet som kan settes i sammenheng med økt nedslamming og økt mengde organisk stoff i kystvannet. Vi vet imidlertid lite om hvordan karbonet fra elvetilførsler oppfører seg i sjøvannet, dvs. hvor fort det går inn i næringskjeder og/eller sedimenterer. Men målet med analysen har vært å se om TOC-transporten har endret seg over tid og om det har vært en endring i sesongfordelingen. Det er også testet om de samme trendene gjør seg gjeldende på liten (< 5 km^2) og stor skala (fra mindre bekker til store elver), samt at det er testet for trender i total (summert) TOC-transport i overvåkingselvene som munner ut i Skagerrak.

Data og metode

Data fra et utvalg overvåkingslokaliteter er samlet og aggregert til årlig transport (fluks) av TOC og vann, samt volumveide middelkonsentrasjoner av TOC (Figur 4.10; Tabell 4.2). I tillegg til årlige verdier, er dataene også delt opp i sesonger. I tolkningen av analysene er det valgt å legge hovedfokus på transport framfor konsentrasjoner av TOC i vannet, i og med at førstnevnte er antatt å gi et bedre mål på den totale belastningen på de marine systemene. Datagrunnlaget for beregning av TOC-flukser er best for små bekker og mellomstore elver som er inkludert i sur nedbør overvåkingen (heretter kalt SNO-stasjoner). Dette gjelder både frekvens av målinger og lengde av tidsseriene. De store elvene inkludert i elvetilførselsprogrammet RID (heretter kalt RID-elvene) har relativt korte måleserier av TOC, og

prøvetakingsfrekvensen er gjennomgående lavere (Tabell 4.2). Dette gjør fluksberegningene for disse stasjonene forholdsvis usikre. Til sammen dekker vassdragene i analysen 86 % av det totale tilrenningsområdet til Skagerrak (98699 km^2, fra Svenskegrensen til Lindesnes, Holtan m.fl. 1998).

Standard statistiske metoder (Mann-Kendall test) er benyttet for trendanalyse. Testene er utført på årsmiddel-flukser, både basert på hele år og på sesonger.



Figur 4.10. Lokalisering av benyttede bekke- og elvestasjoner som er inkludert i analysen.

Tabell 4.2. Opplysninger om bekke- og elvestasjoner som er inkludert i analysen. Vannføringsdata er skalert fra nærmeste NVE-vannføringsstasjon med døgnbaserte målinger.

Vassdrag	Stasjon	Areal (km^2)	Program	Frekvens / start	Vannførings-stasjon (NVE)	Referanse
Glomma	Sarpsfoss	41918	RID	Mnd / '90-'93; '95; '99-	Solbergfoss	2)
Drammensvassdraget	Langtjern	4.8	SNO	Uke / 1986	Langtjern	1)
Drammenselva	Mjøndalen bru	17034	RID	Mnd / '92-'95; 1999-	Døvikfoss	2)
Numedalslågen	Bommestad	5577	”	Mnd / 1999-	Fosserød	”
Skienselva	Klosterfossen	10772	”	Mnd / 1992; 1999-	Ranneberg-Rørås	”
Arendalsvassdraget	Storgama	0.60	SNO	Uke / 1985	Storgama	1)
Gjerstadvassdraget	Søndeleddammen	380	”	Mnd / 1985	Gjerstad	”
Nidelva	Rykene	4035	”	Mnd / 1985	Rykene	”
Tovdalsvassdraget	Birkenes	0.41	”	Uke / 1985	Tveitdalen	”
Tovdalsvassdraget	Boen bruk	1885	”	Mnd / 1985	Utl. Flaksvatn	”
Otra	Skråstad	3738	RID	Mnd / 1992	Heisel	2)
Mandalselva	Marnardal	1531	SNO	Mnd / 1985	Kjølemo	1)
Bjerkreimselva	Tengs	685.2	”	Mnd / 1985	Gjedlakleiv	”
Vikedalselva	Låkafossen	88.6	”	Mnd / 1985	Holmen	”
Gaula	Eldalen	180	”	Mnd / 1985	Byttevatn	”
Nausta	Espeland	189	”	Mnd / 1985	Hovefoss	”

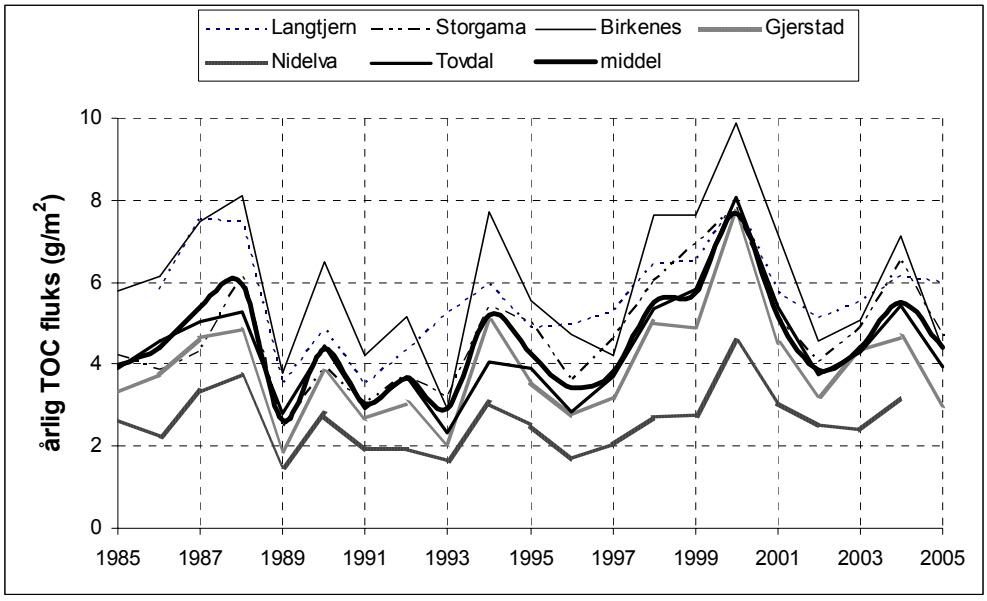
1) Skjelkvåle 2005. 2) Borgvang m.fl. 2006

Resultater

Beregninger av årlig TOC-transport

TOC-transporten (fluksen) i bekker og elver er oppgitt på arealbasis (g C m^{-2} $år^{-1}$) for å kunne sammenligne tall fra de ulike vassdragene, uavhengig av størrelse. Den årlige TOC-transporten på SNO-stasjonene varierte mellom ca 2 og 10 g C m^{-2} (Figur 4.11). De små nedbørfeltene (Birkenes, Storgama og Langtjern) hadde stort sett den største eksporten av C, mens Nidelva lå lavest i alle år. Denne forskjellen har trolig sammenheng med lengre oppholdstid i vannfasen i Nidelva, og dermed større potensial for nedbrytning og utfelling (sedimentasjon). Spesielt dersom vassdraget inneholder større innsjøer med lang oppholdstid, kan fotooksidasjon være en betydelig tapsfaktor for organisk materiale. En annen faktor som kan føre til lavere TOC-eksport per arealenhet i større vassdrag er at bidraget fra skog og myr, de to største kildene til TOC, kan minske når innslaget av andre arealtyper (f.eks. fjell- og heiområder) øker.

År til år variasjonen var stor, men mønsteret var nokså lik for alle elver (Figur 4.11). Den høyeste TOC-transporten kom i 2000 i alle vassdrag, mens både 1989 og 1993 var år med lite eksport. I RID-elvene var dataseriene mye kortere enn på SNO-stasjonene (Annex 4) og TOC-eksporten var generelt lavere enn fra SNO-feltene, antageligvis på grunn av de samme faktorene som er nevnt ovenfor. Som i de andre lokalitetene, skilte år 2000 seg ut med den største TOC-eksporten. På grunn av begrenset datagrunnlag i RID-elvene før 1999, er det vanskelig å identifisere eventuelle synkrone mønstre med SNO-stasjonene i denne perioden. Etter 2000 ser det imidlertid ut til at mønstrene er nokså like i alle elvene.

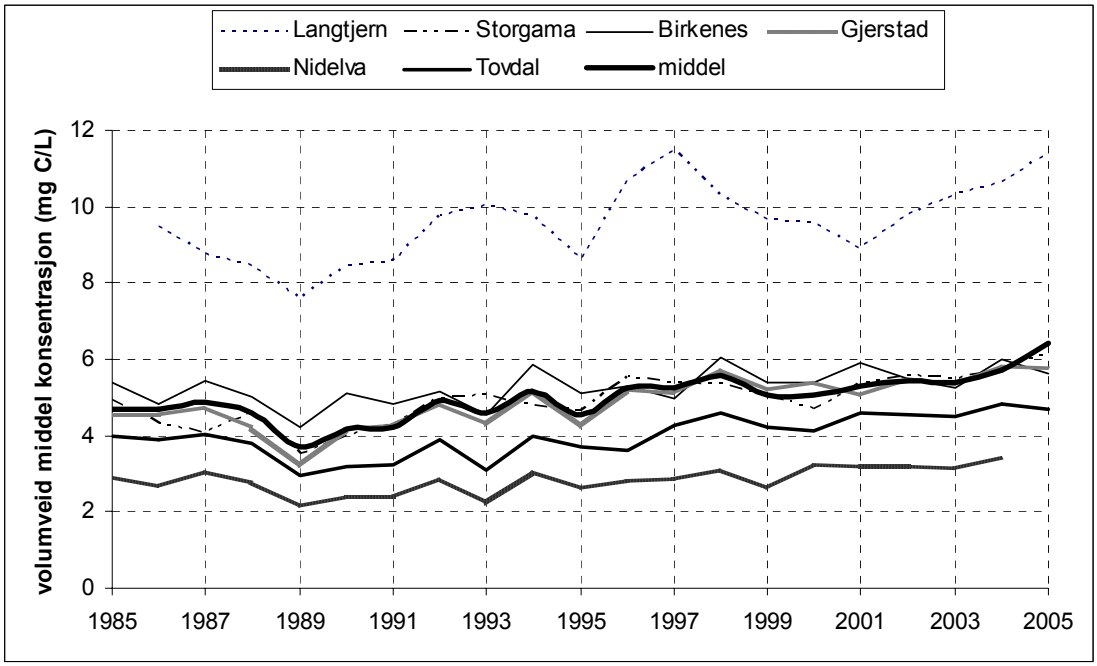


Figur 4.11. Årlig TOC-fluks fra SNO-feltene. Årlig middelverdi for alle lokalitetene samlet er også vist.

Det er relativt stor variasjon i spesifikk avrenning mellom de ulike SNO-feltene, men også betydelig år til år variasjon innenfor hver enkelt stasjon (Annex 4). Avrenningen viser i stor grad en øst/vest-gradient, med Langtjern som det østligste og tørreste feltet. Alle nedbørfeltene hadde høyest vannføring i 2000. Samvariasjonen mellom vannføring og TOC-fluks indikerer at mye av variasjonen i TOC-fluks er bestemt av årlig nedbør. RID-elvene viste også en tydelig øst/vest-gradient med hensyn til spesifikk avrenning. Årlig avrenningsmønster viste store likhetstrekk med SNO-stasjonene, med unntak av noen år

(1993, 1994 og 2003). Numedalslågen hadde nokså lik vannføring som SNO-elvene i alle år, på grunn av den geografiske nærheten.

Ved å dividere årlig eksport av TOC på årlig avrenning kan en beregne en volumveid middel-konsentrasjon for hver enkelt lokalitet (Figur 4.12). Langtjern hadde langt høyere middelkonsentrasjoner enn de andre nedbørfeltene, noe som sannsynligvis skyldes den store andelen av myr i nedbørfeltet kombinert med relativt lite nedbør. Den volumveide TOC-konsentrasjonen viste mye mindre variasjon enn vannføring og TOC-eksport i de undersøkte bekkene og elvene. Fra 1985 til ca 1990 var den nokså konstant, men fra 1990 til 2005 var det en klar tendens til økning i alle nedbørfelt. Dette indikerer at TOC-konsentrasjonene i alle nedbørfelt ser ut til å ha økt i denne perioden. Basert på det begrensede datamaterialet fra RID-elvene er det vanskelig å se en tilsvarende trend (Annex 4). Siden 2000 ser de fleste av elvene ut til å ha stabile eller nedadgående konsentrasjoner av TOC. Årsaken til denne tilsynelatende forskjellen mellom SNO- og RID-elvene er ikke klar, men kan muligens ha sammenheng med ulik arealfordeling, større innsjømagasiner, samt større påvirkning fra menneskeskapte kilder i RID-elvene.



Figur 4.12. Volumveid middelkonsentrasjon (mg C/L) av TOC på SNO-stasjonene. Størrelsen beregnes ved å dividere den arealbaserte fluksen (g C/m^2) med årlig avrenning (i mm) fra feltene. Årlig middelverdi for alle lokalitetene samlet er også vist.

Statistisk analyse

En statistisk analyse av årlig TOC-fluks ble foretatt på dataene fra sur nedbør overvåkingen. Det minste antall år som kreves for en pålitelig trendanalyse er 10, og det var derfor ingen av RID-elvene som var hadde tilstrekkelig lange dataserier. Trendanalysen for årlig TOC-fluks i perioden 1985-2005 viser at det er kun et lite nedbørfelt med signifikant økning (Storgama). Betraktes perioden 1990-2005 er det to små nedbørfelter med økning (Langtjern, Storgama) og ett større vassdrag (Tovdalselva). Kun Nausta (på Vestlandet) viser signifikant nedgang i TOC-fluks.

Det har ikke vært signifikante vannføringsendringer i noen av vassdragene i løpet av de aktuelle periodene, og dette indikerer at trendene i TOC-fluks ikke er blitt styrt av vannføring.

Konklusjonen fra de statistiske testene er dermed at konsentrasjonen av TOC har økt men at hydrologien likevel er viktigere for år til år variasjonen i TOC-eksport enn konsentrasjonen i vannet. Derfor var det kun et fåtall av stasjonene som viste en signifikant økning i TOC-eksport.

Det ble også gjennomført en Seasonal Mann-Kenndal test (SMK) for å undersøke om det har vært signifikante endringer i TOC-fluks innenfor enkelte sesonger (vinter: des-feb, osv.). Resultatet av denne testen var at Storgama viste en økning i TOC-fluks om høsten og vinteren, mens Mandalselva viste en økende trend om vinteren (Annex 4). Bortsett fra dette, var det ingen signifikante trender i TOC-fluks. Dersom en betrakter volumveide konsentrasjoner av TOC, var det flere av feltene som viste økende trender på sesongnivå.

For å vurdere eventuelle endringer i den totale TOC-transporten til Skagerrak ble tallene for hvert enkelt vassdrag i tabell 4.3 summert og undersøkt for trend. Den totale TOC-transporten med elvene viser, så langt dataene strekker til, ingen signifikant endring over tid. De lengste komplette dataseriene finnes for elvene lengst vest, men heller ikke her ble det påvist noen signifikant trend i TOC-transporten. Det som kommer tydeligst frem, er at flommen i 2000 førte til nesten en dobling av den vanlige TOC-transporten i vassdragene.

Tabell 4.3. Resultat av Mann-Kendall test på TOC-fluks, vannføringsveid TOC-konsentrasjon og vannføring for periodene 1985-2005 og 1990-2005. Signifikansnivå: *, $p<0.10$; **, $p<0.05$; ***, $p<0.01$; n.d.= ikke signifikant. Alle trender var økende, bortsett fra tilfeller indikert med (-).

	1985-2005			1990-2005		
	TOC-fluks	TOC-kons	Vannføring	TOC-fluks	TOC-kons	Vannføring
Langtjern	n.d.	***	n.d.	***	**	n.d.
Storgama	**	***	n.d.	**	***	n.d.
Birkenes	n.d.	**	n.d.	n.d.	**	n.d.
Gjerstad	n.d.	***	n.d.	n.d.	***	n.d.
Nidelva	n.d.	**	n.d.	n.d.	***	n.d.
Tovdal	n.d.	***	n.d.	*	***	n.d.
Mandal	n.d.	**	n.d.	n.d.	***	n.d.
Bjerkreim	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	***	n.d.
Vikedal	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Gaular	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nausta	** (-)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Oppsummering

De statistiske analysene viser at konsentrasjonen av TOC har økt på nær alle lokalitetene som er inkludert i sur nedbør overvåkingen (SNO). Store år til år variasjoner i vannføring fører imidlertid til at kun én av de større elvene (Tovdalelva) viser en signifikant økning i TOC-transport siden 1990. Elvene som er inkludert i Elvetilførselsprogrammet (RID) har kortere dataserier for TOC, og ble ikke inkludert i denne delen av analysen. De undersøkte SNO- og RID-elvene dekker til sammen 86 % av det totale tilrenningsområdet til Skagerrak. Den totale TOC-transporten med disse elvene viser, så langt dataene strekker til, ingen signifikant endring siden 1990. Det er heller ingen tegn på at fordelingen av TOC-transport over året har endret seg vesentlig på de undersøkte overvåkingslokalitetene.

Selv om det påvises få signifikante endringer i TOC-transporten over tid, kan det være relativt store år til år variasjoner. Det som kommer tydeligst frem i dette datamaterialet, er flommen i

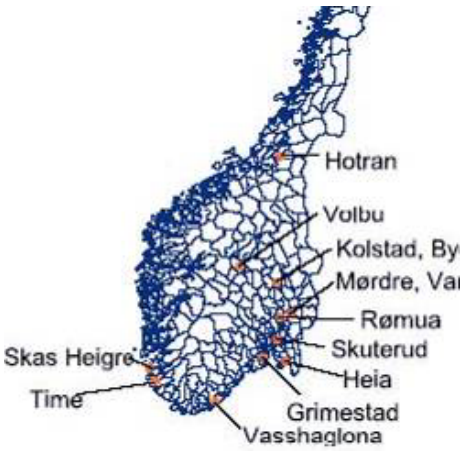
2000 som førte til nesten en dobling av den vanlige TOC-transporten i vassdragene. Et annet forhold som bør vektlegges i denne sammenhengen er at standard overvåkingsprogrammer ofte har en relativt lav prøvetakingsfrekvens (gjerne månedlig), og at en dermed kan gå glipp av kortvarige, men intense avrenningsepisoder som kan gi stor belastning på marine resipienter. Analysene ovenfor er dermed ikke i stand til å besvare om det eventuelt kan ha vært en økning i frekvensen av slike episoder de siste 15-20 årene.

4.3 Tilførsler fra jordbruksbekker

Johannes Deelstra (Bioforsk)

Innledning

Tap av næringsstoffer og suspendert stoff fra jordbruksbekker har variert med tid og region. Her gis et kort sammendrag av resultater fra utvalgte bekker fra overvåkingsprogrammet for jordbruksbekker (JOVA), mens mer utførlig resultatpresentasjon er gitt i annex 4.3. Bekker som rapporteres er vist i Figur 4.13.



Opplysninger om JOVA-feltene

Navn	Totalt areal (daa)	Dyrket areal (%)	Produksjon	Region
Kolstadbekken	3080	68	Korn	øst
Mørdrebekken	6800	65	Korn	øst
Rømua *	87100	41	Korn	øst
Skuterudbekken	4489	61	Korn	øst
Grimestadbkn *	1769	45	Korn	øst
Vasshaglona *	650	60	Grønnsaker	sør
Timebekken	1140	85	Gras	vest
Skas-Heigre *	28300	84	Gras	vest

* = hovedresultat presentert her, full rapport i Annex.

Figur 4.13 Lokalisering og opplysninger om overvåkingsfeltene

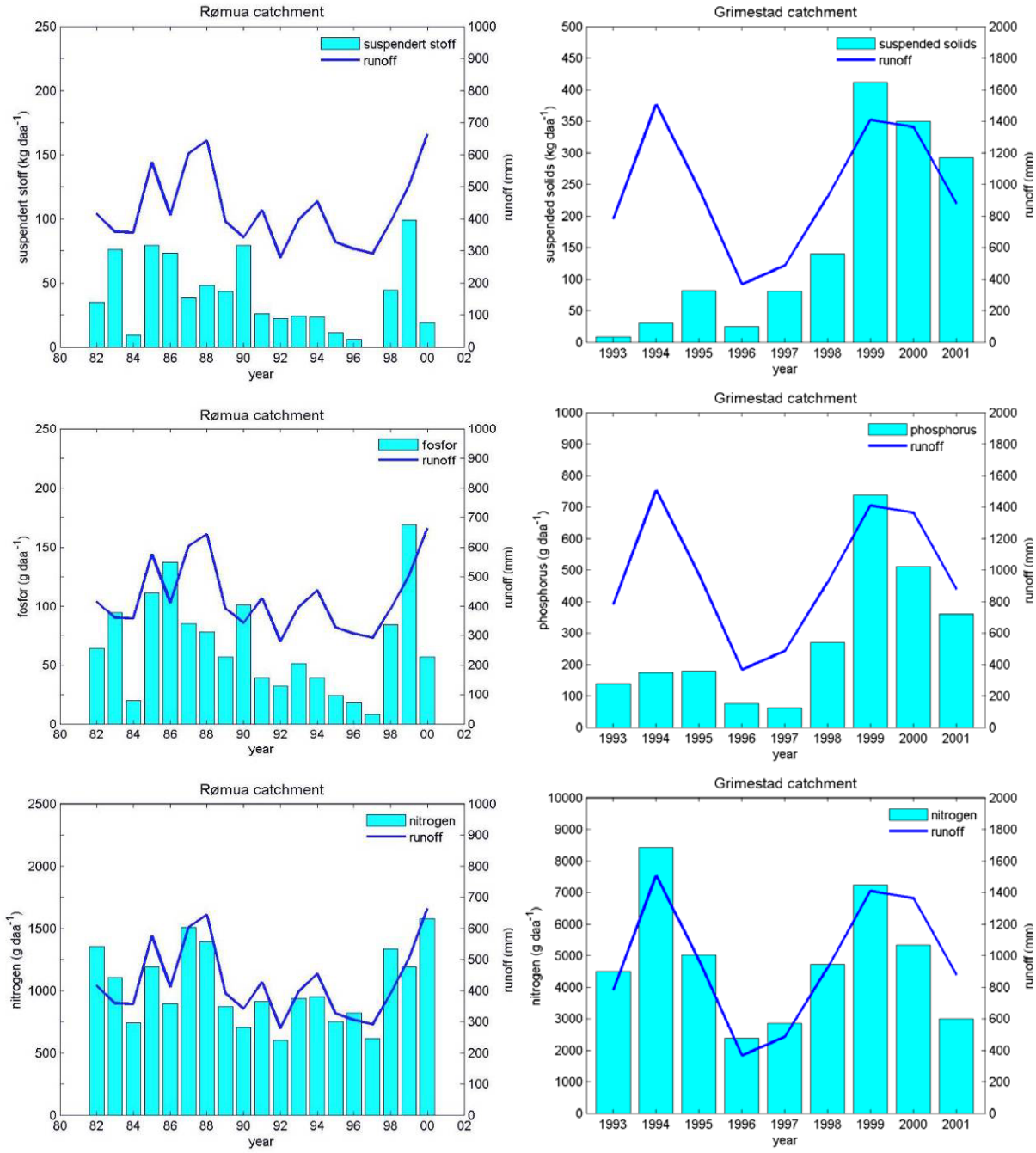
Resultater

Resultater fra 4 utvalgte felt er vist her:

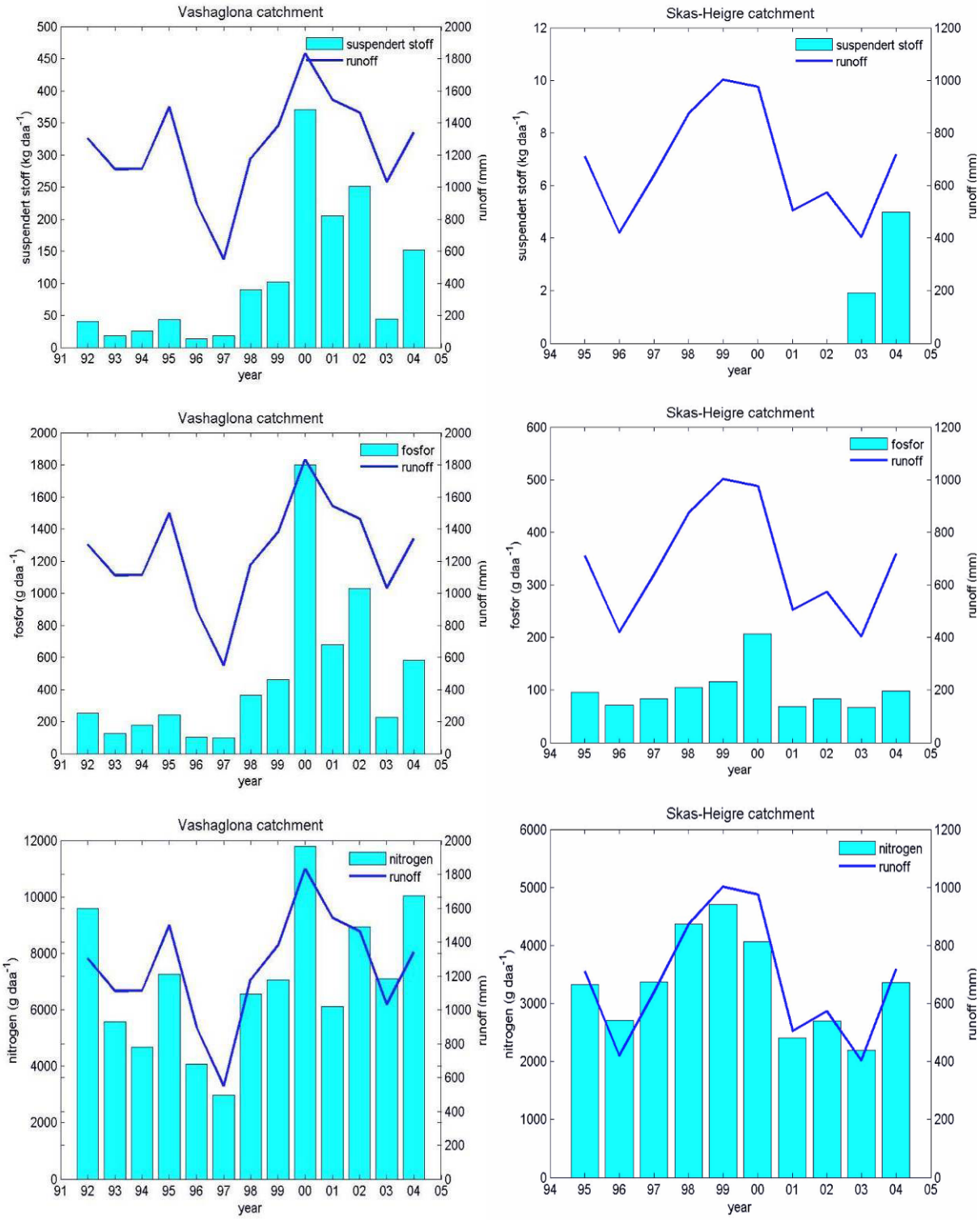
- Rømua-feltet i Østregionen, Akershus, hvor vi har en langtidsmåleserie fra perioden 1982 -2001. Det dyrkes vesentlig korn og jordsmonnet på de dyrkede områder er dominert av leir-jord. (Se flere detaljer i annex 4.3).
- Grimestad feltet også i Østregionen (Vestfold) og er dominert av kornproduksjon på sandjord, men feltet ligger i et område med kystklima med vekslende kulde- og mildværs-perioder (fryse-tineepisoder, jfr. kap 2). Overvåkingsperioden er fra 1993 – 2001.
- Vasshaglona feltet ligger i Grimstad kommune, Aust-Agder og representerer Sørregionen. Feltet ligger i et område med marine avsetninger, mildt kystklima og mye nedbør. Det dyrkes grønnsaker med forholdsvis kraftig gjødsling i for det aller meste moldholdig sandjord. Overvåkingsperioden er fra 1992 – 2004.
- Skas-Heigre feltet ligger syd for Sola flyplass Rogaland og representerer Sør-Vestregionen. Det dyrkes vesentlig gras på marin leirjord med sand og grus. Klimaet er mildt og fuktig og vekstsesongen lang. Overvåkingsperioden er fra 1995 – 2004.

Resultatene er vist i figur 4.14 og 4.15 og framstiller tap av suspendert stoff, fosfor og nitrogen sammen med målt vannføring. Overvåkingen viser at for alle felt varierer tapet av nitrogen med vannføringen i bekkene. Høy vannføring ble målt i 1994-95 og 1999-2000 (året for maksimum vannføring varierer i de ulike feltene). Tap av fosfor og suspendert stoff

samvarierer i alle bekkene og viser ingen økning med flomtoppen i 1994-95. Akershusfeltet viser en svak nedgang i perioden 1986-1997. Derimot viser målingene en betydelig økning i tap av fosfor og suspendert stoff fra 1996 til flomtoppen i 1999-2000. Økningen i denne siste perioden er spesielt kraftig i Vestfold og Aust-Agder (ca. 8-10 ganger) og indikerer at Sørlandskysten kan ha blitt tilført uvanlig store mengder fosfor og partikler rundt 1999-2000.



Figur 4.14 Vannføring og tap av næringsstoffer og suspendert stoff i Rømuafeltet, Akershus (venstre panel) og i Grimestadfeltet, Vestfold (høyre panel).



Figur 4.15 Vannføring og tap av næringsstoffer og suspendert stoff i Vasshaglona, Aust-Agder (venstre panel) og i Skas-Heigre feltet, Rogaland (høyre panel).

Resultatet fra alle feltene er behørig rapportert i annex 4.3.

4.4 Tilførsler fra ikke-norske elver

Per Stålnacke (Bioforsk)

Formål

Til havområdene og kysten av Norge er det tre hovedtyper av tilførselskilder for næringsstoffer:

- Lokale norske kilder (elvetilførsler og direkteutslipp)
- Langtransportert forurensning med havstrømmene (elvetilførsler og direkteutslipp).
- Atmosfærisk nedfall på havoverflaten

Formålet med denne delstudien var å gi en kvantitativ vurdering av alle elvetilførsler fra ikke-norske vassdrag til Skagerrak og det nord-østlige Atlanterhav (Nordsjøen og Kattegat). Disse tilførsler er sammenlignet med de norske tilførslene til Nordsjøen, inkludert Skagerrak. Dataene er også blitt brukt i delstudien om havsirkulering (se kapittel 8).

Atmosfærisk nedfall på havoverflaten i Nordsjøen er ikke estimert.

Data

Tilførselsdata fra OSPAR ble samlet inn (OSPAR, 2005). Disse data er de som offisielt rapporteres inn av alle nordsjøstater hvert år siden 1990, innenfor rammen av det såkalte RID-programmet (Comprehensive Study on Riverine Inputs and Direct Discharges). Med direkteutslipp menes tilførsler via renseanlegg, industri og akvakultur direkte til havet.

I tillegg ble tidsseriedata for enkeltvassdrag på månedlig eller årlig oppløsning samlet inn for følgende vassdrag/områder:

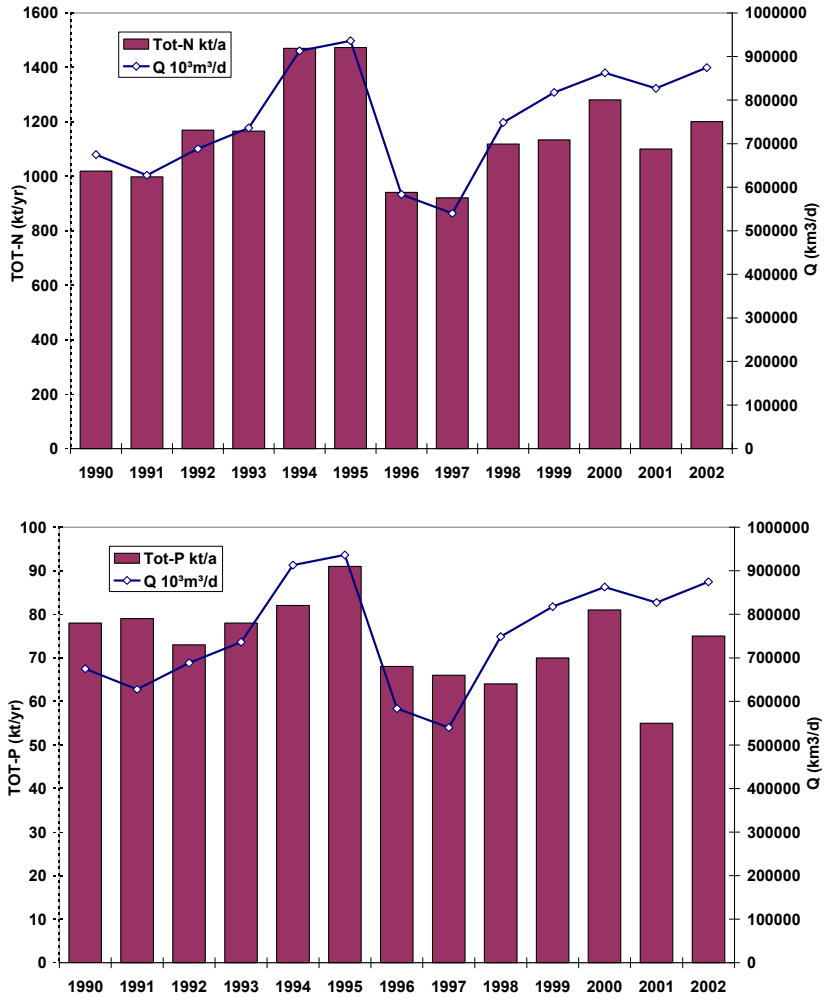
- Svenske vestkysten (de 5 største vassdragene: Nissan, Lagan, Ätran, Viskan og Göta älv)
- Danmark fordelt på 5 havområder
- Tyske vassdrag: Ems, Weser og Elben
- Vassdrag i Nederland: Rhinen, Haringvl., Maassluis, Nordzeekanaal, Lake IJssel
- Vassdrag i Storbritannia: Tweed, Wash, Forth, Tyne, Tees, Humber, Thames
- Vassdraget Scheldt i Belgia

Resultater

Totale tilførsler til Nordsjøen

Som gjennomsnitt tilføres Nordsjøen i overkant av 1,1 millioner tonn nitrogen og omtrent 75,000 tonn fosfor per år (Figur 4.16). Disse tallene er basert på tilførsler fra alle land som drenerer til Nordsjøen, inkludert Norge. Det er stor variasjon mellom årene, noe som først og fremst er knyttet til variasjoner i vannføring (Figur 4.16). Spesielt store nitrogentilførsler er notert i årene 1994 og 1995 i forbindelse med storflommer i elvene på kontinentet. I disse to årene var nitrogentilførselen mer enn 25 % over normalverdiene. I år 2000 var også nitrogentilførselen høyere enn normalt. De laveste nitrogentilførslene er notert i 1996 og 1997 med tilførsler ca 20 % under langtidsmiddel. Lav vannføring er forklaringen på disse lave tilførslene av nitrogen. Fosforutslippene oppviser omtrent samme trend og variasjon mellom årene som nitrogen; med høye tilførsler i 1994, 1995 og 2000. I perioden 1996-2002 var tilførslene generelt sett lavere enn i perioden 1990-1995.

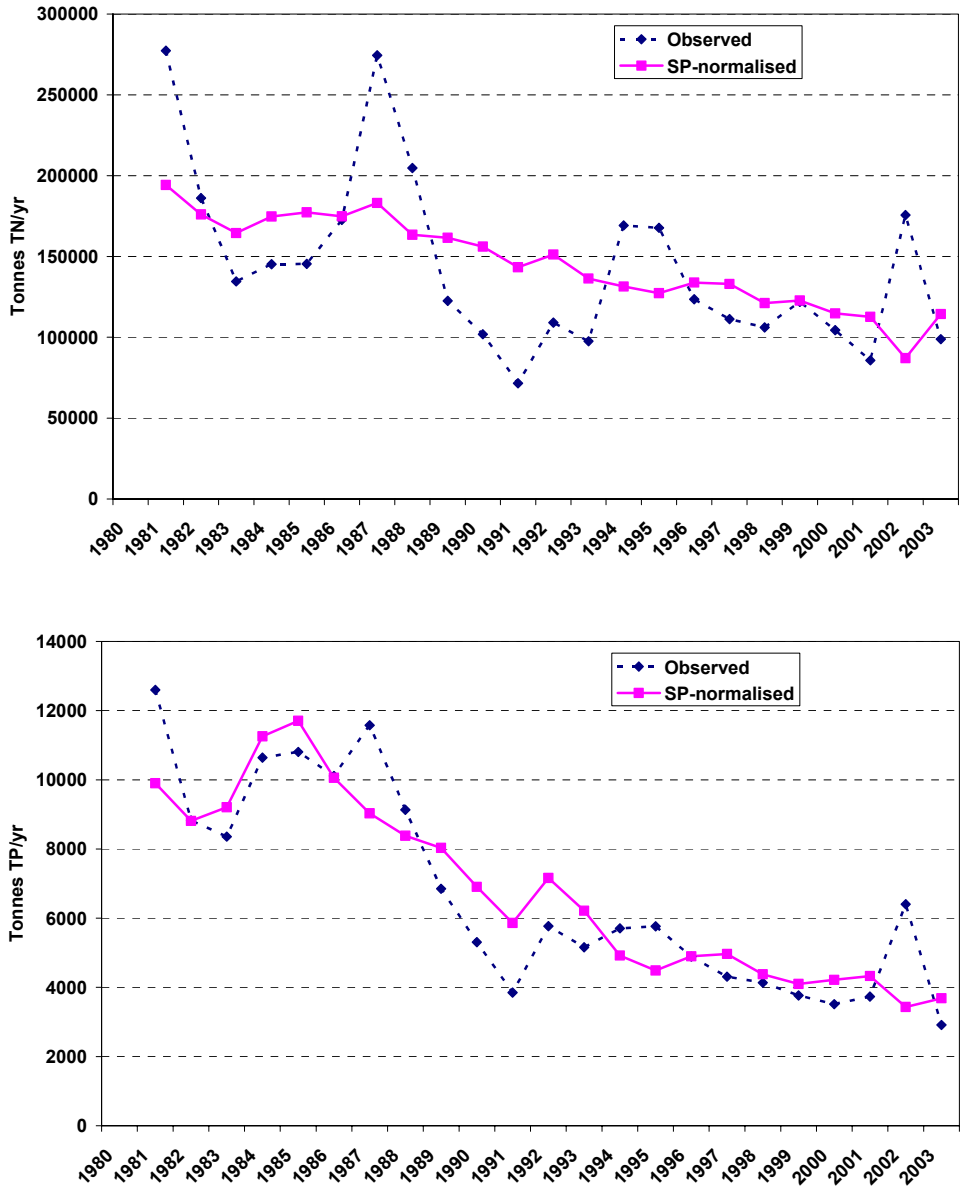
Noen ensartet langtidstrend kan ikke noteres i datamaterialet, mer enn at både nitrogen- og fosfortilførselen i perioden 1998-2002 er lavere enn det som kunne forventes i forhold til vannføringen disse årene (Figur 4.16).



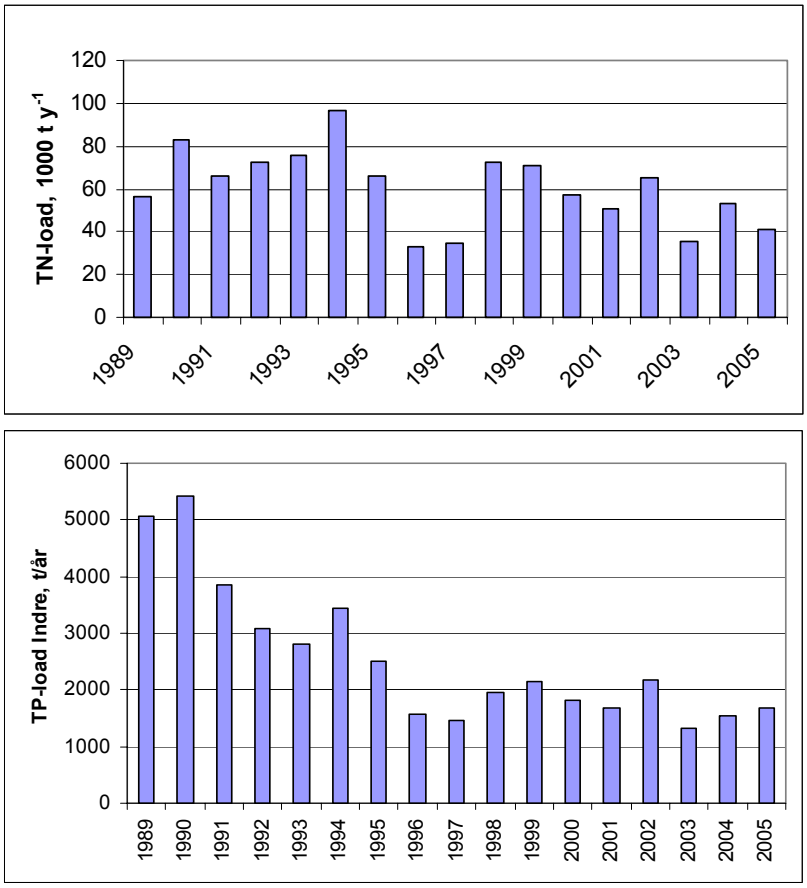
Figur 4.16. Årlig tilførsel av nitrogen og fosfor til Nordsjøen via vassdrag og direkteutslipp. Kilde: OSPAR (2005).

Imidlertid kan nedganger i tilførsler i enkelte kystområder og fra enkelte vassdrag noteres. Spesielt stor nedgang kan noteres i Elben, særlig med hensyn til fosfor (Figur 4.17). Det er viktig å notere at denne nedgangen først og fremst skyldes reduksjoner på 80-tallet. Etter 1990 er reduksjonene atskillig mindre synlige. I den danske tilførselen samlet til Kattegat, Øresund og Bælthaven kan det imidlertid spores en nedgang gjennom 90-tallet (figur 4.18). Tilsvarende nedgang ble imidlertid ikke funnet ved en gjennomgang av elvetilførsler samlet for Tyskland og fra den danske vestkysten (RID-data; figur 4.19), som rapportert i perioden 1990-2002 (North Sea Progress Report 2002). Årsaken til dette kan være at de tyske elvene maskerer nedgangen i danske elver på 90-tallet. Data fra Rhinen viser ikke noen spesiell trend i transporterte næringsstoffmengder i perioden 1990 og utover. Dette skyldes i hovedsak en oppgang vannføring og en samtidlig nedgang i konsentrasjoner (Figur 4.20).

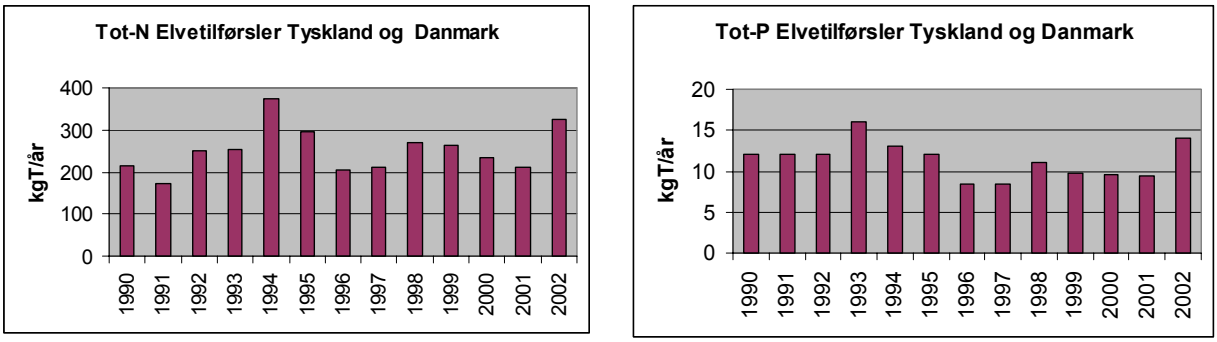
Det må for øvrig understrekes at all overvåking både av vassdragstransport og direkteutslipp er beheftet med stor usikkerhet. Noen slike usikkerheter er beskrevet i Borgvang m.fl. 2006. Usikkerheter i RID-programmene i Europa ble også diskutert under RID-INPUT møtet i SFT i januar 2007.



Figur 4.17 Øvre panel viser transport av totalnitrogen (tonn), nedre av totalfosfor (tonn), i Elbe i Tyskland, i perioden 1980 – 2003. Rosa kurve er vannføringsnormalisert, dvs. at den nedgangen som vises i transport er justert og derfor relativt uavhengig av vannføringen. Merk at målingene startet allerede på 80-tallet og at nedgangen var størst da.



Figur 4.18. Øvre panel viser en sammenstilling av transporten av totalnitrogen og totalfosfor (i tonn/år) fra Danmark samlet til Kattegat, Øresund og Bælthaven i perioden 1989 – 2005;



Figur 4.19 RID-data som viser utviklingen i total-N og total-P (i 1000 tonn/år) fra tyske og danske elver til Nordsjøen i perioden 1990-2002. Noen klar trend kunne ikke påvises.

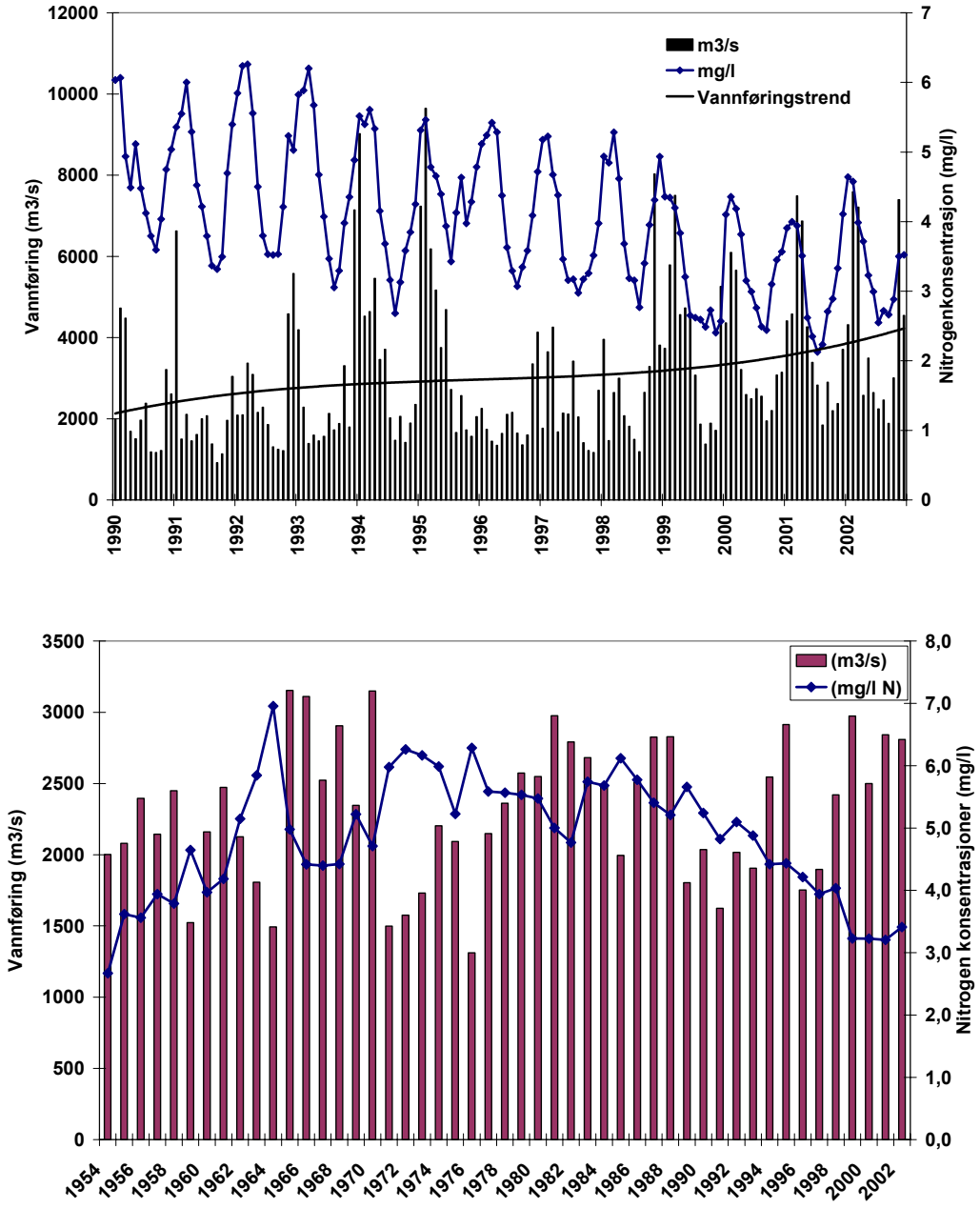
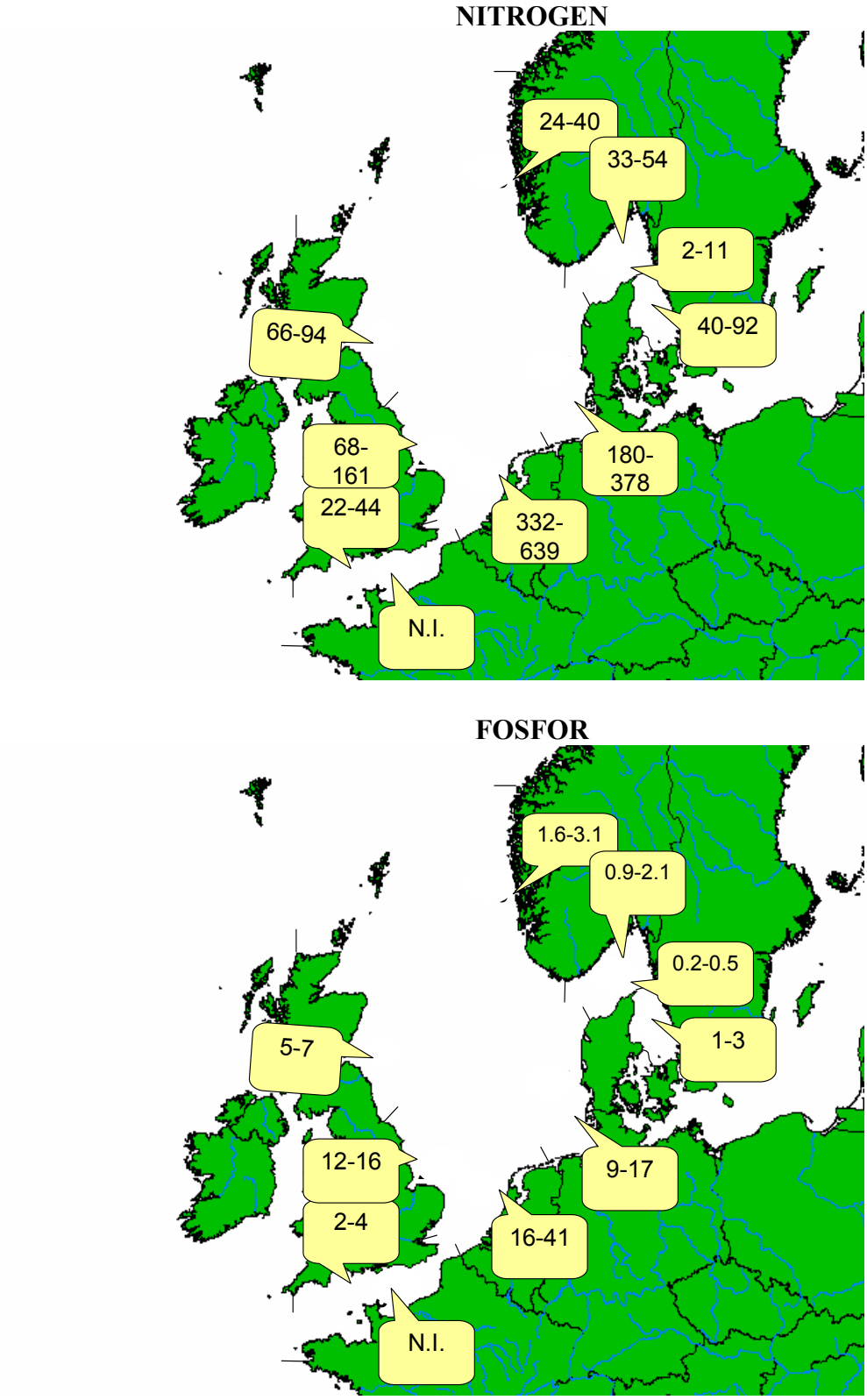


Figure 4.20. Vannføring og nitrogenkonsentrasjoner i Rhinen på månedsbasis 1990-2002 (ovre panel) og som års-gjennomsnitt 1954-2002 (nedre panel).

Hvis vi ser til enkelte kystområder ser vi at en stor del av tilførselen til nordsjøen skjer fra elver i Tyskland (fremst Elbe) og Nederland (Rinen) (Figur 4.21). I tilegg skjer normalt en nettotransport ut fra Østersjøen til Kattegat avhengig av vind og strømretning. Ifølge estimat fra Håkansson (pers. comm.) kan denne være så stor som 600 000 tonn for nitrogen. Andre beregninger viser ett nettoutfløde på rundt 150 000 tonn nitrogen (Wulff et al. 2001)



Figur 4.21. Kart over totaltilførsler (i kilotonn) av nitrogen (øvre bilde) og fosfor (nedre bilde) fra lokale kilder til forskjellige kystområder i Nordsjøen. Tallene angir total variasjonsbredde i årlig tilførsler 1990-2002.

Norge i forhold til andre land

Den norske tilførselen av næringsstoffer til Nordsjøen har som gjennomsnitt siden 1990 vært på ca. 70,000 tonn for nitrogen og ca. 4,000 tonn for fosfor (Tabell 4.4). Disse tall inkluderer også direktetilførsler til havet via punktkilder (renseanlegg, industri og akvakultur). Det bør noteres at akvakultur svarer for en vesentlig andel av den norske totale tilførselen til Nordsjøen utenom Skagerrak.

Disse tilførslene fra Norge tilsvarer henholdsvis 7 og 5 % av nitrogen- og fosfortilførsel til Nordsjøen (jf. Figur 4.21).

Tabell 4.4 Totale tilførsler av nitrogen og fosfor 1990-2004 fra Norge til Skagerrak og Nordsjøen forøvrig. Total tilførsel er summen av vassdragstransporten (overvåket og ikke-overvåket), kommunalt og industrielt direkteutslipp, og akvakultur. Kilde: Sammenstilling av SFT-rapporter (1990-2006).

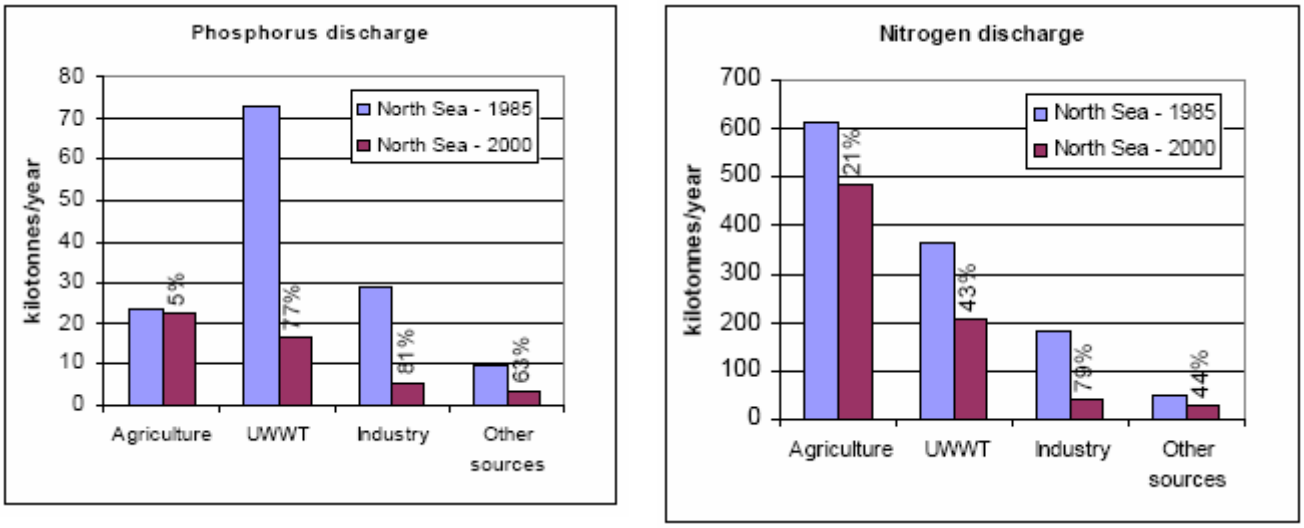
	Skagerrak				Øvrige Nordsjøen [a)]			
År	Nitrogen (t/år)	Hvorav akvakultur	Fosfor (t/år)	Hvorav akvakultur	Nitrogen (t/år)	Hvorav akvakultur	Fosfor (t/år)	Hvorav akvakultur
1990	36 722	106	1 234	22	29 376	7 651	2 681	1 612
1991	33 784	106	1 177	22	24 040	7 651	2 489	1 612
1992	35 666	157	1 127	33	29 985	6 617	2 324	1 394
1993	35 119	27	1 039	5	24 301	3 509	1 686	760
1994	40 646	24	889	4	25 373	4 244	1 855	925
1995	41 114	30	1 227	5	28 009	5 537	2 190	1 203
1996	33 902	38	853	7	24 667	6 245	2 169	1 358
1997	35 097	39	866	7	29 316	6 948	2 461	1 522
1998	40 450	49	876	9	31 126	7 309	2 478	1 529
1999	41 509	33	1 455	6	34 231	7 524	2 698	1 574
2000	53 892	48	2 035	9	35 032	9 601	3 144	1 988
2001	38 653	9	2 082	1	31 498	8 353	2 865	1 743
2002	34 301	17	1 832	3	32 515	9 130	2 968	1 912
2003	35 109	28	866	6	32 119	9 082	2 539	1 896
2004	38 543	26	866	5	37 679	9 619	2 898	2 015
2005	33 179	28	950	5	40 092	10 204	3 067	2 147

a) Lindesnes til Stad

Endringer i kildeutslipp

Det bør merkes at siden 1985 har vært stor nedgang i utslipp fra ulike kategorier av kilder (Figur 4.22).

Grunnen til at dette ennå ikke er synlig i utslippene til havet kan skyldes forsinkelser i transport (retensjonsprosesser) fra kilde til utslipp i havet. Dessuten kan lav prøvetakingsfrekvens i elveovervåkingsprogrammene gjøre at de virkelige transporterte mengdene ikke blir fanget opp og dermed ikke blir korrekt estimert.



Figur 4.22 Endringer i utslipp ved kilden i 1985 og 2000 for fosfor og nitrogen. Kilde: North Sea Progress Report 2002. UWWT er urbane renseanlegg (Urban wastewater treatment plants).

Tabeller over årlige tilførsler til forskjellige deler av Nordsjøen er vist i annex 4.4.

5. Vind og havbølger

Knut A. Iden, Bruce Hackett & Knut Harstveit (met.no)

Vindstyrke og vindretning har mye si for bølgedannelse og omrøring av vannmassene. God vannbevegelse antas å være positivt for taren, mens stormer vil kunne rive løs store mengder. Vindanalysen viser en økende grad av vinder fra sør-vest og økende frekvens av sterke vinder fra sør-vest (mer enn 6 m/s) om vinteren til alle de 4 undersøkte regioner av Sør-Norge (ytre Oslofjord, Sørlandet, Lista og Vestlandet). En analyse av stille perioder (vedvarende svake vinder) viste imidlertid ingen trend for 1960-2005, men at det har vært flere perioder med stille vær om sommeren. Spesielt på 80-tallet (1981-84) og slutten av 90-tallet (1996-2002) var det mye stille vær over hele Sør-Norge. Det er dog ingen indikasjon på at sukkertaren har vært utsatt for mindre bølgeomrøring nå sammenliknet med tidligere, bortsett fra i 1997 som skiller seg ut med mer stillestående vann i skjærgården (høyere frekvens av fralandsbølger).

- -

Metodikk

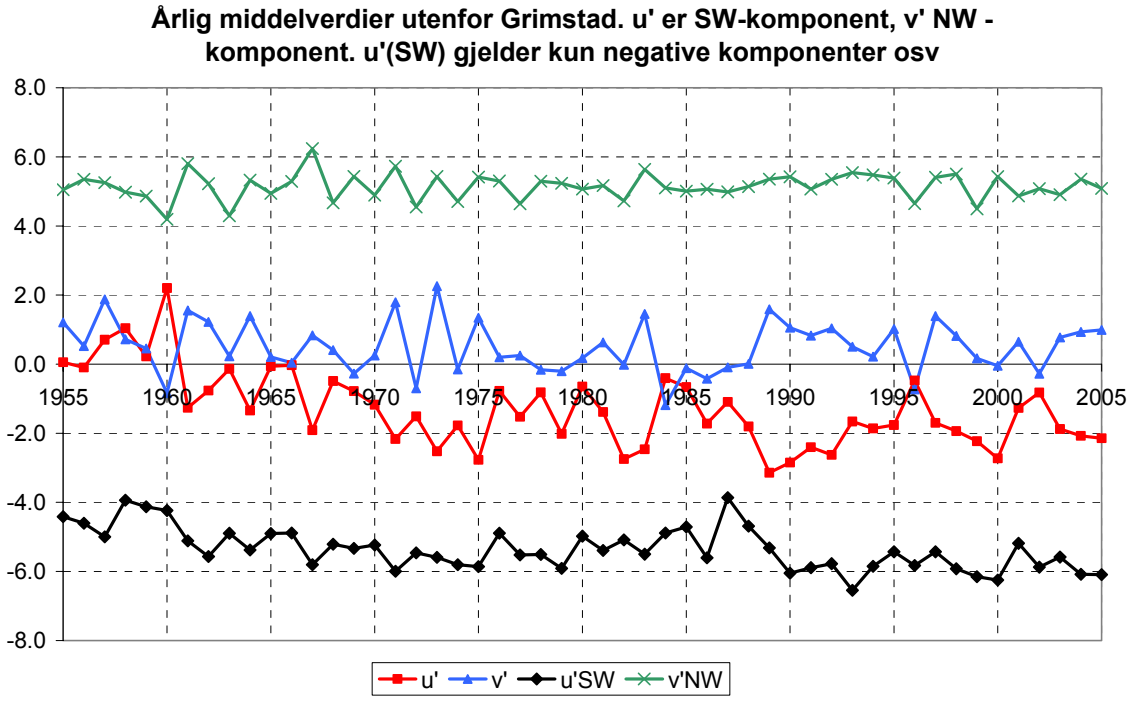
I denne analysen er det benyttet data fra Hindcastarkivet for vind på de kystnære havflater. Dette er i større grad et homogent datasett enn tilfelle er for ordinære vindstasjoner langs kysten. Arkivet består av tidsrekker av vindhastighet, U [m/s] og vindretning, DD [°] hver 6. time fra re-analyserte værkart/modeller siden 1955. Vindretningen er gitt i grader etter hvor vinden kommer fra [°], der 360°=nord, 45°=nordøst, 90°=øst, 135°=sørøst, 180°=sør, 225°=sørvest, 270°=vest og 310°=nordvest. Data fram til og med 2005 er benyttet. Arkivet består av punktdata med avstand ca. 75 km. Disse representerer da ca. 1 times midler av vinden. Vinden følger trykkgradientene i et værkart. Disse er omregnet til vindhastighet 10 m over havoverflaten ved hjelp av anerkjente grenselagsmodeller over hav. Verdiene er sammenlignet med reelle vinddata fra værskip og oljeplattformer, og nødvendige tilpasnings-formler er lagt til. Vindverdiene se ut til å være tilnærmet homogene, selv om det var overgang fra manuelt re-analyserte værkart til automatiske modellkart rundt 1986.

Fra Hindcastarkivet har vi analysert data fra fire punkter. Det et området ved Fredrikstad, ved Grimstad, ved Lindesnes og på kysten av Vestlandet (Bergen). Noen hovedpunkter fra analysen er vist i Figurene 5.1, 5.2 og 5.3, for øvrig vises til Anneks 5.

5.1 Vind

For årlig middelvind er det er vist at det er korrelasjonskoeffisienter fra 0.44 – 0.49 mellom Vestlandet og Skagerakkysten (ingen sammenheng i vindmønster), 0.67 fra Lindesnes til Fredrikstad (lav sammenheng) og på 0.87 – 0.88 (god sammenheng) mellom Grimstad og Lindesnes på Skagerakkysten. Ingen av områdene viser noen trend i årlig middelvind. Se Annex for dokumentasjon.

Figur 5.1 viser utviklingen av middelverdier for noen vindkomponenter. u' er sørvest-komponenten av vinden, det vil si den delen av vindfeltet som blåser langs en 45 – 225° - linje, med positive verdier fra nordøst mot sørvest. v' er tilsvarende komponenten langs en 315 – 135° - linje, med positive verdier fra nordvest mot sørøst. Figuren viser at det ikke er noen trend i komponenten fra nordvest/sørøst (fralands/ pålandskomponent), mens det er en tydelig trend i sørvestkomponenten. Det er en tydelig økning i bidraget av vind opp langs Skagerrakkysten fra sørvest, spesielt vinterstid. Det samme bildet med økende vindhastighet fra sørvest finnes også for de øvrige områdene, se dokumentasjon i Annex 5.

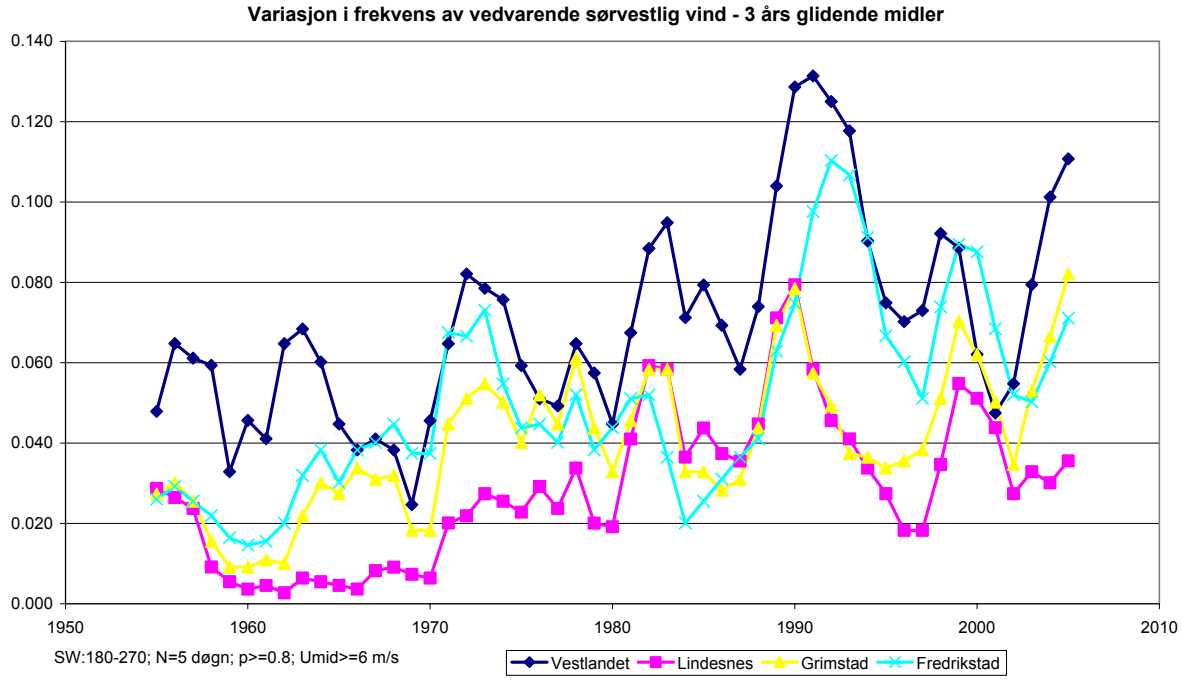


Figur 5.1. Årlig middelverdier utenfor Grimstad.

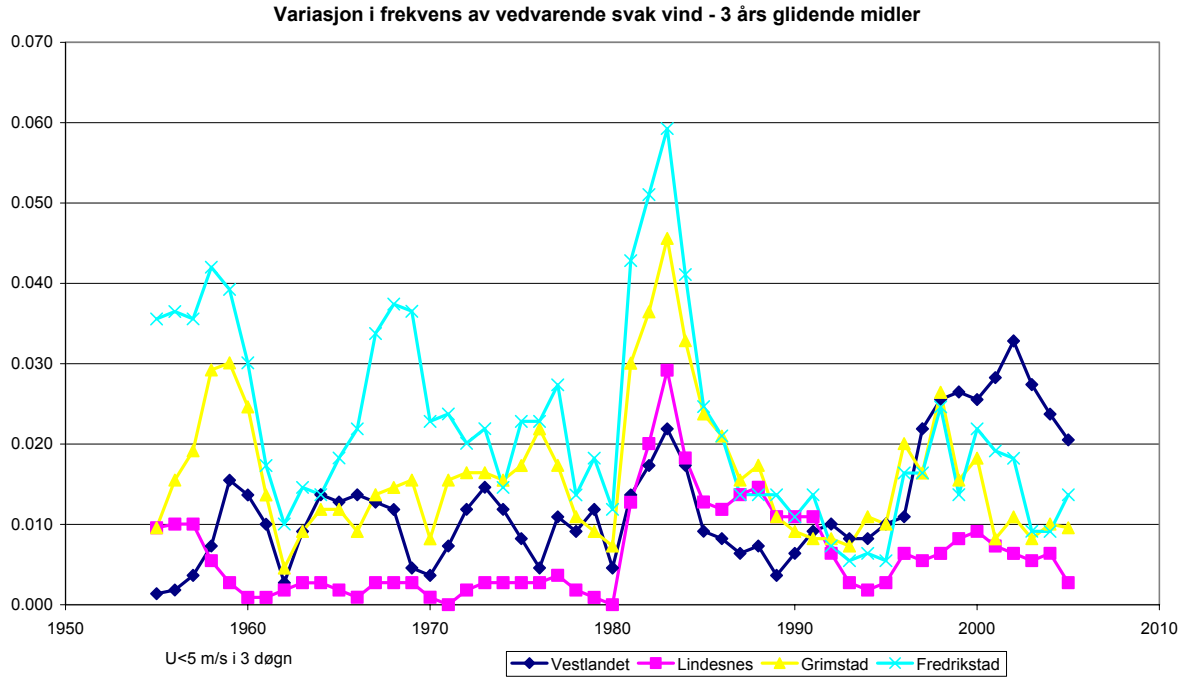
Figur 5.2 viser en studie av vedvarenhet av sterk vind fra sørvest for de fire områdene. Figuren har følgende grunnlag: Middelvindhastigheten i en 5 døgns periode skal overstige 6 m/s, og vindretningen i samme periode skal ha minst 80% forekomst i sektor 180 – 270°. Hvert døgn i året der dette har vært tilfelle for de 5 foregående døgn, gir bidrag til opptalt statistikk. Derved gir figuren et inntrykk av forekomsten av vedvarende, sterk vind fra sørvestlig sektor. Figuren viser et glidende 3-års middel av forholdene. Inntrykket er som for midlere vindkomponent fra sørvest. Det er økende frekvens av perioder med vedvarende sørvestlig vind både på kysten av Vestlandet og langs hele Skagerrak. Det er imidlertid grupper av år som markerer seg ved sterkere bidrag enn andre, og i noen grad er det ikke helt sammenfall mellom periodene og regionene. Perioden 1989 – 93 viser en tydelig "topp". Også i perioden 1999-2000 var det mer vedvarende sørvestlig vind enn før og etter disse årene, mens det var en ny økning i 2004-2005.

Det kan for øvrig nevnes at det er vinteren som gir de dominerende bidragene til utslag på figuren, men reduksjonen ved Grimstad og Lindesnes i 1991-92 skjedde om våren og økningen fra 2002-05 har kommet om høsten.

Det er også gjort en analyse av vedvarenhet av svake vinder (Figur 5.3) Betingelsen er da at døgnlig maksimalverdi fra de 4 klokketidene skal ligge under 5 m/s i løpet av tre døgn. Det er ingen tydelig trend fra 1955 – 05 for årlig antall tre-døgns perioder for noen av områdene. Det er naturlig nok mest slike perioder om sommeren. Det var en periode på 80-tallet (1981-84) med mange perioder med svak vind, mens første del av 90-tallet var preget av få perioder. Fra omkring fra 1995 til omkring år 2000 var det en økning av perioder med svak vind om sommeren, fulgt av en nedgang etter år 2000. Det kan også sies at stasjonene går mindre i takt enn tilfelle er for vedvarende SW-vind. Det er en viss motsatt sammenheng med frekvens av vedvarende SW-vind, men årene 1981-84 viser at dette ikke alltid er tilfelle.



Figur 5.2. Variasjon i frekvens av vedvarende sørvestlig vind – 3 års glidende midler.



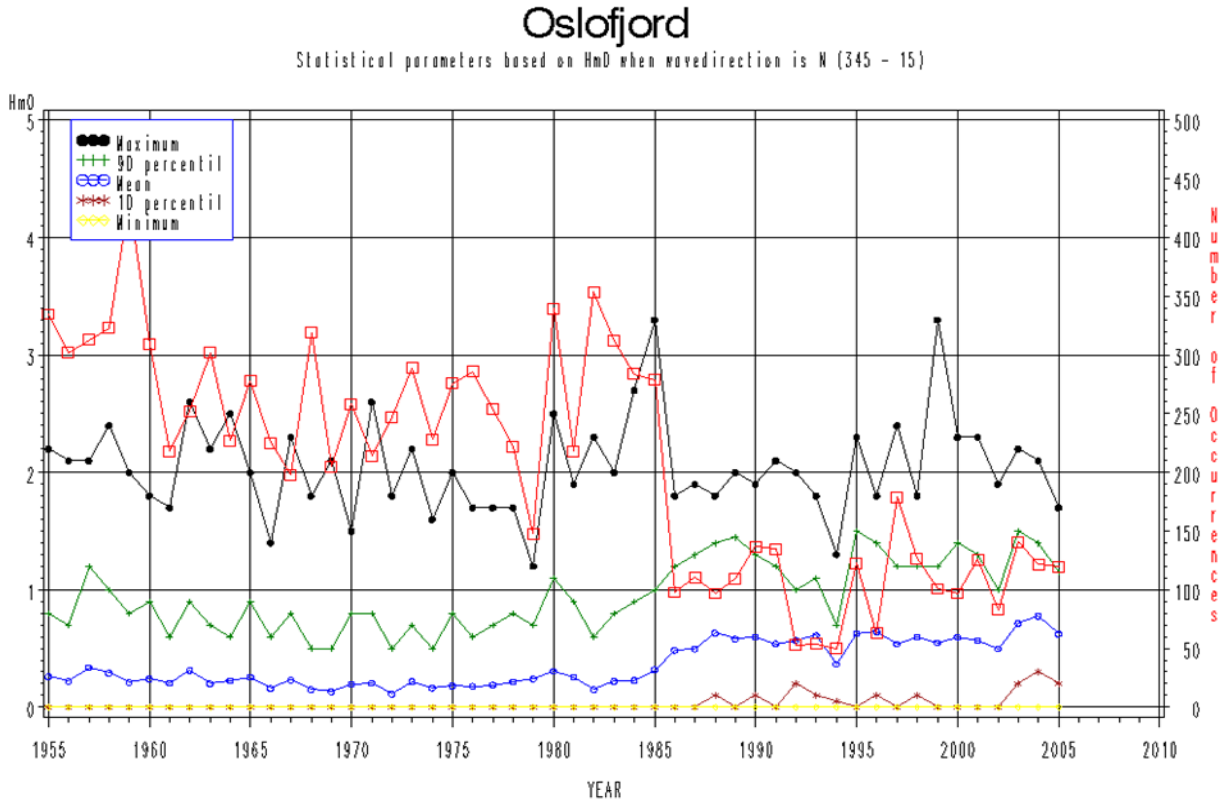
Figur 5.3. Variasjon i frekvens av vedvarende svak vind – 3 års glidende midler.

5.2 Bølger

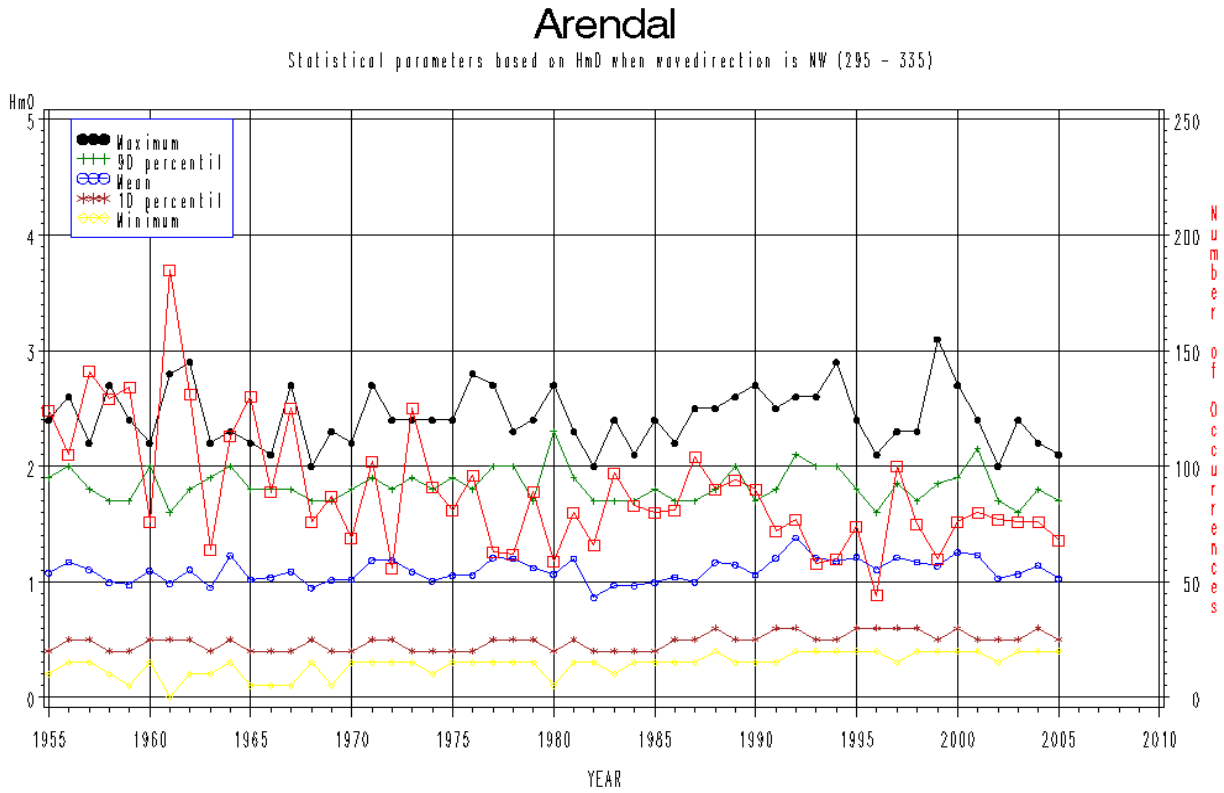
Bølgedataene som er analysert er også hentet fra Hindcastarkivet. Også her er det benyttet data fra fire punkt som i hovedsak faller sammen med dem som er benyttet for vind med unntak for Oslofjord som avviker en del fra Fredrikstad som vindanalysen har benyttet. Analyse av bølgedataene gruppert i fire retningsintervall gir viser de samme hovedtrekk som ble funnet i vindanalysen. For dokumentasjon, se Anneks 5.

Analyse for retningene som antas å ha spesiell betydning for de forskjellige områdene er analysert spesielt.

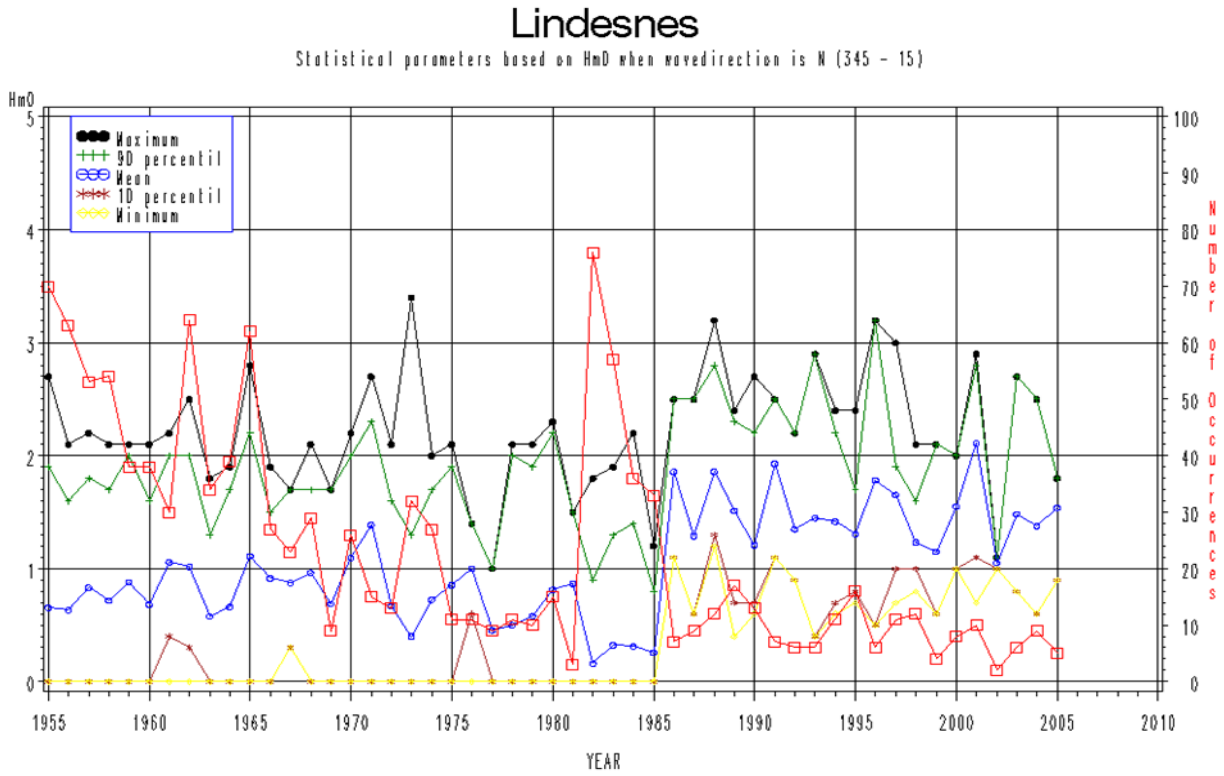
Figur 5.4 viser en markert reduksjon fra 1986 i antall tilfeller der bølgeretning er fra nord (fralandsbølger) for punktet Oslofjord. Det er nærliggende å se denne markerte endring i sammenheng med endringen i datagrunnlaget nevnt ovenfor. Etter 1986 ser verdiene ut til å være nokså homogene med en jevn men svak stigning i middelverdiene.
Figur 5.5 For punktet utenfor Arendal er det ikke noe drastisk endring i frekvens av bølger fra nord-vest (fralandsbølger) etter 1986, men en liten nedgang i antall tilfeller er tydelig. Noe systematisk endring i signifikant bølgehøyde ser ikke ut til å være tilfelle.
Figur 5.6 For punktet Lindesnes vises også et tydelig sprang i de statistiske parameterne etter 1986 når bølgeretning er fra nord (fralandsbølger). Bortsett fra årlig maksimum har de statistiske parameterne økt. Antall tilfeller er ganske beskjedent. Etter 1985 varierer det mellom 2-19 observasjoner pr. år.
Figur 5.7 viser statistiske parametere når bølgeretning er fra øst (fralandsbølger) for Vestlandet (Vestenfor Bergen). Det fremgår at det er svært få tilfeller med denne bølgeretning. Tilsvarende hyppighet av bølger med retningen vest (pålandsbølger) (Figur 5.8) er en helt annen. For denne retning er det en nedgang i antall tilfeller etter 1986.



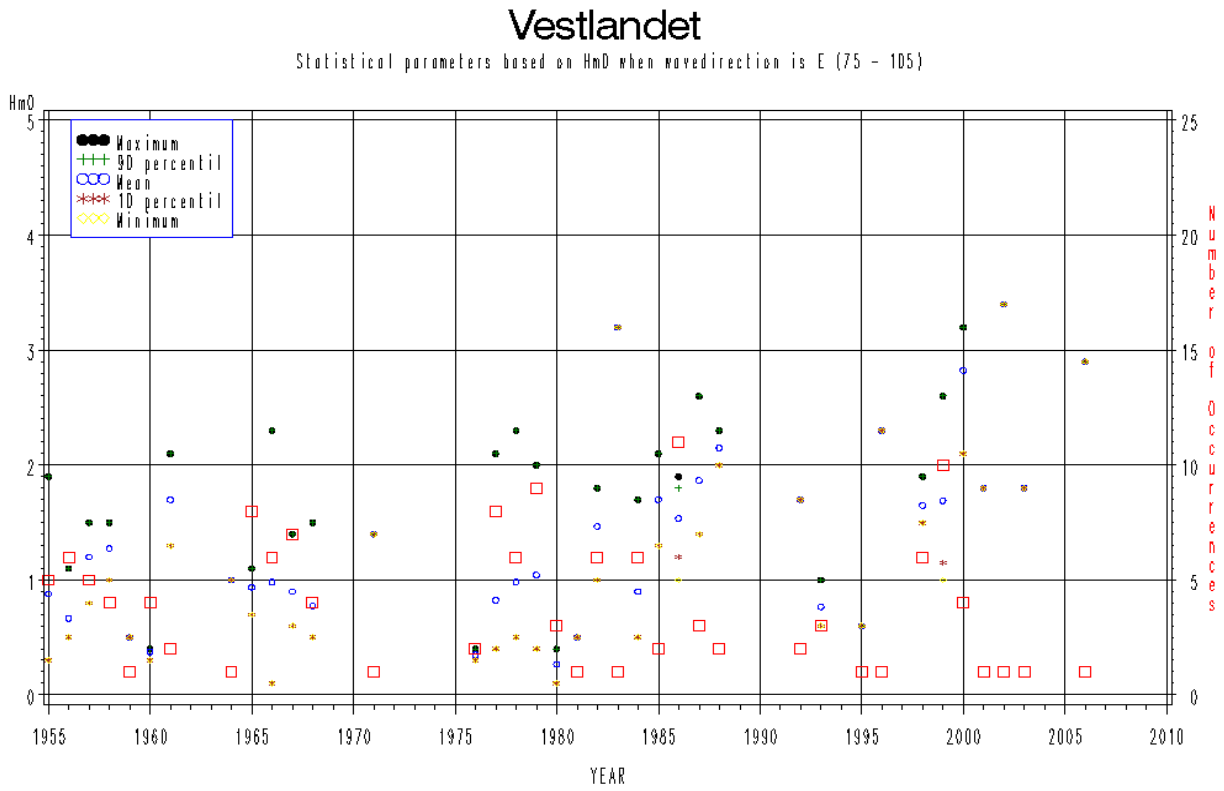
Figur 5.4 Statistiske parametere basert på Hm0 (signifikant bølgehøyde) når bølgeretningen er fra nord (fralandsbølger). Den røde linjen angir antall 6 timers observasjoner.



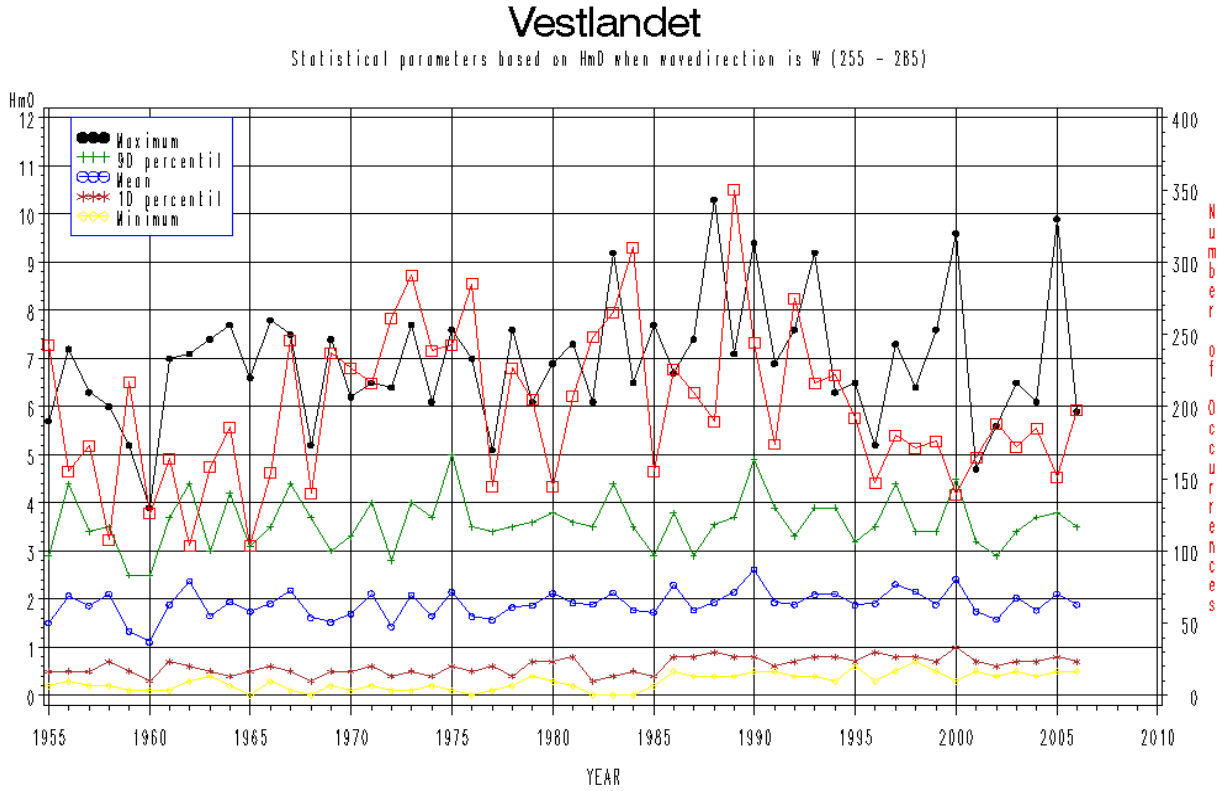
Figur 5.5 Statistiske parametere basert på Hm0 (signifikant bølgehøyde) når bølgeretningen er fra nord-vest (fralandsbølger). Den røde linjen angir antall 6 timers observasjoner.



Figur 5.6 Statistiske parametere basert på Hm0 (signifikant bølgehøyde) når bølgeretningen er fra nord (fralandsbølger). Den røde linjen angir antall 6 timers observasjoner.



Figur 5.7 Statistiske parametere basert på Hm0 (signifikant bølgehøyde) når bølgeretningen er fra øst (fralandsbølger). De røde firkantene angir antall 6 timers observasjoner.



Figur 5.8 Statistiske parametere basert på Hm0 (signifikant bølgehøyde) når bølgeretningen er fra vest (pålandsbølger). Den røde linjen angir antall 6 timers observasjoner.

6. Sjøtemperatur

Sukkertare er en kaldvannsart hvor sommertemperaturen i Sør-Norge og Skagerrak spesielt, kan være skadelig og i ekstreme tilfeller dødelig for sukkertaren. Sukkertarens sørlige utbredelsesgrense i Atlanterhavet går ved 19 °C isotermen og høyere temperaturer over lang tid regnes som skadelig for taren. Sjøtemperaturen er derfor en viktig faktor som kontrollerer sukkertarens forekomst og kan ha forårsaket bortfall av tare. Sjøtemperatur er en tradisjonell måleparameter slik at det finnes mange lange dataserier. I nyere tid overvåkes havtemperatur også fra satellitt og gir et utfyllende bilde til de tradisjonelle målestasjonene. Analysen av sjøtemperatur viser en klart negativ utvikling for sukkertare med stigende sommer-temperaturer på alle målestasjoner (svensk vestkyst, Sørlandskysten og Vestlandet) siden 1960. Siste 15-årsperiode har hyppig frekvens av varme somre og rekordhøy sjøtemperatur i 1997 og 2002. I 1997 ble det målt ca 2 måneder med sammenhengende overflatetemperatur på 19 °C eller mer i Flødevigen, Arendal, og det er meget sannsynlig at sommertemperaturen i 1997 kan ha hatt en kraftig regional negativ effekt på sukkertarebestandene i Sør-Norge. Analyser av langtidsserier viser at det har vært varme perioder også tidligere, som i 1930-årene, slutten av 1950-årene, slutten av 1960-årene og midten av 1970-årene.

- -

6.1 Sjøtemperatur fra direkte målinger

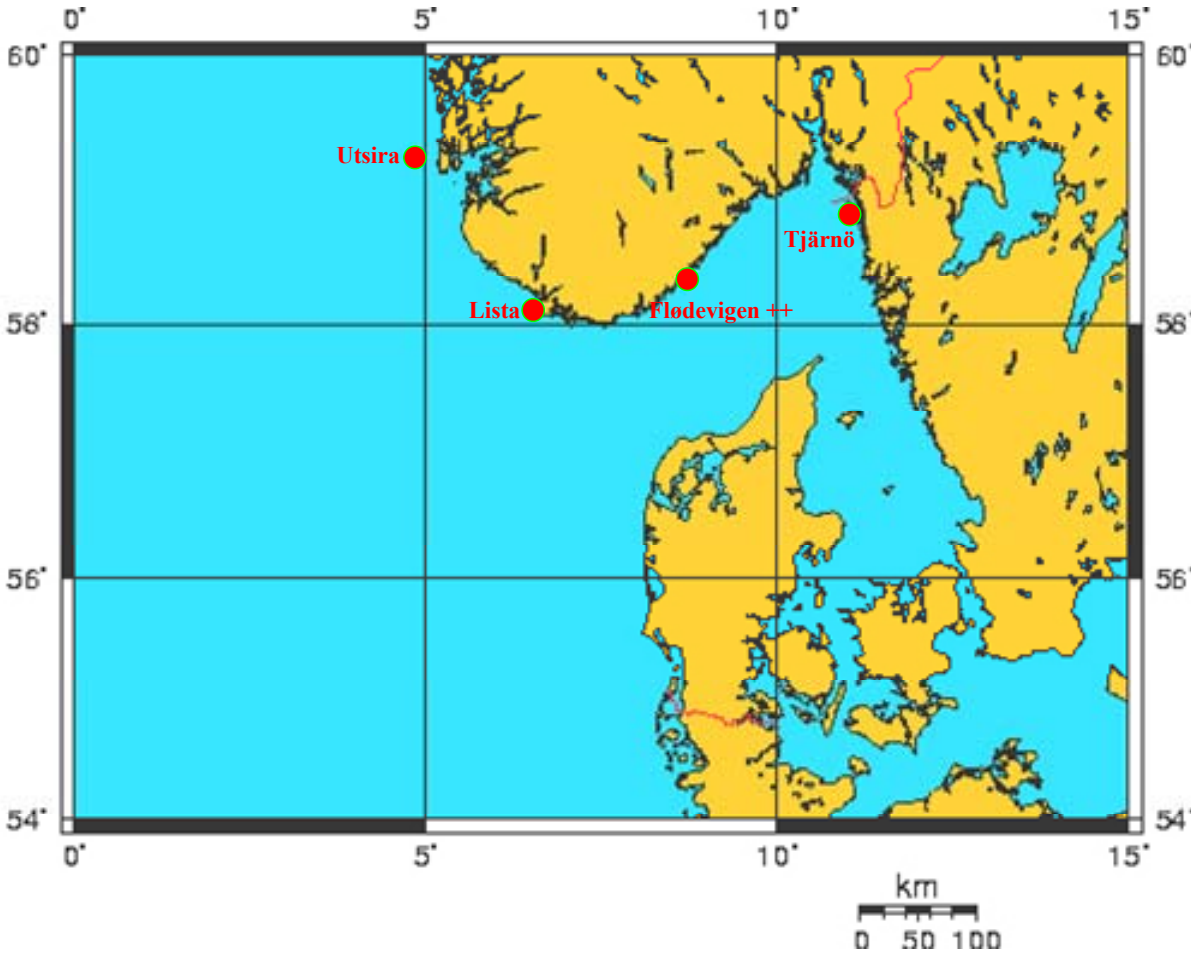
Henning Steen (HI)

Da sukkertare er en kaldvannsart som vokser best ved temperaturer fra 10 °C til 15 °C og er sårbar overfor høye temperaturer (jfr. kap. 1.2), er det blitt gjennomført en sammenstilling av sjøtemperaturdata fra fem temperaturmålestasjoner fra Svenskegrensen (Tjärnö) til Utsira (Tabell 6.1, Figur 6.1) for å undersøke om endringer i sjøtemperaturen samsvarer med reduksjonene i sukkertarebestandene i tid og rom.

En sammenstilling av tilgjengelige sjøtemperaturserier viser en økning av sjøtemperaturene i seneste 10-15 års periode langs hele dette kystavsnittet. Økningen i sjøtemperatur sammenfaller tidsmessig med tilbakegangen av sukkertare og kan ha vært en sannsynlig medvirkende årsak til bestandsreduksjonene på kyststrekningen.

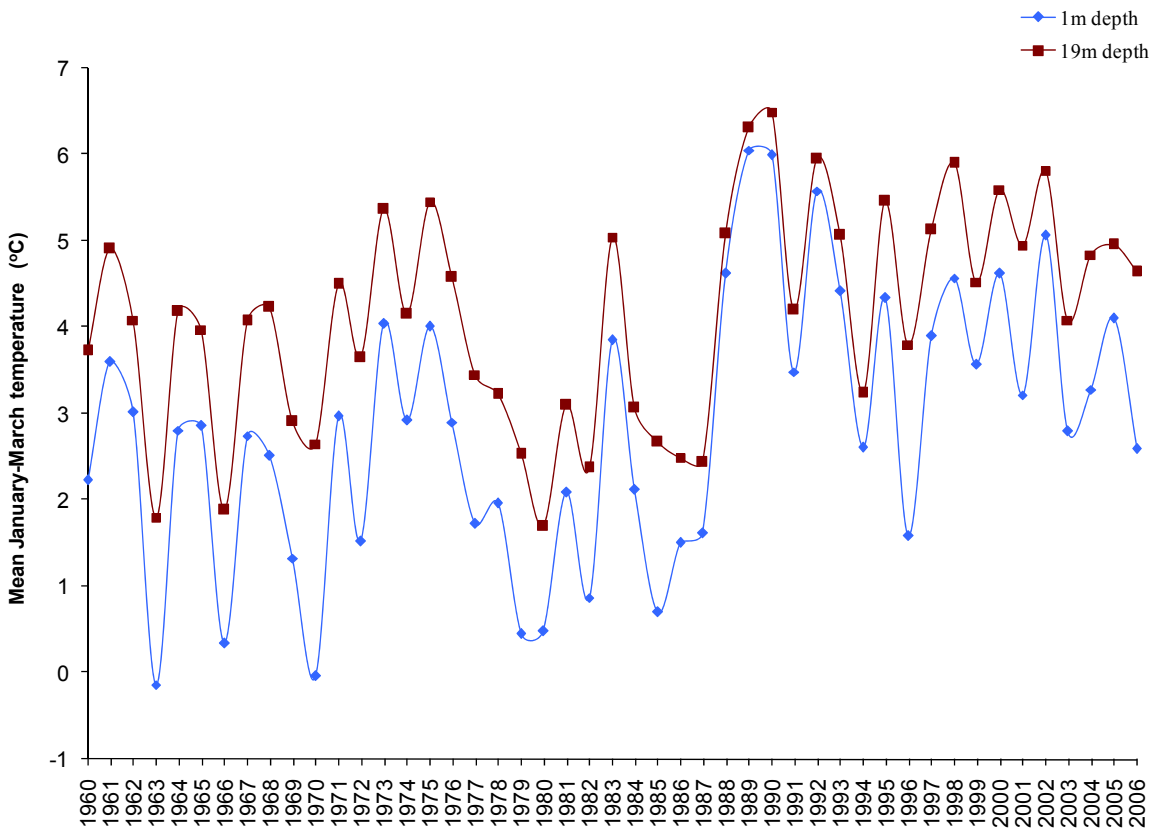
Tabell 6.1 Stasjoner med faste målinger av sjøtemperaturer på kyststrekningen Tjärnö (sør for Strömstad) – Utsira.

Stasjon	**Tidsrom**	**Observasjonsfrekvens**	**Dyp (m)**
Tjärnö (Bertils Brygga)	1980 - 2006	Daglig	1
Ærøydypet – Arendal 2	1980 - 2006	Månedlig	0, 5, 10, 20
Flødevigen	1960 - 2006	Daglig	0, 1, 19
Lista	1980 - 2006	3 – 4 ganger per måned	1, 10, 20
Utsira (Indre og Ytre)	1980 - 2006	2 – 3 ganger per måned	1, 10, 20



Figur 6.1. Kart over analyserte sjøtemperatur stasjoner

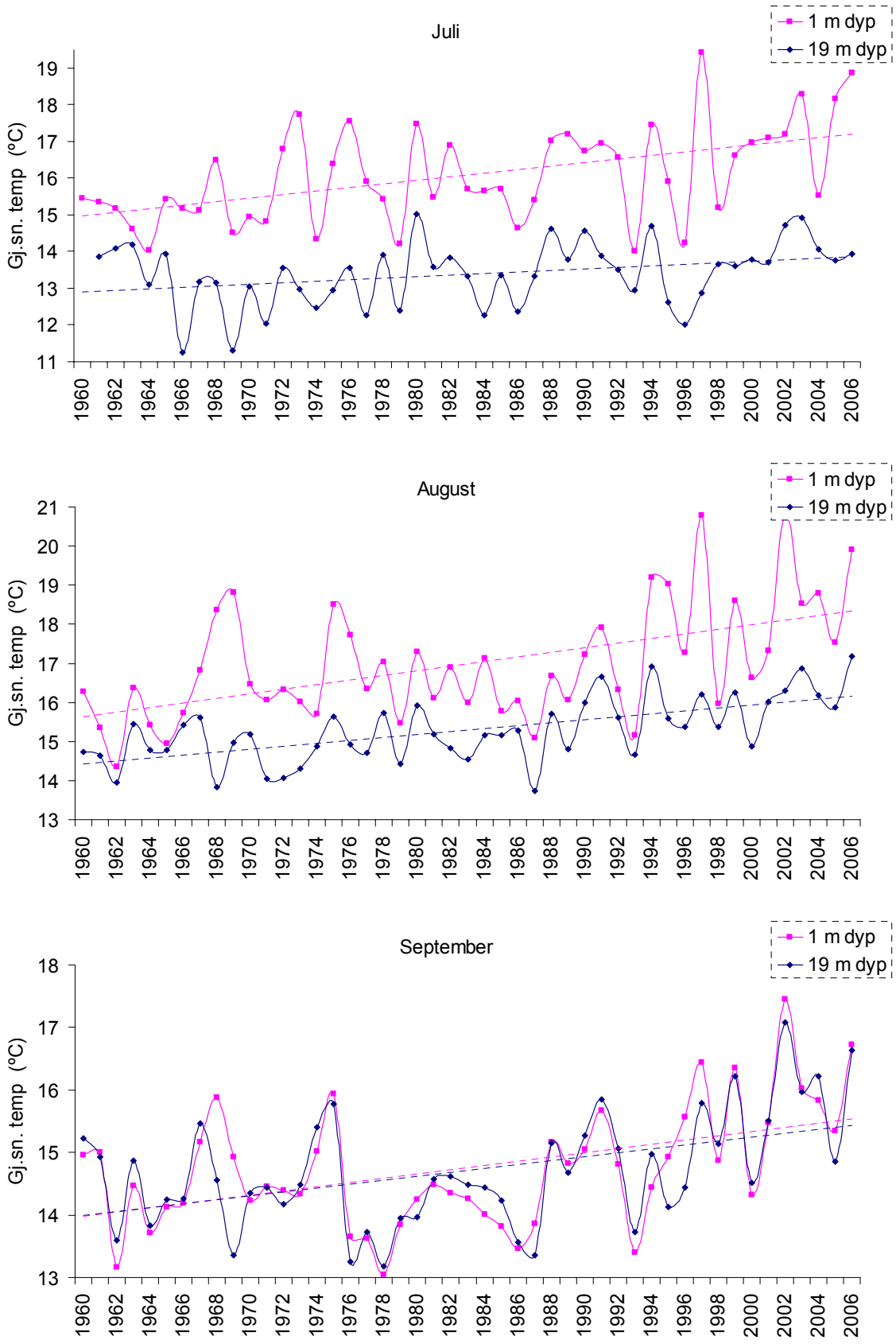
Sjøtemperaturen følger svingninger i klimaet, både som følge av mulig generell oppvarming og endringer i havstrømmer. De største sesongvariasjoner i sjøtemperaturer langs Norskekysten forekommer i Skagerrakområdet, der både de høyeste sommertemperaturene, og de laveste vintertemperaturene forekommer. Ved Havforskningsinstituttets forsknings-stasjon i Flødevigen har man daglige målinger av sjøtemperatur på 0, 1 og 19 m dyp siden 1960. I bølgebeskyttede områder i Skagerrak forekommer sukkertare sjelden dypere enn 20 meter, slik at temperaturregistreringene fra 1 og 19 meters dyp sammenfaller med henholdsvis øvre og nedre voksedyp for arten i denne regionen. Figur 6.2 viser utviklingen av årlig gjennomsnittstempertur for de tre kaldeste månedene i sjøen (januar - mars) på 1 og 19 meters dyp fra 1960-2006. Etter 1988 har vintertemperaturene med unntak av 1994 og 1996, gjennomgående vært et par grader høyere enn normalen for perioden 1960-87. En økning av vintertemperaturene vil ventelig ikke ha noen direkte negativ effekt på sukkertare, men kan ha en indirekte negativ effekt på arten ved å gi bedre overlevelse og vekstforhold for konkurrerende mer varmekjære arter.



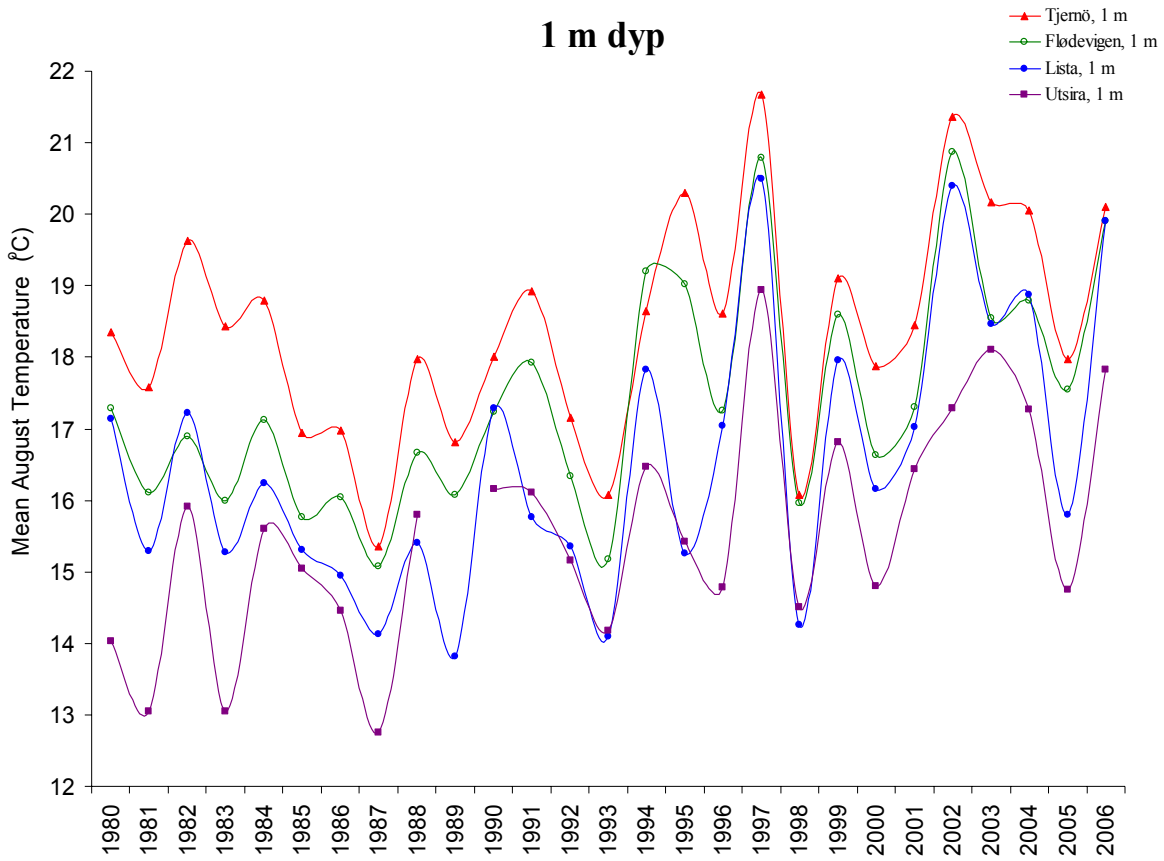
Figur 6.2 Årlig gjennomsnittlig vintertemperatur (januar-mars) for perioden 1960-2006 på 1 m og 19 m dyp målt ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon i Flødevigen.

Den årlige gjennomsnittstemperaturen for de tre varmeste månedene (juli – september) i sjøen ved Flødevigen viser en økende trend i perioden 1960 – 2006 både på 1m og 19 m dyp for alle tre måneder (Figur 6.3). Effekten av temperatur på sukkertare er ikke bare avhengig av hvor høy temperaturen har vært, men også av hvor lenge algene blir utsatt for temperatur-stress. Sukkertarens sørlige utbredelsesgrense sammenfaller med 19 °C isotermen for august (som er den varmeste måneden i sjøen på den nordlige halvkule), og i årene 1997, 2002 og 2006 ble det registrert temperaturer på 19 °C eller høyere på 1 m dyp i Flødevigen, i henholdsvis 58, 36 og 45 dager. Siden 1997 har gjennomsnittstemperaturen på 1 og 19 m dyp for både august og september, i de fleste år, vært høyere enn det som er optimalt for vekst av sukkertare. Langtidseksponering for sub-letale temperaturer vil kunne svekke algens repro-duksjonsevne, konkurranseegenskaper og øke sårbarheten overfor andre miljøpåvirkninger.

En geografisk sammenligning viser at sommertemperaturene i sjøen avtar fra øst (Tjärnö) mot vest (Utsira), men viser en økende trend i perioden 1980-2006 for alle stasjoner (Figur 6.4). I de varme somrene i 1997, 2002 og 2006 var gjennomsnittstemperaturen for august høyere enn 19 °C på målstasjonene på kyststrekningen Tjärnö – Lista, mens den var noe lavere på Utsira. Selv om sukkertaren på Vestlandet neppe vil bli eksponert for like høye temperaturer som sukkertaren i Skagerrak så kan det være grunn til å tro at Vestlandspopulasjonene er mer følsomme for høye temperaturer, enn populasjoner i Skagerrak, som trolig er mer adaptert til høye sommertemperaturer. En slik økotypedifferensiering mhp temperaturtoleranse hos sukkertare mellom de to regionene er foreløpig ikke vitenskapelig undersøkt, men vil bli testet ut gjennom transplantasjonsforsøk i et NFR finansiert forskningsprosjekt (SACCHARINA).



Figur 6.3 Gjennomsnittlig sjøtemperatur for juli (øvre panel), august (midtre panel), september (nedre panel) for perioden 1960-2006 på 1 m og 19 m dyp målt ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon i Flødevigen.



Figur 6.4 Gjennomsnittlig sjøtemperatur for august i perioden 1980-2006 på 1 m dyp ved målestasjonene på Tjärnö (rød serie), Flødevigen (grønn serie), Lista (blå serie) og Utsira (fiolett serie).

6.2 Havoverflatetemperatur målt fra satellitt

Lasse H. Pettersson (Nansen senter for miljø og fjernmåling, Bergen)

Havoverflatetemperatur målinger fra AVHRR satellittdata for Skagerrak, Kattegat og Tyskebukta for perioden 2002 til 2004.

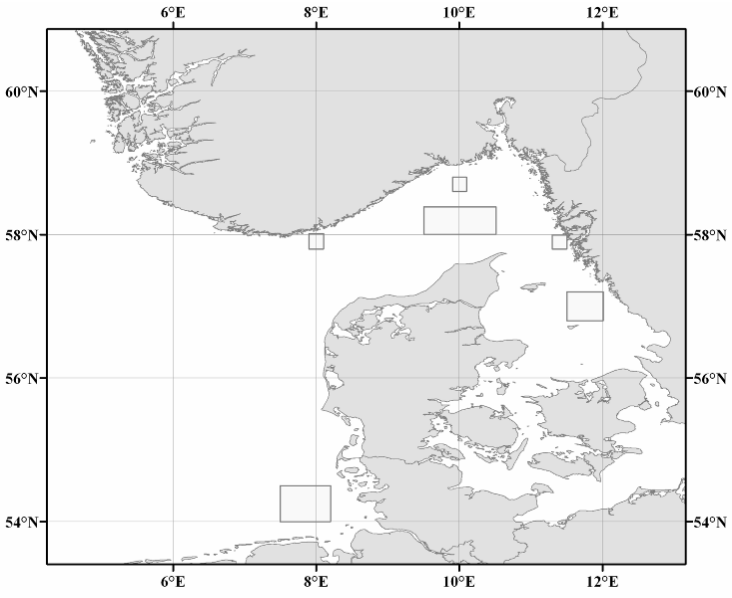
På oppdrag fra SFT er satellittdata gjort tilgjengelig og analysert for bruk i studier av variasjoner i utbredelse av sukkertareskogen i langs Sørlandskysten i Fase I av Sukkertare-prosjektet. I Fase 2 ble disse data ikke prioritert videre, men en tidsserie av månedsmiddel av SST fra 1985 til 2004 har blitt beregnet, se figur 6.7.

Havoverflatetemperatur (SST – Sea Surface Temperature) data fra de meteorologiske NOAA satellittene sine AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) sensorer er utvalgt og analysert for perioden 1. januar 2002 til 31. desember 2004. Dataene er hentet fra de amerikanske re-analyserte Pathfinder (versjon 5.0) data settet (http://pathfinder.nodc.noaa.gov). Dataene er prosessert med kalibreringskoeffisienter fra 2001, noe som medfører at dataene er klassifisert som ”interim”, men er av de bedre SST dataene som p.t. er tilgjengelig fra satellitt. Nøyaktigheten til de daglige målingene er gitt til 0.3-0.5°C og dataene er tilgjengelig med en romlig oppløsning på 4 kilometer. Tilsvarende data er tilgjengelig for hele perioden 1985 til d.d.

Utvalgte data er i dette forprosjektet er månedsmiddelverdier av SST, men dataene er også tilgjengelig som daglige verdier og 8-dagers midler. Analyse av disse datasettene vil være nyttig for å kunne identifisere eventuelle ekstremhendelser i temperaturvariasjoner i løpet av månedsperiodene. De månedlige dataene er blitt midlet for tre utvalgte "åpne" havområder - Skagerrak, Kattegat og Tyskebukta, samt for tre "mindre" kystnære områder - Bohuslän, Nevlunghavn og Kristiansand - som oppsummert i Tabell 6.2 og Figur 6.5.

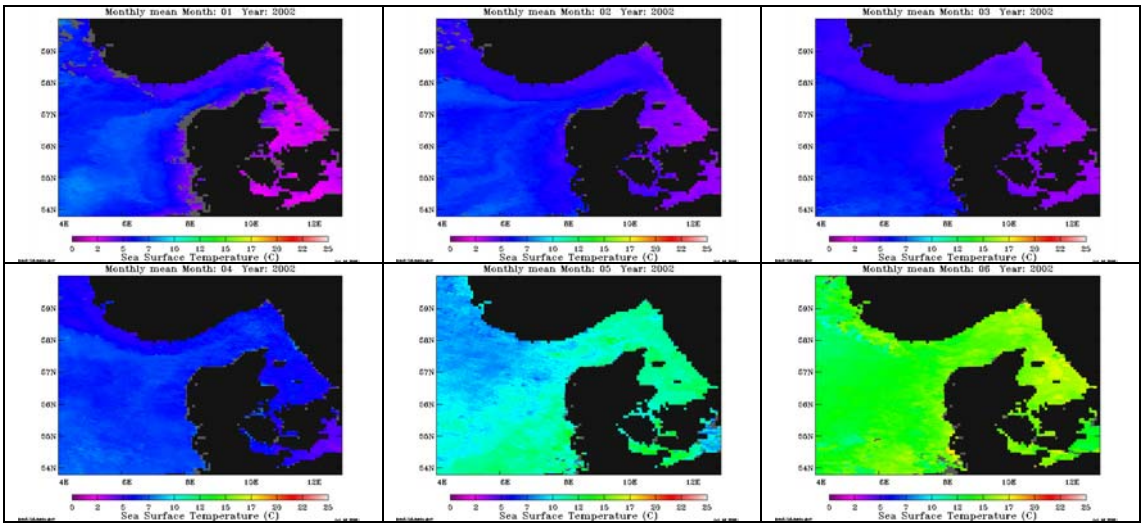
Tabell 6.2 Geografiske koordinater for de utvalget hav- og kystområder som er analysert.

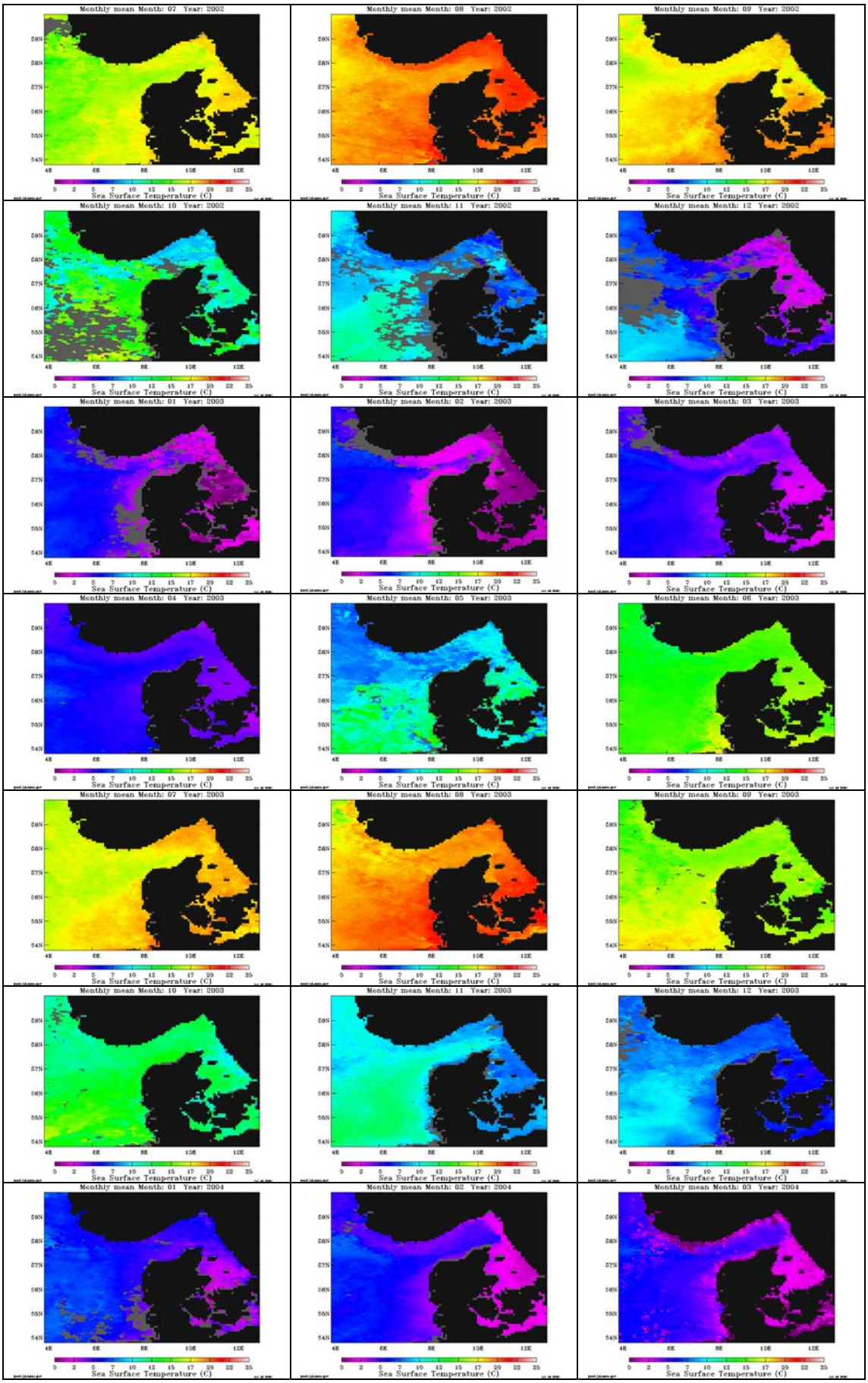
	Breddegrad		Lengdegrad	
Skagerrak	58,4°N	58,0°N	09,5°E	10,5°E
Kattegat	57,2°N	56,8°N	11,5°E	12,0°E
Tyskebukta	54,5°N	54,0°N	7,5°E	8,2°E
Bohuslän	58,0°N	57,8°N	11,3°E	11,5°E
Nevlunghavn	58,8°N	58,6°N	9,9°E	10,10°E
Kristiansand	57,8°N	58,0°N	7,9°E	8,1°E

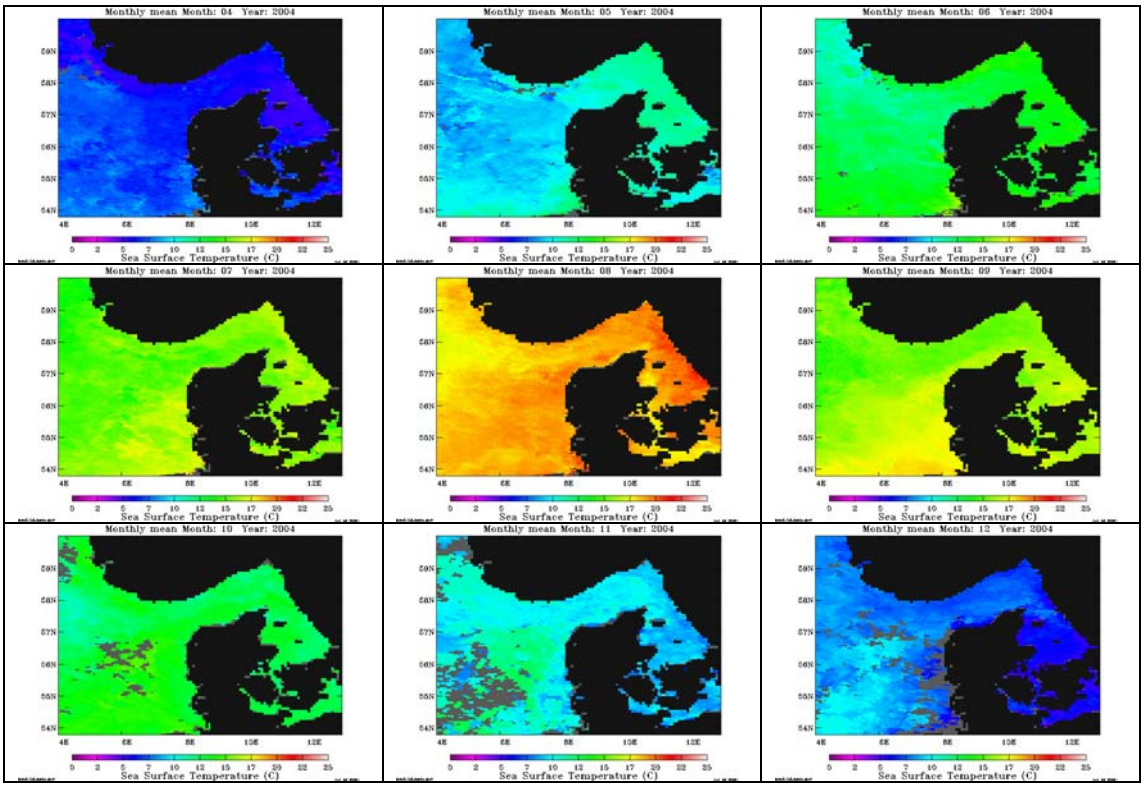


Figur 6.5 Kartoversikt med de utvalgte kyst- og havområder for analyse av månedsmidlet havoverflatetemperaturer i Skagerrak, Kattegat og Tyskebukt områdene.

Månedsmidlet temperaturkart for østlige deler av Nordsjøen, Skagerrak og Kattegat er presentert for hele observasjonsperioden fra 2002 til 2004 i Figur 6.6 (figurer nedenfor).

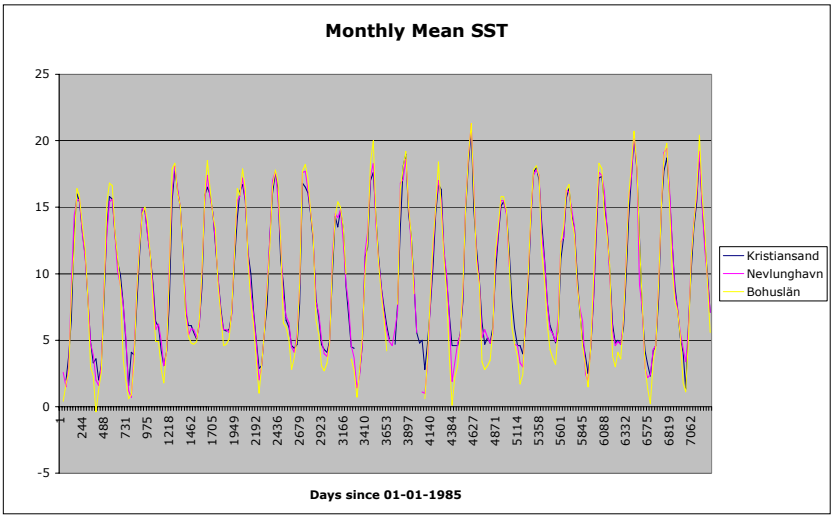



Monthly mean Month: 07 Year: 2002
Monthly mean Month: 08 Year: 2002
Monthly mean Month: 09 Year: 2002
Monthly mean Month: 10 Year: 2002
Monthly mean Month: 11 Year: 2002
Monthly mean Month: 12 Year: 2002
Monthly mean Month: 01 Year: 2003
Monthly mean Month: 02 Year: 2003
Monthly mean Month: 03 Year: 2003
Monthly mean Month: 04 Year: 2003
Monthly mean Month: 05 Year: 2003
Monthly mean Month: 06 Year: 2003
Monthly mean Month: 07 Year: 2003
Monthly mean Month: 08 Year: 2003
Monthly mean Month: 09 Year: 2003
Monthly mean Month: 10 Year: 2003
Monthly mean Month: 11 Year: 2003
Monthly mean Month: 12 Year: 2003
Monthly mean Month: 01 Year: 2004
Monthly mean Month: 02 Year: 2004
Monthly mean Month: 03 Year: 2004
Sea Surface Temperature (C)

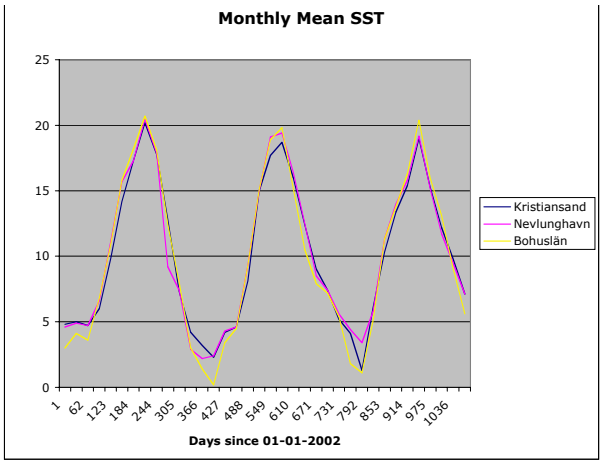


Figur 6.6 Månedsmidlet havoverflatetemperaturer basert på AVHRR satellitt data for perioden januar 2002 til desember 2004.

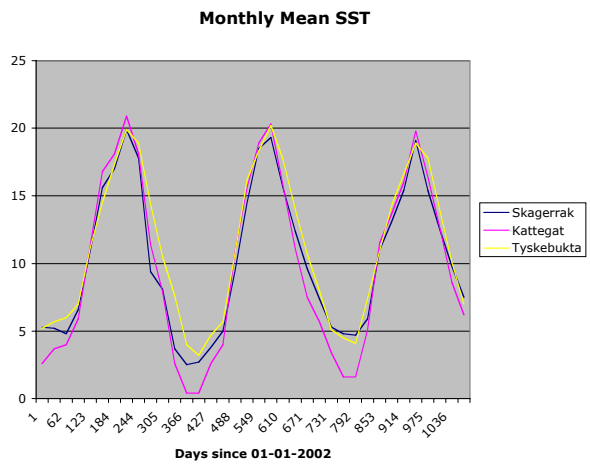
Månedsmiddelverdier av havoverflatetemperatur er utvalgt, midlet og presentert for hvert av de seks utvalgte hav- og kystområdene for perioden januar 2002 til desember 2004 (Figur 6.8 og 6.9). I fase 2 er også en tidsserie for månedsmiddel av havoverflate-temperaturer for Bohuslän, Nevlunghavn og Kristiansand i perioden Januar 1985 til Desember 2004 blitt beregnet (Figur 6.7). Til sammenlikning (med figur 6.9) er også 8-dagers middelverdier for de "åpne" havområdene plottet i figur 6.10. I figurene ser en klart at månedsmidlene jevner ut eventuelle kortvarige ekstremhendelser i havoverflatetemperatur, samt at periodene med ikke-eksisterende data øker noe. Både daglige og 8 dagers middelverdier bør derfor analyseres nærmere for å identifisere eventuelle ekstremhendelser som kan ha hatt betydning for sukkertareskogen (dette ble ikke prioritert i fase 2). Månedsmiddelverdier er også tilgjengelig i Excel regneark for videre analyser sammen med andre relevante data i Sukkertareskog prosjektet for SFT.



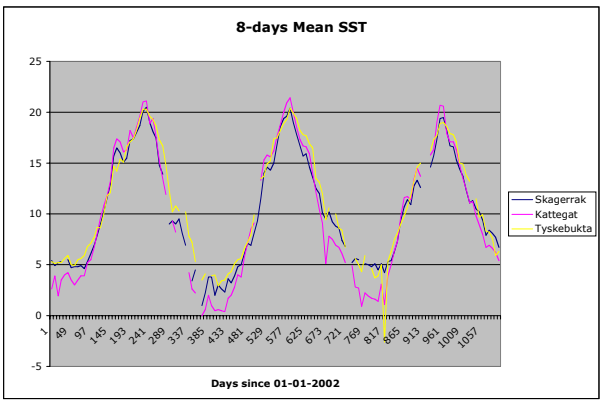
Figur 6.7 Månedsmidlet havoverflatetemperaturer for de tre kystnære områdene utenfor Bohuslän, Nevlunghavn og Kristiansand (se Figur 6.5) for perioden januar 1985 til desember 2004.



Figur 6.8 Månedsmidlet havoverflate-temperaturer for de tre kystnære områdene utenfor Bohuslän, Nevlunghavn og Kristiansand (se Figur 6.5) for perioden januar 2002 til desember 2004.



Figur 6.9 Månedsmidlet havoverflate-temperaturer for de tre havområdene i Skagerrak, Kattegat og Tyskebukta (se Figur 6.5) for perioden januar 2002 til desember 2004.

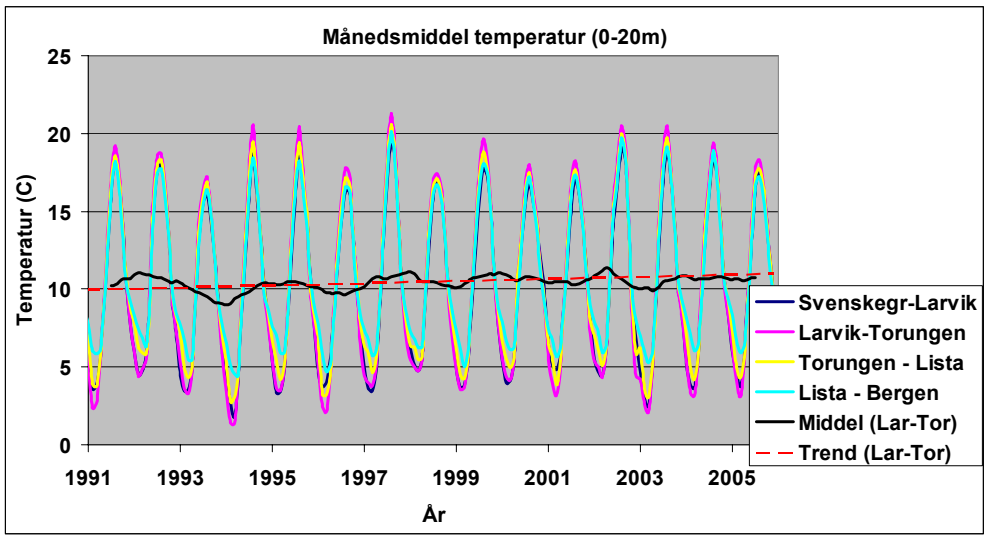


Figur 6.10 Åtte dagers middel av havoverflatetemperaturer for de tre havområdene i Skagerrak, Kattegat og Tyskebukta (se Figur 6.5) for perioden januar 2002 til desember 2004.

6.3 Sjøtemperatur fra hindcastsimulering med havmodell

Knut A. Iden, Bruce Hackett & Knut Harstveit (met.no)

Havmodellen som er brukt for å undersøke endringer i havsirkulasjonen i kapittel 8, beregner også vanntemperatur i alle modellens gitterpunkter og dybdenivåer. Temperaturendringer i det simulerte havet forårsakes av endringer i varmefluksen fra atmosfæren samt strøm og blandingsprosesser (adveksjon og diffusjon). Modellens temperatur gir et godt uttrykk for effekten av varmefluksen fra atmosfæren *innenfor* modellområdet (se figur 6.11), men tar ikke med endringer som føres inn i området fra de omkringliggende hav.



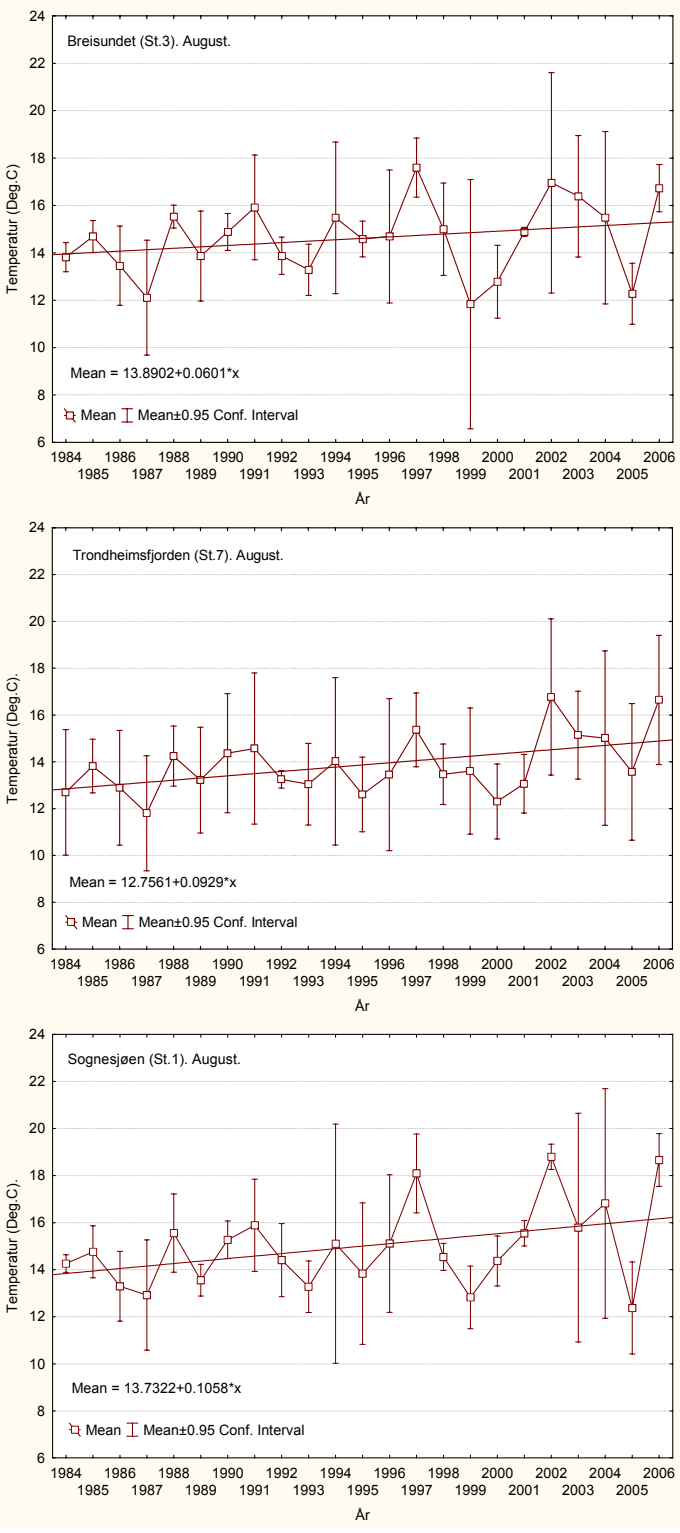
Figur 6.11: Tidsserier av midlere sjøtemperatur langs kysten av sydnorge fra en hindcast simulering med met.no's havsirkulasjonsmodell (jfr. Kap. 8). Kurvene er månedsmidler av vanntemperatur midlet over alle modellgitterpunkter langs hver kyststrekning og midlet over de øverste 20 m. Også vist er 12-måneders glidende middel for strekningen Larvik – Torungen (svart heltrukket linje) og en lineær trend linje (rød stiplet linje) for samme strekning.

Figur 6.11 viser at:

- Maksimumstemperaturen kommer alltid i august langs hele kyststrekningen (Svenskegrense – Bergen).
- Minimumstemperaturen kommer i februar-mars for Svenskegrense – Lista gjennom 1990-tallet, mens minimumet for Lista – Bergen kom i april i 1992, 1994 og 1995. Det er en tendens for at minumumet inntreffer noe senere på 2000-tallet; siden 2000 har minimumet i strekningen Larvik - Bergen alltid kommet i mars.
- De høyeste temperaturer i seriene kom i 1997, med månedsmiddelverdier over 20°C for hele strekningen Larvik – Bergen. Dette maksimumet ble etterfulgt av en relativt varm vinter.
- De laveste temperaturer i seriene kom i 1994 med månedsmiddelverdier under 3°C for hele strekningen Svenskegrense – Lista.
- Strekningen Larvik – Torungen viser de høyeste sommertemperaturene og vanligvis den laveste vintertemperaturen.
- Temperaturen av vannet som strømmer ut av Østersjøen er satt automatisk til samme verdi som vannet like innenfor modellens rand, dvs. beregnet av modellen fra atmosfæriske varmeflukser. Dette vil sannsynligvis underestimere temperaturen om sommeren.
- Middeltemperaturen for Larvik – Torungen strekningen oversteg 20°C i 1994, 1995, 1997, 2002 og 2003.
- Perioden 1994 – 1997 preges av relativt store sesongsvingninger, mens perioden 1998 – 2001 preges av mindre svingninger.
- Trendlinjen for Larvik – Torungen viser en økning på ca. 1°C over 15-års perioden. Årsmidling viser et lokalt minimum i 1994 og at temperaturen har stabilisert på et noe høyere nivå fra 1997.

6.4 Havoverflatetemperatur fra Hurtigrutens termografstasjoner på Vestlandet i perioden 1936 til 2006.

Kai Sørensen (NIVA)

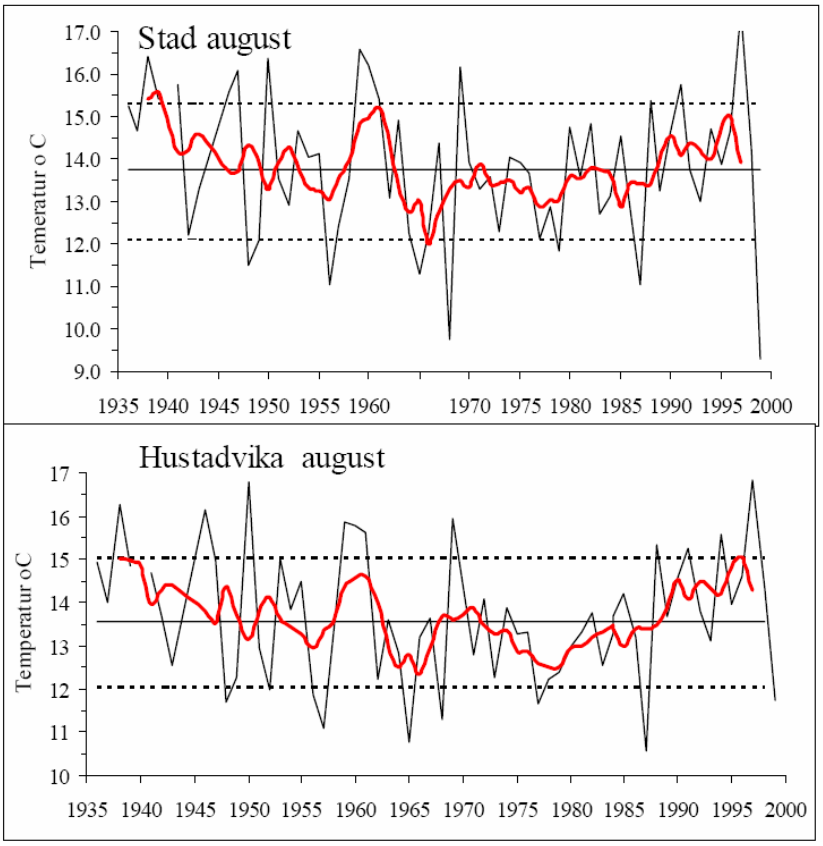


Temperaturdata har blitt gjort tilgjengelig fra Havforskningsinstituttets termograftjeneste på Hurtigruten MS Vesterålen (Aure og Strand, 2001). Data for august måned fra 3 stasjoner på Vestlandet er sammenstilt for perioden 1984 til 2006 (Figur 6.12). Data for disse stasjonene finnes tilbake til 1936 når Havforskningsinstituttet, ved Dr. Jens Eggvin startet målingene. Målingene er foretatt på fartøyets vanninntak på 4-5 m dyp, og målefrekvenser er 3-4 målinger per måned. Aure og Strand oppgir nøyaktigheten på målingene til 0,05 og eventuelle avvik i absoluttemperaturen.

Utviklingen over denne 20 årsperioden fra 1984 til 2006 viser en økning i overflatetemperaturen for august måned på ca 2 grader (Figur 6.12). Ekstremårene 1997, 2002 og 2006 kommer klart frem av dataene. Spesielt for Sognesjøen er variasjonene i august for disse ekstremårene betydelige lavere enn for øvrige år som indikerer en lengre periode med høye temperaturer. Gjennomsnittlig temperatur ved Sognesjøen for denne måneden er 18-18.5 C, for Breisundet 17-18 C og Rissa i Trondheimsfjorden 15-16.5 C.

Figur 6.12 Månedsmiddel i havoverflatetemperatur for august i perioden 1984-2006 for Sognesjøen (N60°58.8, E04°45.9, øvre panel), Breisundet (N62°27.5, E06°02.1, midtre panel) og Rissa i Trondheimsfjorden (N63°34.1, E09°50.8, nedre panel).

I Aure og Strand (2001) er temperturdata sammenstilt for et utvalg av disse termografstasjonene for perioden 1936 - 2000. For 2 stasjoner som ligger i det samme området som de 3 ovenfor (Stad N62°12.0, E05°05.2 og Hustadvika N63°00.7, E07°03.0) så hadde man rundt 1975-1980 en periode med lave sjøtemperaturer (Figur 6.13). Det hadde da vært en nedadgående tendens siden 30 tallet, hvor man også hadde hatt flere år med høye augusttemperaturer med temperatur over 16 °C både på Stad og Hustadvika. Selv om det er en tendens til økning i de siste 20 årene så finner man episoder med høye sommertemperaturer også i 1930 og 1950 årene.



Figur 6.13 Havoverflatetemperatur fra 2 termografstasjoner på Vestlandet i perioden 1935-2000 (Kilde: Aure og Strand, 2001)

7. Marin vannkvalitet

Jan Magnusson og Kai Sørensen (NIVA)

Eutrofiering og nedslamming av sukkertarens vekstmiljø er mulige årsaker til sukkertarens bortfall og følgelig kan endringer i den marine vannkvaliteten være en direkte eller medvirkende årsak til sukkertarens tilbakegang på kysten av Sør-Norge. Analysene viser økt partikkelkonsentrasjon i kystvannet og en periode med høye næringsalter rundt 1995.

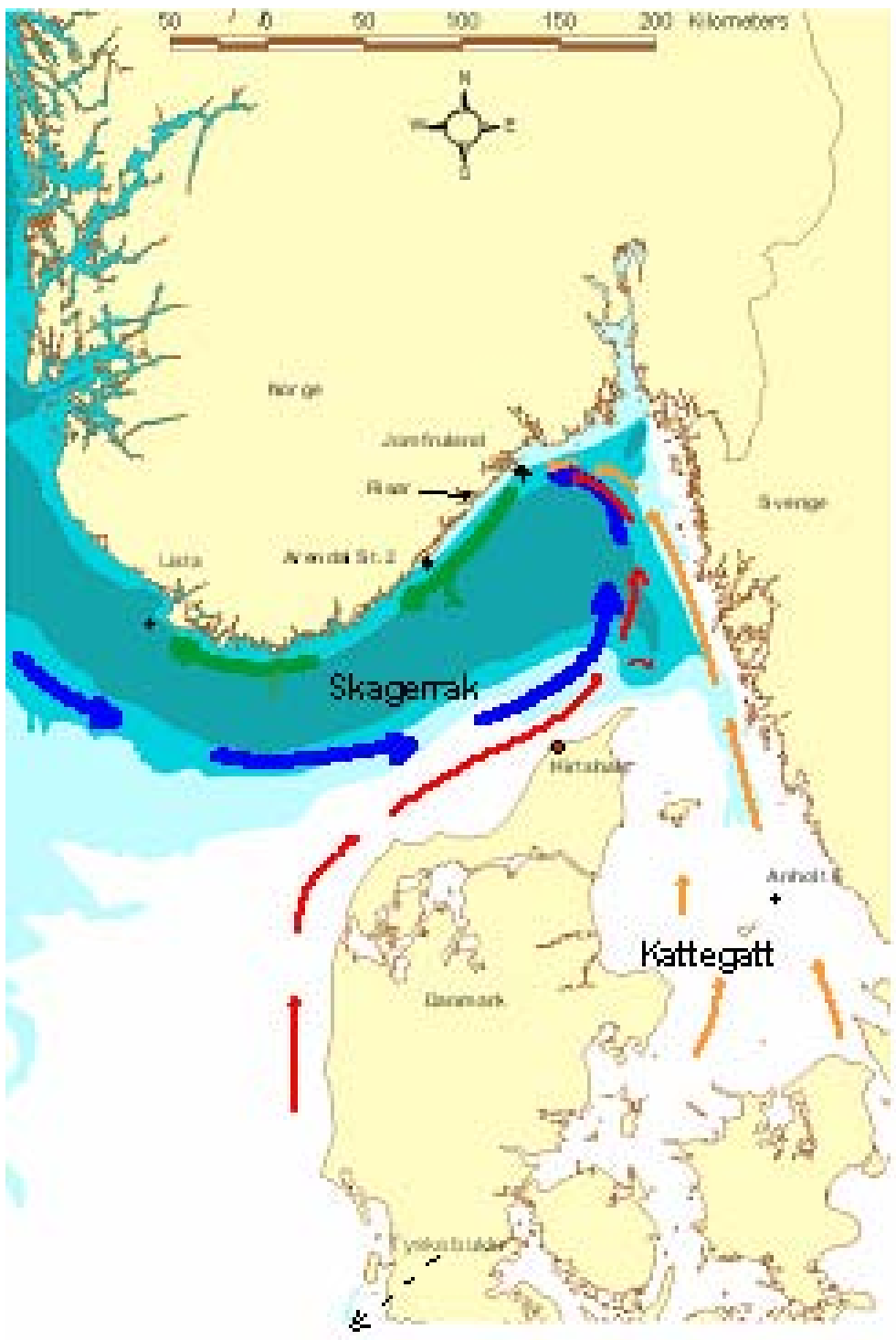
- -

Innledning

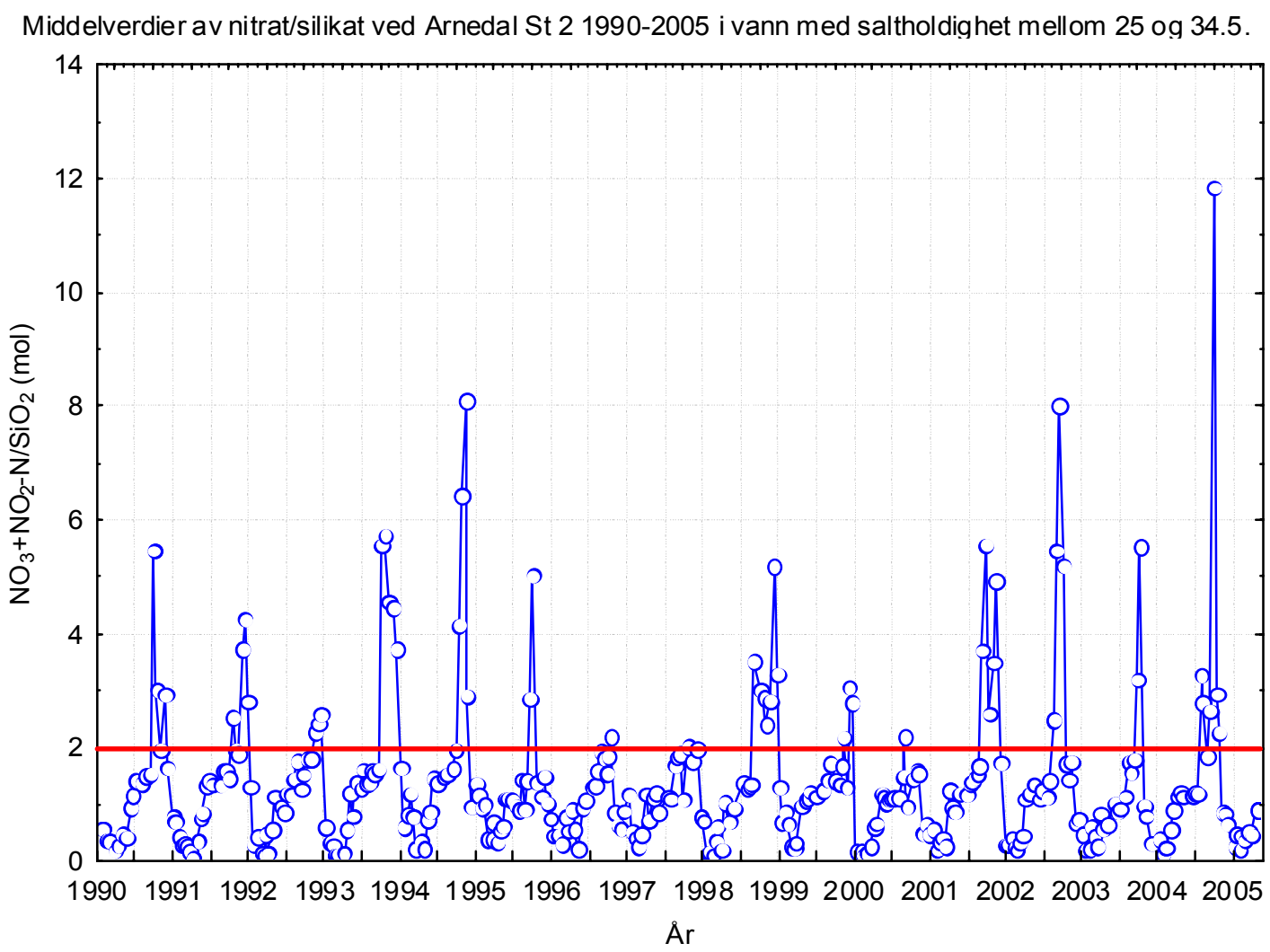
Analyser av observasjoner fra Kystovervåkingsprogrammet er presentert i flere SFT-rapporter (for eksempel Moy (Ed), 2002; Moy et al., 2004). Denne analysen presenterer i hovedsak observasjoner fra Jomfruland og Arendal mai 1990 til desember 2005. Gjennomgående er det 2 observasjoner pr. måned i februar til november, samt en observasjon i desember og januar måned. Imidlertid foreligger avvik fra dette skjemat enkelte år og enkelte måneder.

Analysene viser midlere variasjon gjennom året for de ulike parametere, samt årstidsvariasjonen i perioden 1990-2004. I tillegg til Kystovervåkingsdata (1990-2005) er det i analysen av marin vannkvalitet inkludert observasjonsserier fra Tyskebukta (Helgoland) og Kattegat (Anholt), samt observasjoner av partikler fra satellitt og Ferrybox-systemer.

Vår kyststrøm i Skagerrak er påvirket av tilførsler fra Nordsjøen, Østersjøen og avrenning fra land (Figur 7.1). Spesielt har vann fra sydlige del av Nordsjøen (Tyskebukta) betydning for næringssaltnivået i kystvannet og tidvis, som i 1994-5, 2002-3 og 2005, måles det stor tilførsel av nitrat (Figur 7.2). Dette har spesielt stor betydning i vårsesongen.



Figur 7.1
Innstrømming til Skagerrak: 0.5-1*10^6 (m^3/s).
Gjennomstrømingstid: ca. 100 dager

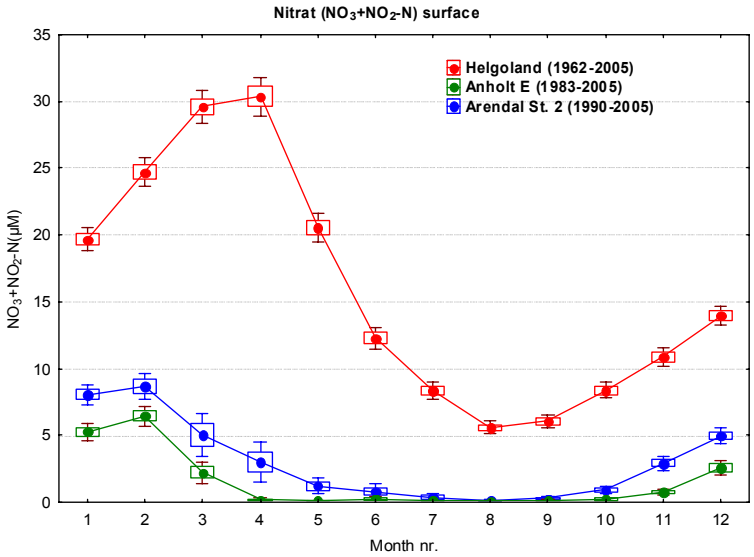


Figur 7.2
Forholdstall nitrat/silikat > 2 indikerer pulser med vann fra Tyskebukta.

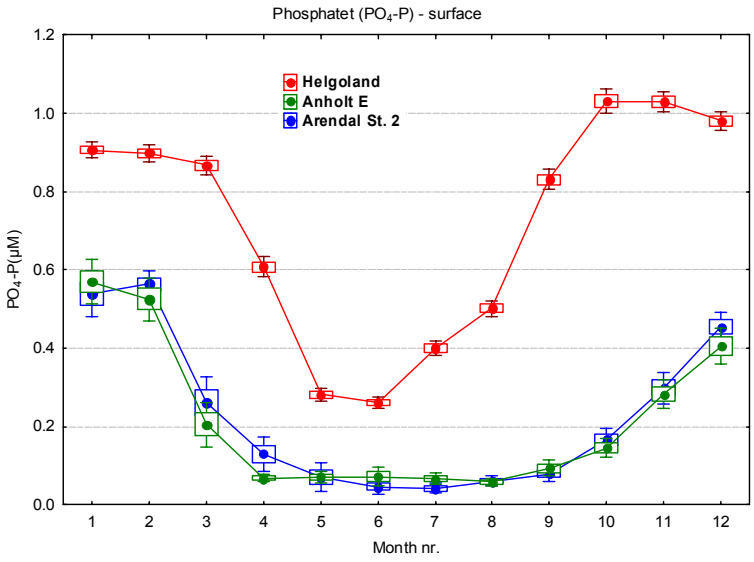
7.1 Stedsgradienter

Analyse av data fra Helgoland (Tyskebukta), Anholt (Kattegat) og Arendal st 2 (Kyststrømmen) viser at det er klart større konsentrasjoner av nitrat og fosfat i Tyskebukta enn i Kattegat og i den norske Kyststrømmen (Figur 7.3-4). Det er mindre forskjell i nitratkonsentrasjonen mellom Kattegat og Kyststrømmen, men det er likevel markert høyere konsentrasjoner i vår kyststrøm vinter, vår og høst. Det kan ha sammenheng med tilførsler fra sydlige Nordsjøen. Med hensyn til fosfat var det liten eller ingen forskjell mellom konsentrasjoner målt ved Anholt og ved Arendal.

Også for Tot-P og Tot-N er årsvariasjonen nokså lik i Kattegat og i Kyststrømmen (tot-P og tot-N måles ikke ved Helgoland) og konsentrasjoner er markert høyere i vår kyststrøm i april (tot-N) og mai-juni (tot-N og tot-P) (figurer i annex 7). N/P-forholdet har følgelig også nokså lik årsrytme, men klart høyere N/P-forhold i Kyststrømmen i mai-juni og september-november (figur i annex 7). Forholdet mellom næringssalter kan ha betydning for algevegetasjonen. For planktonalger fører et skjevt forhold til økt fare for oppvekst av giftige alger.



Figur 7.3 Månedsgjennomsnitt av nitrat+nitritt i overflatevannet.



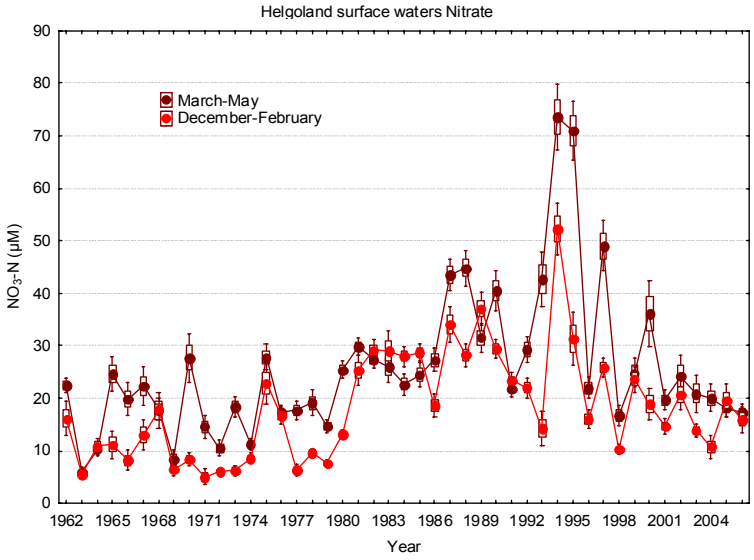
Figur 7.4 Månedsgjennomsnitt av fosfat i overflatevann.

7.2 Tidsgradient

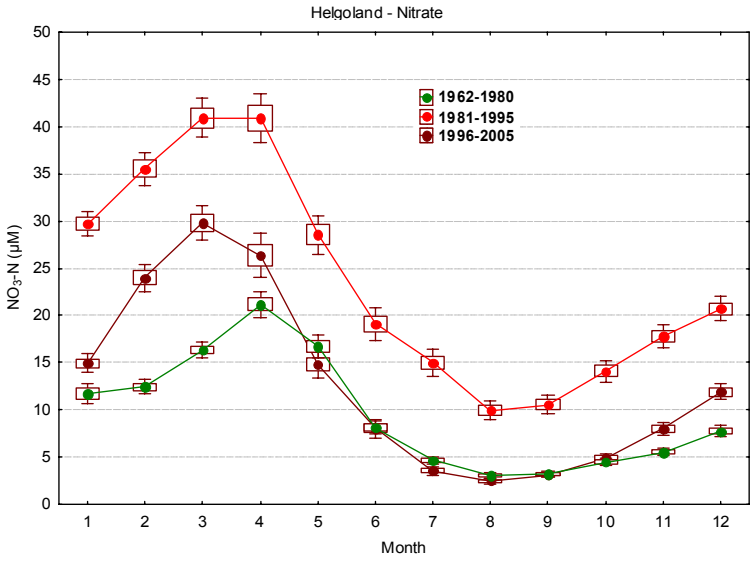
Tyskebukta

Tidsutviklingen for konsentrasjonen av nitrat (vinter/vår) i overflatevannet ved Helgoland viser en 4-dobling fra 1962 til 1995 (Figur 7.5). Rundt 1980 stabiliserer konsentrasjonen på et høyere nivå (opp mot 30µM) enn tidligere og øker til over 40 µM i 1987-8 og 1990. Toppen nåes i flomårene 1994-5 (over 70µM). Etter 1995 har konsentrasjonen av nitrat avtatt betydelig og er i 2004-5 omtrent tilbake på 1980-nivå (Figur 7.6). I den siste perioden ble det målt spesielt høye vinterkonsentrasjoner i 1997 og 2000. Nitrat/fosfat-forholdet økte frem til 1997 og har deretter avtatt til nivåer lik de i 1962-1980, unntatt vinteren 2001 som var høy.

Om det antas konstante vanntransporter fra Tyskebukta og inn i Skagerrak, har nitrogenbidraget til vår kyststrøm avtatt betydelig i perioden 1996-2005, etter en markert økning i perioden 1981-95, men årstransporten er fortsatt større enn i perioden 1962-80. Den kraftige økningen fra 1980 fram til 1995 kan ha betydning for konkurransen mellom makroalger på hardbunn og være medvirkende årsak til skifte i vegetasjon.



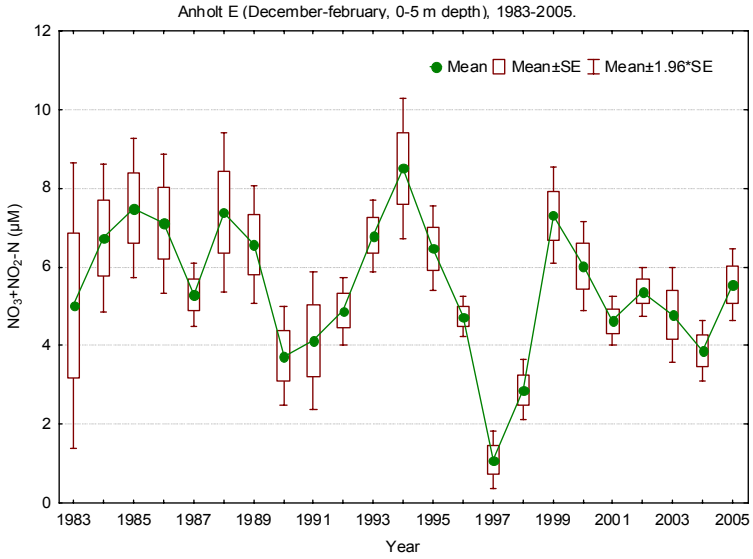
Figur 7.5 Nitratkonsentrasjoner i overflatevann vinter og vår ved Helgoland 1962-2005



Figur 7.6 Månedsverdier av nitrat i overflatevann ved Helgoland i periodene 1962-80, 1981-95 og 1996-2005.

Kattegat

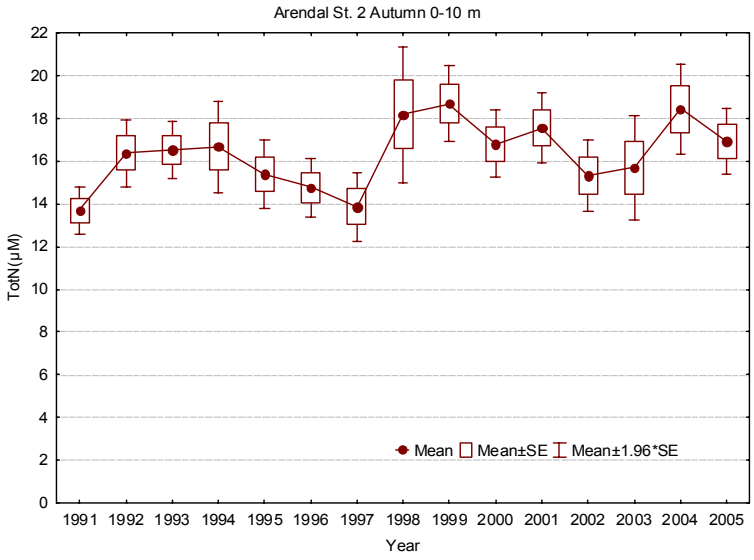
Tilførselen av vann fra Kattegat til vår kyststrøm er betydelig mindre enn fra sydlige Nordsjøen, men gir like fullt et betydelig bidrag. Vannkvaliteten i Kattegat er målt på overvåkingsstasjon øst av øya Anholt. Dataserien fra 1983 til 2005 viser ingen tydelig trend for nitrat, men 1996 var et år med klart lavere konsentrasjoner som også reflekterer seg i vinterverdiene for 1997 i figur 7.7. Fosfor viste avtakende konsentrasjoner (Figur i annex 7). N/P vinterstid viser ingen trend i materialet, men forholdstallet er mindre enn Redfield-forholdet.



Figur 7.7 Tidsgradient for konsentrasjonen av nitrat målt ved Anholt i Kattegat

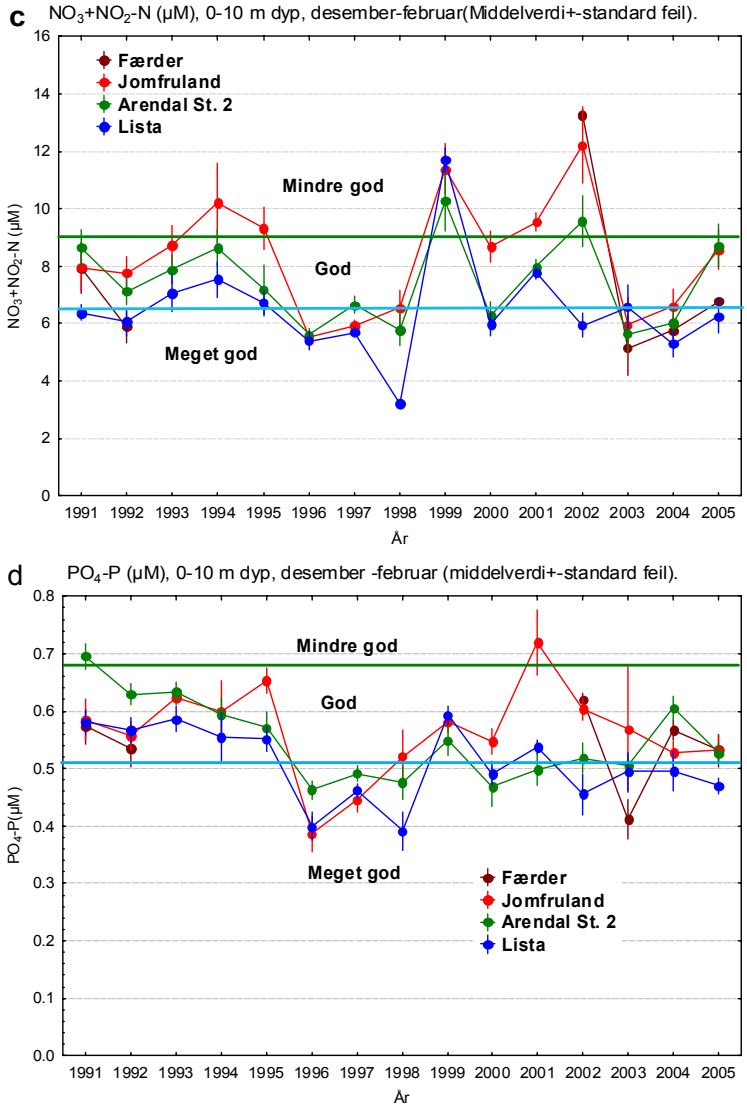
Kyststrømmen

Kystovervåkingsprogrammet har siden 1990 overvåket vannkvalitet i Kyststrømmen langs kysten av Sør-Norge med stasjoner ved Færder, Jomfruland, Arendal, Lista og Utsira. Som vist innledningsvis er kvaliteten i kystvannet bestemt av både lokale og langtransporterte tilførsler.



Figur 7.8 Total-nitrogen (Tot-N) målt i kystvannet (0-10m dyp) utenfor Arendal om høsten (Kystovervåkingsdata).

Analysen av overvåkingsdataene viser en økning i konsentrasjonen av nitrogen i kystvannet målt utenfor Arendal (illustrert ved høstkonsentrasjoner av totalnitrogen i Figur 7.8). Spesielt i årene 1998-2001 og 2004-2005 ble det målt høye konsentrasjoner. Tot-N er både løste salter og nitrogen bundet i plankton og partikler. Økningen i siste periode (etter 1996) synes ikke å harmonere med reduserte kontinentale elvetilførsler. Det kan reflektere økt vanntransport fra sydlige Nordsjøen og/eller økte lokale bidrag.



Figur 7.9 Vinterkonsentrasjoner av nitrat+nitritt (figur c) og fosfat (figur d) i kystvannet (0-10m dyp) (Kystovervåkingsdata). SFTs grenser for miljøtilstand er markert (SFT 1997).

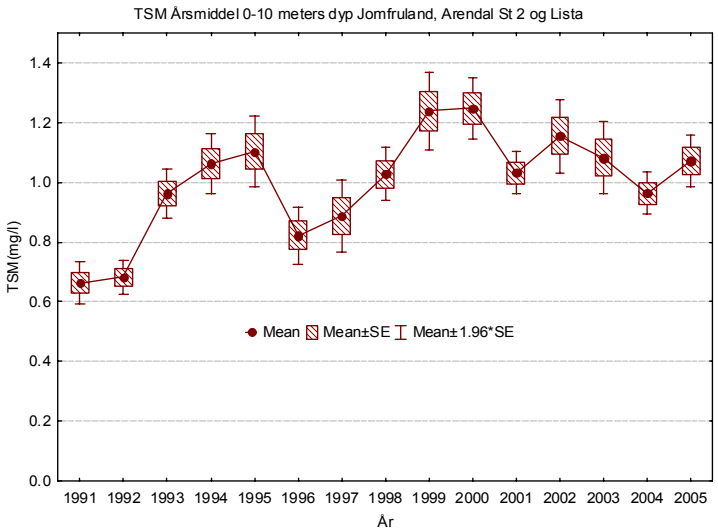
Konsentrasjonen av nitrat i kystvannet vinterstid utenfor Arendal (Figur 7.9) viser store årsvariasjoner og ingen nedgang i perioden. Høye konsentrasjoner ble målt i 1999, 2002 og 2005.

Vinterkonsentrasjoner av fosfat (figur 7.9) viser også store variasjoner fra år til år. Karakteristisk for utviklingen i perioden er høye konsentrasjoner målt i 1991-94, lave konsentrasjoner i perioden 1996-98 og deretter svært variable konsentrasjoner både mellom år og stasjoner. Etter den store høstflommen i 2000 ble det målt spesielt høy fosfatkonsentrasjon i kystvannet utenfor Jomfruland.

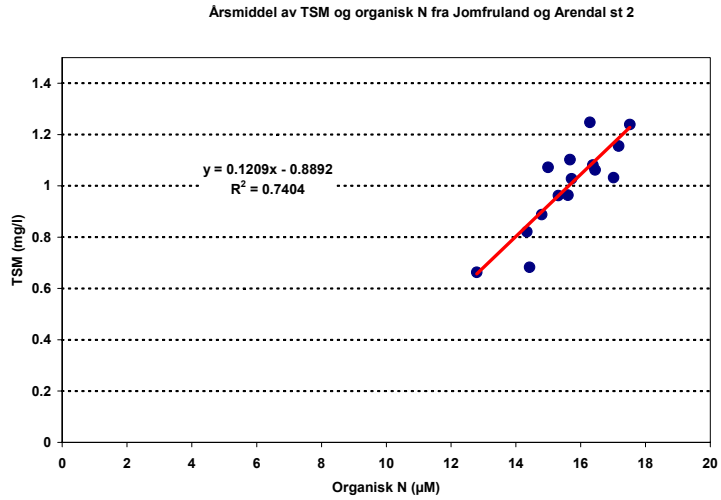
Løste salter av nitrogen og fosfor, hovedsakelig nitrat og fosfat, tas raskt opp av alger og er brensel for algeproduksjon.

7.3 Partikler i kystvannet

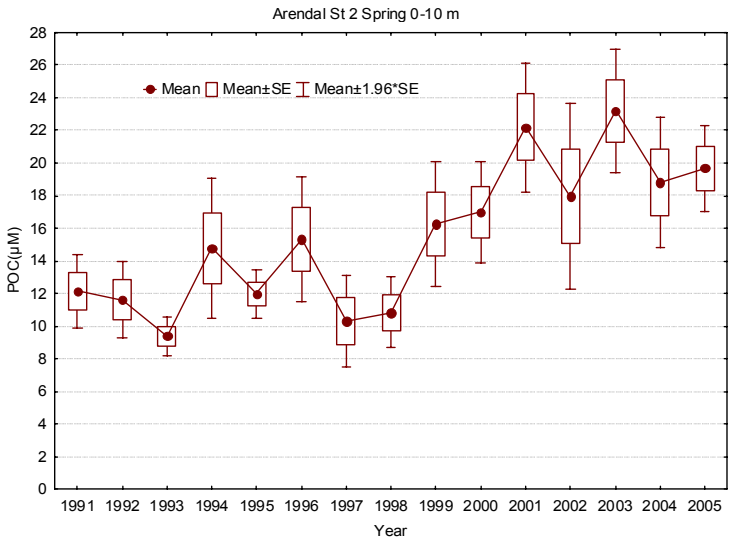
Grumsete vann og nedslamming av sjøbunnen har vært fokusert i forbindelse med bortfall av sukkertare. Kystovervåkingsprogrammet måler partikler både som totalt suspendert materiale (TSM) og som partikulært bundet karbon, nitrogen og fosfor (hhv. POC, PON, POP). Utviklingen over tidsperioden 1991-2005 vises i utvalgte figurer nedenfor. Flere figurer er vist i annex 7. Statusrapport nr 2 fra sukkertareprosjektet viste at det var spor av kontinentale mineraler i bunnslamprøver fra Sørlandskysten, men at lokale leirmineraler dominerte.



Figur 7.10 TSM-Totalt suspendert materiale i kystvannet (0-10m) av Skagerrak (årsmiddel). Kystovervåkingsdata.



Figur 7.11 Total suspendert materiale (TSM) mot organisk bundet nitrogen i kystvannet utenfor Jomfruland-Arendal.



Figur 7.12 Partikkelbundet organisk karbon (POC) målt i kystvannet (0-10m) utenfor Arendal om våren. Kystovervåkingsdata

Konsentrasjonen av partikler i kystvannet har økt signifikant siden målingene i Kystovervåkingsprogrammet startet i 1990 (Figur 7.10). Spesielt er partikkelmengden høy i tilknytning til flomepisoder i 1994-95 og 1999-2000.

Det viser seg å være god korrelasjon mellom partikler (TSM) og organisk bundet nitrogen definert som Tot-N minus (NO_3 + NO_2 + NH_4) (Figur 7.11). Det indikerer at partiklene i hovedsak er organisk materiale som for eksempel planktonalger. (Dyr er filtrert bort før analyse.)

Konsentrasjonen av partikkelbundet organisk karbon i kystvannet har økt signifikant siden 1998 og ligger på nær det dobbelte av tidligere nivå (Figur 7.12).

Resultatene fra planktontellingene indikerer at den økte mengden av organisk materiale målt i kystvannet ikke er levende algeplankton som kan omsettes i næringskjeden på normal måte, men er annet organisk materiale for eksempel detritus, dvs. døde rester av alger og dyr.

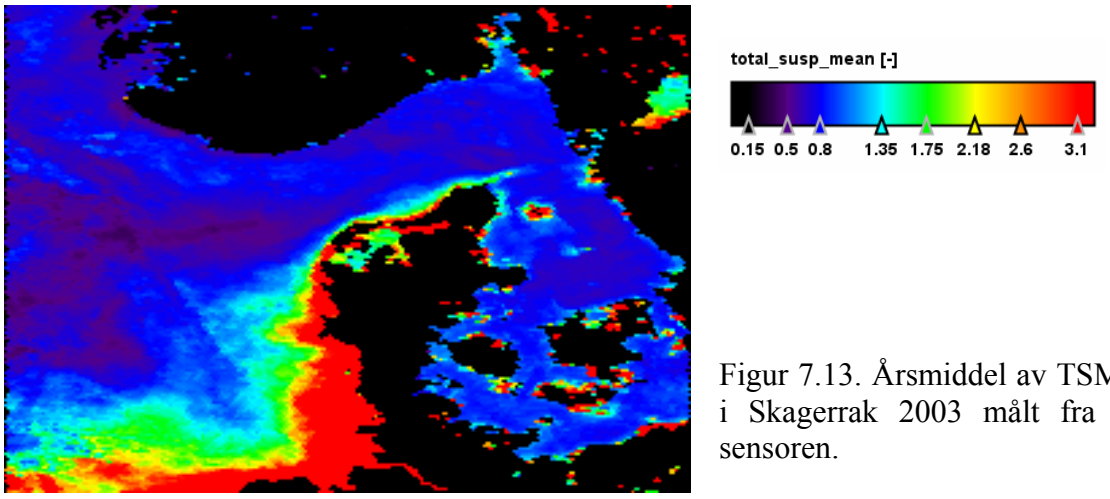
Økt mengde organisk materiale som detritus, er en utvikling i feil retning som kan bidra til nedslamming og negative forhold for sukkertare.

7.4 Partikler i Skagerrak og Nordsjøen

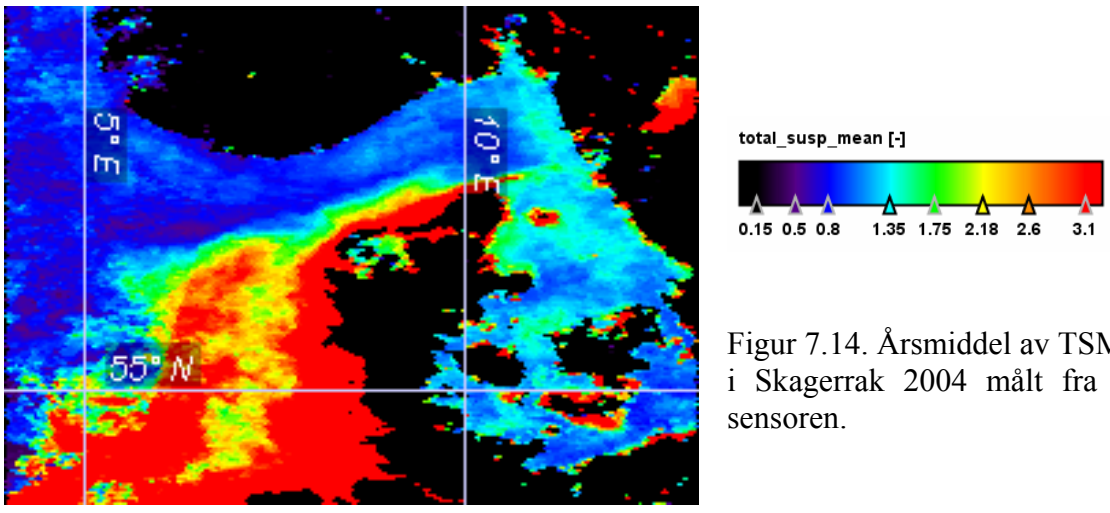
Det er sammenstilt et utvalg av satellittdata og Ferryboxdata fra Skagerrak og Nordsjøen med hensyn på å belyse partikler og deres konsentrasjon og transport. Satellittdata som kan måle TSM med rimelig nøyaktighet er tilgjengelig fra 2002, men i denne sammenheng er kun data fra 2003 og 2004 analysert, samt en enkeltepisode fra 2005. Videre er turbiditets-målinger utført med Ferrybox systemet i Skagerrak analysert for 2003 og 2004. "Color Festival" dekker strekningen Oslo (60 N) til Hirtshals (57.5 N).

Det er en generell antakelse at det er en nettotransport av partikler fra søndre Nordsjøen til Skagerrak der det meste av materialet sedimenterer i Norskerennen. Eisma & Kalf (1987) estimerte en akkumulasjon på mellom 4-7*10^6 tonn/år. For hele Norskerennen ble det senere beregnet en akkumulasjon på 17*10^6 tonn/år (North Sea Task Force, 1993). Van Weering et.al. (1987) observerte at de høyeste sedimentasjonsratene var i den nordøstre delen av Skagerrak. Transporten inn i Skagerrak varierer med styrken og retningen på Jyllands-strømmen og den er stor ved sør-sørvestlige vinder (Jakobsen, 2000). Det kan således være betydelige årlige variasjoner i transporten av vann fra søndre Nordsjøen inn i Skagerrak (se også kap. 8 Havsirkulasjon).

Se man på gjennomsnittlig TSM mengder for 2003 og 2004 (figur 7.13 og 7.14) så viser den relativt høye TSM-konsentrasjoner i Tyskebukta, som advekteres med Jyllandstrømmen mens konsentrasjonen avtar.



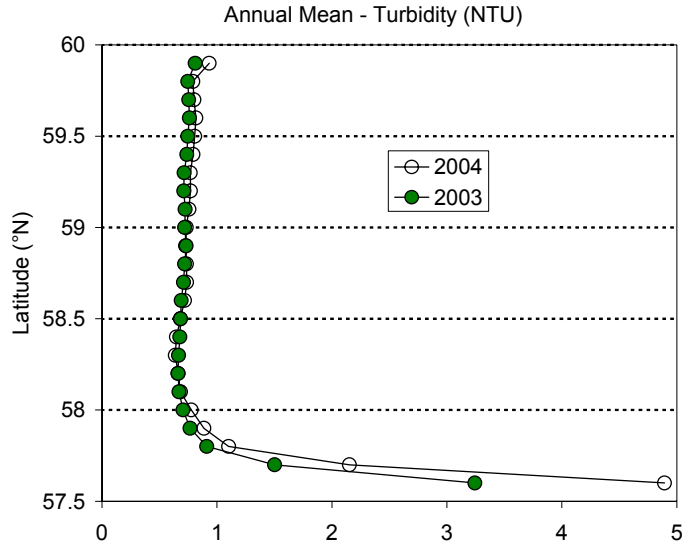
Figur 7.13. Årsmiddel av TSM (g/m^3) i Skagerrak 2003 målt fra MERIS sensoren.



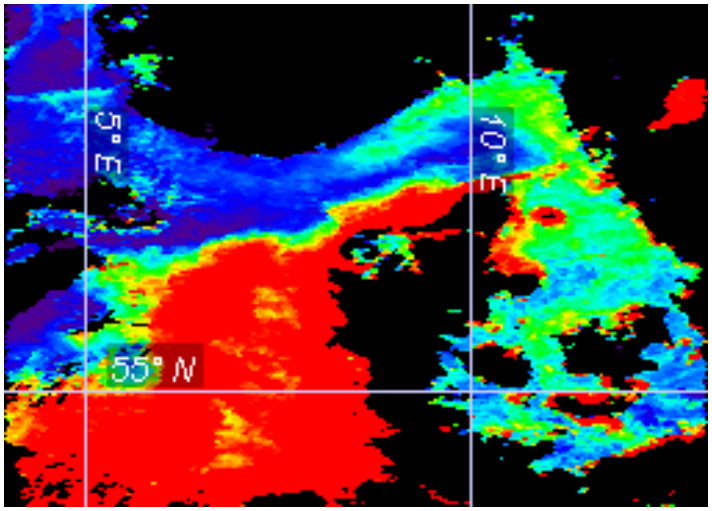
Figur 7.14. Årsmiddel av TSM (g/m^3) i Skagerrak 2004 målt fra MERIS sensoren.

Med den valgte oppløselighet i TSM (ca 0.3 mg/l for TSM < 1 mg/l) i figurene over er det kun neglisjerbare mengder som vises i de østlige deler av Skagerrak/nordlige Kattegat i 2003, og noe mer i 2004 som skyldes større bidrag fra vintermånedene januar og februar. På årsbasis er det heller ingen "signaler" som tyder på noen partikkeltransport direkte fra Jyllandstrømmen over til den norske kyststrømmen.

På strekningen Hirtshals-Oslo er det for 2003 og 2004 målt turbiditet på 4 meters dyp med Ferrybox systemet på Color Festival. Det gir gjennomsnittlig noe høyere verdier for 2004 på Danskekysten og i Skagerrak nord til 58 grader (Figur 7.15). Årsmidler avdekker ikke så store forskjeller fra år til år, men ser man på de enkelte måneder, er det vintermånedene som har de høyeste konsentrasjoner av TSM i Nordsjøen, illustrert her for mars 2004 (Figur 7.16). Her ser man også høyere konsentrasjoner i nordlige Skagerrak og på Sørlandskysten. Noe av bidraget til TSM kommer fra våroppblomstringen av planteplankton, men den kuliminerte tidlig i mars så den forklarer ikke alt.



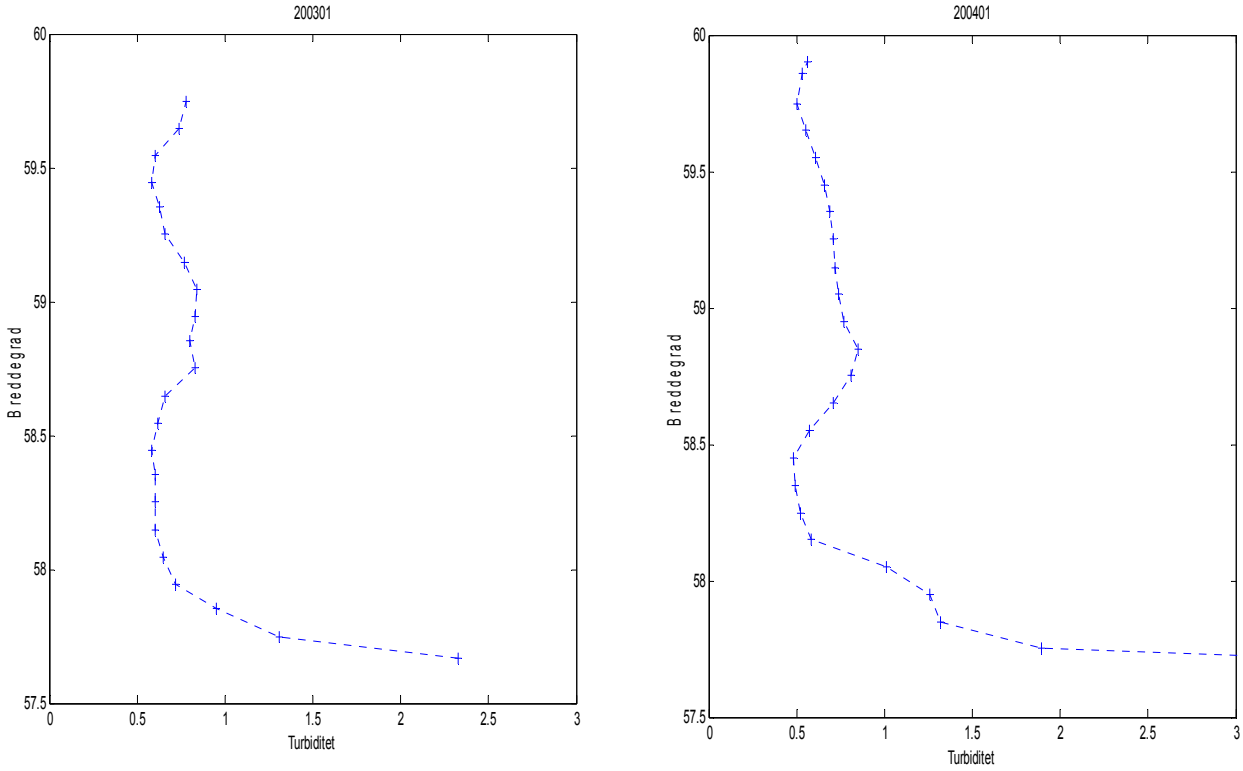
Figur 7.15. Turbiditet (~TSM) mellom Hirtshals (57.6) og Oslo (59.9) for 2003 og 2004



Figur 7.16. Månedsmiddel av TSM (g/m^3) i Skagerrak i mars 2004 målt fra MERIS sensoren.

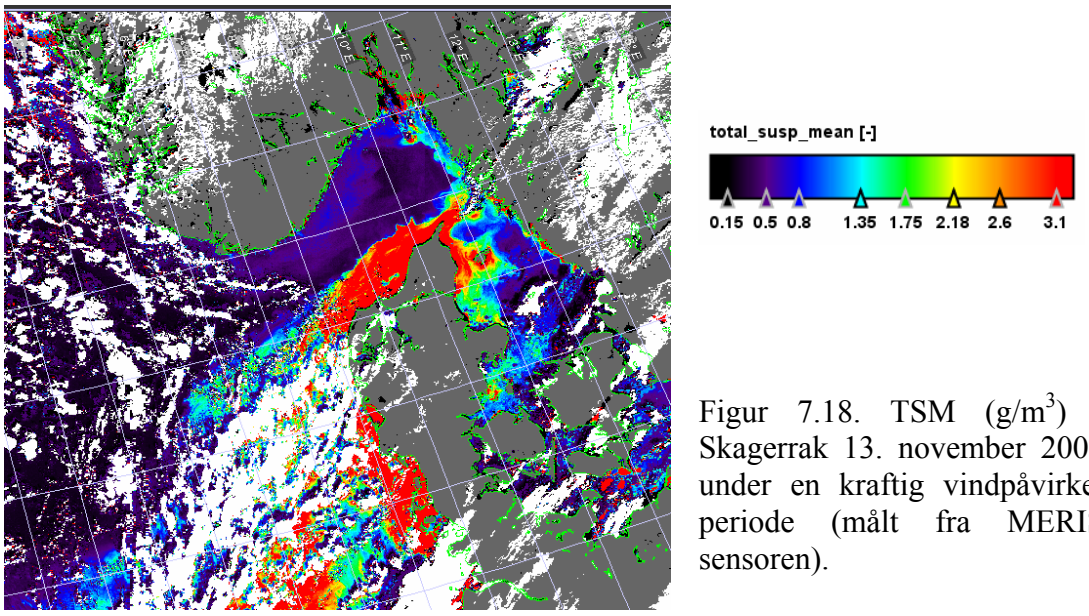
Data fra 2003 og 2004 bekrefter hva som tidligere har vært kjent, at vi har en adveksjon av partikler fra Tyskebukta med Jyllandsstrømmen. Videre ser vi at den potensielle transporten fra Tyskebukta er størst i forbindelse med flomsituasjoner, hvis vindforholdene skulle være gunstige. I 4-5 måneder av året har man meget høye partikkelmengder i Tyskebukten som arealmessig er større en Skagerrak. Den høye konsentrasjonen i søndre Nordsjøen dekker et så stort område både i årsmidlet og i vintermånedene at det ikke kan forklares kun med avrenning fra land (dvs. Elben). Tilførsler av partikler fra den Engelske kanal og elver som Rhinen og/eller resuspensjon av bunnsedimenter etter kraftige stormer kan være med å forklare situasjonen.

Vintermånedenes bidrag ser man også fra turbiditetsmålinger fra Color Festival (figur 7.17). Det er betydelig høyere partikkelmengder på Danskesiden, men også forhøyede partikkelmengder i deler av Skagerrak (58.5-59.0 N). Partiklene i de sentrale delene for disse månedene vil mest sannsynlig gå inn i den norske kyststrømmen og påvirke Sørlandskysten. Også her må man se om disse konsentrasjonene mengdemessig betyr noe for partikkelbelastingen relativt til lokale tilførsler etc.



Figur 7.17. Turbiditet i Skagerrak mellom Hirtshals og Oslo for vintermåneden januar for 2003 (venstre) og 2004 (høyre).

Under en stormperiode i november 2005 med mye oppvirvling av partikler i grunne områder ble det registrert høye partikkelmengder utenfor Danskekysten gjennom data fra Ferrybox systemet mellom Hanstholm-Bergen og Hirtshals-Oslo. Dette ble bekreftet av satellittdata (figur 7.18) og høyere konsentrasjoner ble funnet i hele Nordsjøen, helt over til Storbritannias østkyst og i den engelske kanal. Fra den 13. november 2005 er det er helt tydelig at langtransporterte partikler fra Danmarks Vestkyst kommer inn til Svenskekysten og transporteres nordover og inn i den norske kyststrøm.



Figur 7.18. TSM (g/m^3) i Skagerrak 13. november 2005 under en kraftig vindpåvirket periode (målt fra MERIS sensoren).

Ut fra satellittdataen fra denne episoden, som bekreftes av Ferrybox dataene, så er det tydelig at det under slike episoder kan tilføres partikler til den norske Skagerrakkysten.

Oppsummert så vil det i 4-5 måneder spesielt vinterstid finnes betydelige partikkelmengder i Tyskebukta. Dette er en potensiell kilde for en videre transport inn i Skagerrak ved denne årstiden når vindforholdene er de rette. Vel inne i Skagerrak vil de delta i områdets normale strømtransporter og kunne nå sørlandskysten. Observasjonene viser også at det kan være store årlige variasjoner. I enkeltsituasjoner vil kraftig vind erodere sedimenter langs danskekysten og kan ved vestlige vinder føre erodert materiale inn i indre Skagerrak.

Tidligere beregninger har vist at nordøstlige Skagerrak og Norskerennen er sedimentasjons-område for partikler som i stor grad tilføres fra Nordsjøen. Observasjoner fra "Color Festival" og satellittbildene fra 2003-2005 viser at partikkelkonsentrasjonen i sørlige Nordsjøen er størst i vintermånedene og derved en mulighet for stor transport av partikler i denne perioden. At de reelt transporterte mengdene kan varierer i ulike år er også vist, men det gjenstår å kunne beregne hvor store de er, spesielt i relasjon til mer lokale tilførsler fra de norske elevene. Analyser så langt av bunnslam fra grunne hardbunnsstasjoner i sukkertareprosjektet viser spor av langtransporterte kontinentale mineraler på Sørlandet, mens det naturlig nok er lokale leirmineraler som dominerer.

8. Havsirkulasjon

Bruce Hackett og Jon Albretsen (met.no)

Langtransporterte tilførsler av næringssrikt vann fra sydlige Nordsjøen transporteres med havstrømmer opp til vår kyst og gir til tider et betydelig næringssaltbidrag. Både endring i tilførselskilder og variasjon i havsirkulasjonen med skiftende vindstyrke og retning, har betydning for hvor mye som transporteres til vårt kystvann. Sporstoff fra kilder (elver) rundt Nordsjøen ble tilsatt havsirkulasjonsmodellen og de numeriske simuleringer over en 15-års periode (1991-2005) viste at de kontinentale elvene i sydlige Nordsjøen bidrar omtrent like mye til kyststrekning Larvik-Arendal som Østlandselvene, og at bidraget fra Tyskland er omtrent likt med bidraget fra Østersjøen. Analysen viser også at bidraget fra sydlige Nordsjøen og Tyskebukta var dominerende i perioden 1994-95 og avtakende etter dette. Bidraget fra Østlandselvene på Sørlandskysten viser en økning fram mot en topp i 2001.

- -

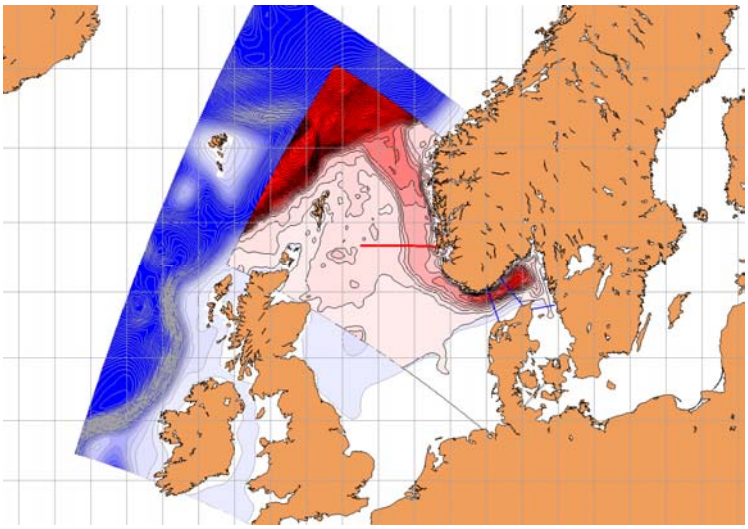
8.1 Metode

Målsettingen med denne aktiviteten er å avdekke klimatiske endringer i havsirkulasjonen og transport av sporstoff til vårt kystvann. Det ble laget numeriske simuleringer av havsirkulasjonen over en 15-års periode (1991-2005) drevet av realistisk atmosfærepådrag og de beste tilgjengelige estimater av reelle endringer i ferskvanns- og næringssalttilførsler (f.eks. nitrogen). MIPOM, met.no's numeriske havsirkulasjonsmodellsystem, ble satt opp for området Skagerrak, Kattegat og den nordlige Nordsjøen med 4 km gitterintervaller. MIPOM kjøres (hindcast) i 3-dimensjonal baroklin modus, dvs. at både de horisontale og vertikale variasjonene i temperatur, saltholdighet og strøm blir beregnet.

Atmosfærisk pådrag. Atmosfæriske data er hentet fra European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF), som lager det mest homogene og representative datasettet for den atmosfæriske tilstanden for tidsperioden. Analyserte felter av momentumfluks (vindpådrag), varmefluks og lufttrykk hver 6. time er brukt til å drive havmodellen.

Laterale randdata. Pådrag fra havet utenfor modellens beregningsområde hentes fra en større modell som dekker hele Nordsjøen (se figur 8.1). Denne modellen bruker den samme numerisk koden (MIPOM), men beregningsgitteret er både større og har et gitterinterval som er mye grovere (20 km). I praksis kjøres 20 km modellen først og dataene lagres for å gi laterale randbetingelser til den nestete 4 km modellen. På randen til den større modellen brukes klimatologiske verdier for temperatur, saltholdighet og strøm samt tidevannspådrag. Tidevannseffektene er således tilstede i begge modellene. Pseudo-N konsentrasjonen er satt til null på rendene av den større modellen, idet pålitelige estimater av totN konsentrasjon – og ikke minst endringene over tidsperioden - langs disse rendene mangler. Dermed er innflytelsen av endringer i totN fluks fra Atlanterhavet ikke inkludert i simuleringen.

Havmodellens område inkluderer ikke Østersjøen eksplisitt. For å representere utveksling av vann med Østersjøen blir det kjørt en separat barotrop (ingen dybdevariasjoner) versjon av MIPOM for Østersjøen og Kattegat. Denne modellen ble kjørt i forkant av hovedkjøringen med atmosfærepådragene (kun vind og lufttrykk) fra ECMWF. Den gir tidsserier av volumfluks gjennom Bæltene og Øresund hver 6. time for hele perioden. Disse dataene blir deretter brukt i hovedkjøringen som randdata.



Figur 8.1 Modellområder for simuleringene. Fargeleggingen viser dybdematrisen som er brukt i modellene. Hovedmodellen (4 km gitter) er vist i lyserøde farger. De lyseblå fargene viser den ytre modellen (20 km gitter) som gir laterale randbetingelser til hovedmodellen. De 4 røde og blå linjene utfra norskekysten viser vertikalsnittene.

Elver og sporstoff ("pseudo-N"). For å estimere den relative innflytelsen av tilførsler fra forskjellige ferskvannskilder, har vi først samlet de beste tilgjengelige dataene for volumfluks og nitrogentilførsler fra de viktigste elvene rundt Nordsjøen i den aktuelle perioden. Dataene stammer fra en rekke forskjellige kilder og er svært inhomogene mhp. måleenhet, tidsoppløsning, m.m. For elver fra Storbritannia (UK) har vi fått data fra CEFAS, mens for de andre kildene har dataene blitt skaffet tilveie av NIVA. For å få til et mest mulig homogent sett med inngangsdata til modellen har vi konvertert alle dataene til månedsestimater av volumfluks (m^3s^{-1}) og konsentrasjon av totN (mg l^{-1}). Detaljer om datasettet finnes i tabell 8.1. Disse dataene bør gjenspeile de viktigste endringene i volumfluks og totN konsentrasjon fra landkildene som man regner med vil kunne influere den sydlige kysten av Norge.

Volumfluksdataene er implementert som et alternativ til de klimatologiske dataene som vanligvis brukes i met.no's havmodeller. For å kartlegge innflytelsen til forskjellige ferskvannskilder, er det implementert en rekke passive sporstoffer som tilføres ved elveutløpene. Det gjør det mulig å følge ferskvannet fra de forskjellige kildene gjennom hele havområdet.

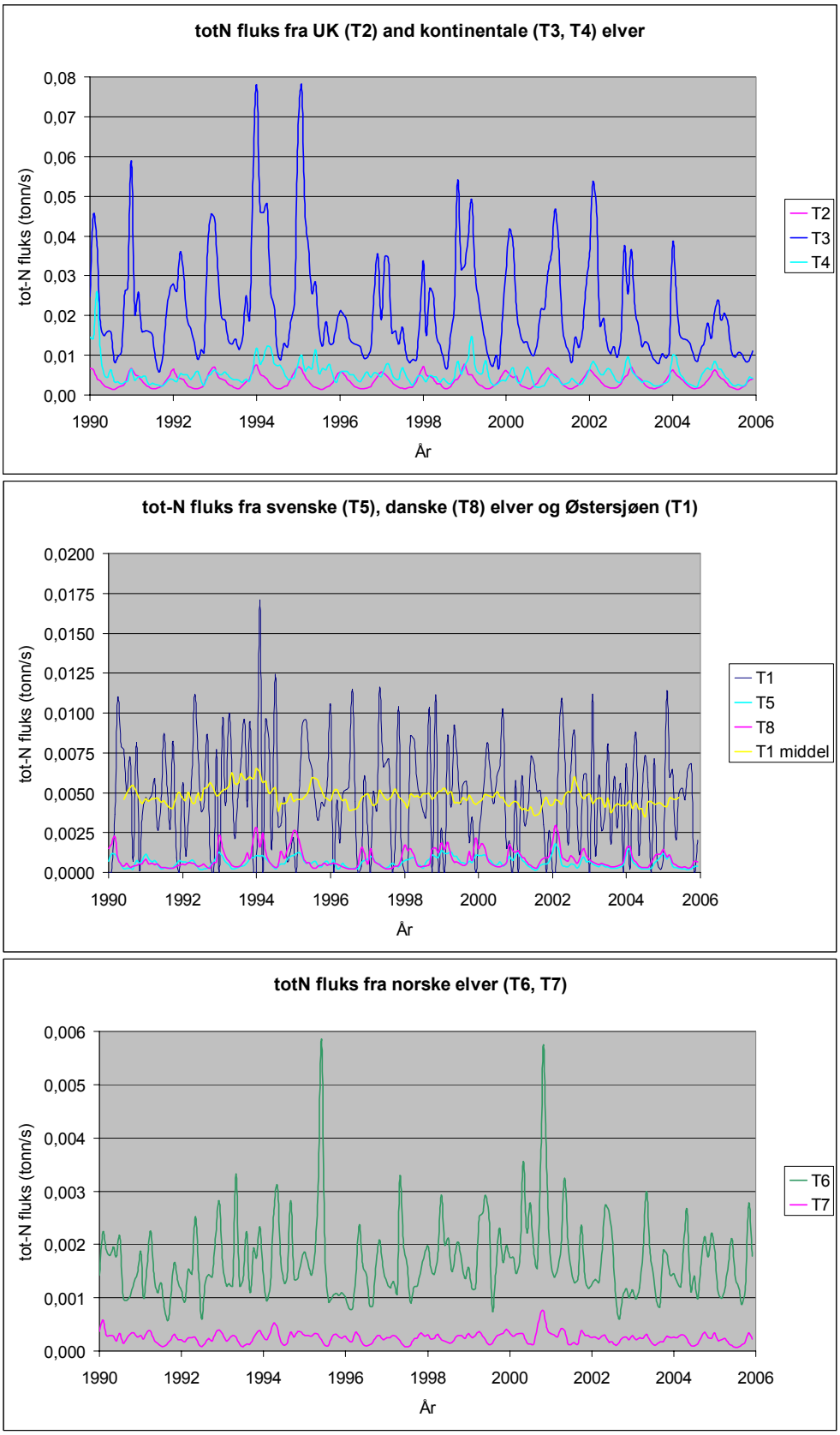
I tillegg er disse passive sporstoffene gitt samme konsentrasjon som totN for den aktuelle elven. Det er imidlertid ikke helt riktig å identifisere disse sporstoffene som totN gjennom hele havområde etter hvert som simuleringen går frem. Modellen har ingen biokjemiske prosesser som er aktive på nitrogen, og det er kun spredning gjennom adveksjon og diffusjon som endrer konsentrasjonen når sporstoffet er kommet ute i havet. Derfor har vi valgt å benytte betegnelsen pseudo-N på spredning med havsirkulasjonen. Bruken av reelle totN konsentrasjoner ved kildene er gjort for å gi et noe bedre estimat av effekten av endringer i tilførslene og endringer i sirkulasjonsmønsteret. Av hensyn til regnetid må man begrense antall sporstoffer som beregnes. I dette tilfellet er det identifisert åtte N kilder og elvene er gruppert innenfor disse åtte som vist i tabell 8.2. Fluksen av totN er beregnet som produktet av vannføringen og konsentrasjonen. Tidsserier av fluksene er summert over elvgruppene i tabell 8.2 og figur 8.2.

Tabell 8.1 Beskrivelse av volumfluks og totN-konsentrasjon data benyttet som inngangsdata til modellkjøringen.

REGION / LAND	DATAKILDE	TILRETTELEGGING
Østersjøen	NIVA: totN-konsentrasjon ble hentet fra klimatologiske månedsmidler for de to periodene 1990-1999 og 2000-2005.	Vi interpolerte de klimatologiske verdiene i tid for årene 1995 til 2002 mellom de to datasettene.
Storbritannia (Tweed, Wash, Forth, Tyne, Tees, Humber og Themsen)	Rådataene ble formidlet av the Environment Agency and the Scottish Environment Protection Agency, UK.	Rådataene ble prosessert av CEFAS (S. M. van Leeuwen).
Belgia, Nederland, Tyskland (Scheldt, Rhinen, Haringvliet, Massluis, Nordzeekanal, Lake IJssel, Ems, Weser og Elben)	NIVA: Komplette tidsserier av volumfluks og totN-konsentrasjon ble formidlet for Rhinen. Enkelte hull forekom for de andre elvene.	Data manglet for årene 2003-2005, men hver tidsserie av volumfluks og totN-konsentrasjon ble korrelert med tilsvarende tidserier for Rhinen.
Danmark (flukser til Nordsjøen, Skagerrak og Beltehavet)	NIVA: Volumfluks og totN-konsentrasjoner ble formidlet av DMU for perioden 1993 til 2005. Dataene fra Beltehavet dekket hele perioden fra 1990.	Verdiene som manglet ble funnet gjennom korrelering med dataene fra Beltehavet. Legg også merke til at volumfluksverdiene for Beltehavet ble skalert for å passe de klimatologiske verdiene som er lagret ved met.no. De originale dataene er gyldige for et område som er større enn modellområdet, og den resterende volumfluksen må betraktes som en del av vannutvekslingen med Østersjøen.
Sverige (Lagan, Nissan, Ætran, Viskan og Gøta)	NIVA: Volumfluks og totN-konsentrasjoner ble formidlet for årene 1990-2000.	Tidsseriene med volumfluks og totN-konsentrasjon ble forlenget ved å korrelere med tilsvarende verdier fra de danske elvene i Beltehavet.
Norge (Glomma, Drammenselva, Numedalslågen, Skienselva, Nidelva, Otra, Tovdalselva og Mandalselva)	NIVA: Stasjonsdata ble formidlet for hele simuleringsperioden.	Legg merke til at manglende tidsserie av volumfluks for Mandalselva ble kompensert med å bruke klimatologiske verdier.

Tabell 8.2 Liste over elvene som tilhører en sporstoffgruppe. NB! Kildene til sporstoff nr. T2 og T3 ligger utenfor området til 4 km modellen, men innenfor 20 km området. Disse to sporstoffene kommer inn i 4 km modellområdet som randbetingelser.

Nr.	**Kortnavn**	**Elver inkludert**
T1	BALT	Østersjøen (Lille Bælt, Store Bælt, Øresund)
T2	UK	UK (Tweed, Wash, Forth, Tyne, Tees, Humber og Themsen)
T3	BeNe	Belgia-Nederland-Tyskland (Scheldt, Rhinen, Haringvliet, Massluis, Nordzeekanal, Lake IJssel og Ems)
T4	EW	Tyskland (Weser og Elben)
T5	SE	Sverige (Lagan, Nissan, Ætran, Viskan og Gøta)
T6	NØ	Norge øst for Torungen (Glomma, Drammenselva, Numedalslågen og Skienselva) – ”Østlandselvene”
T7	NV	Norge vest for Torungen (Nidelva, Otra, Tovdalselva og Mandalselva) – ”Sørlandselvene”
T8	DK	Danmark (til Nordsjøen, til Skagerrak og til Bæltehavet)



Figur 8.2 Månedsmidlet totN flukser fra elvgruppene definert i tabell 8.2.
NB! Vertikalskalaene er forskjellige.

8.2 Resultater

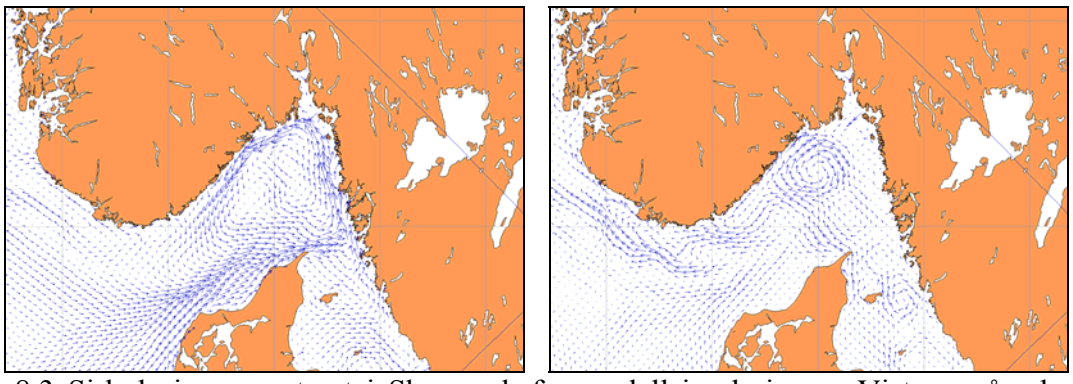
Modellkjøringen produserer direkte to datasett:

A. Døgnmidlete horisontalfelter av temperatur, saltholdighet, strøm og konsentrasjon for de 8 sporstoffene ved 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 m dyp. Tilgjengelige som binære datafiler i "feltformat".
B. Døgnmidlete vertikalsnitt av samme variable ved Torungen-Hirtshals, Hanstholm-Oksøy, Utsira-vest, Fredrikshavn-øst. Tilgjengelige som binære datafiler i "feltformat".

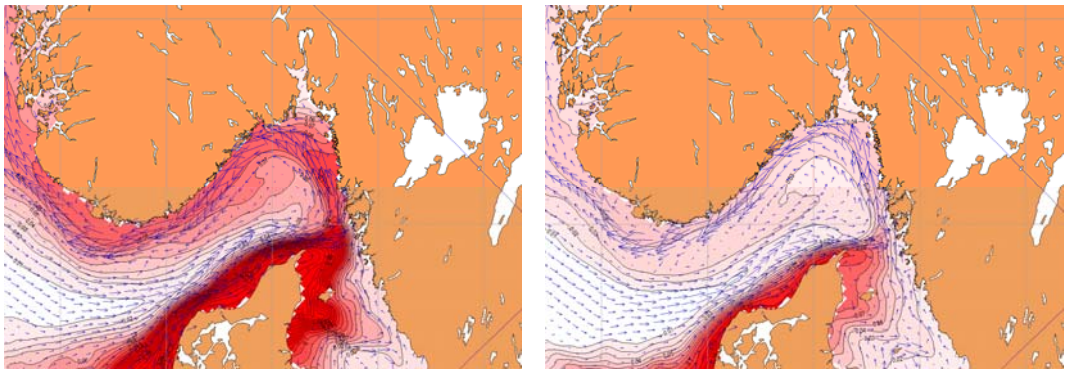
Fra disse dataene lages det spesielle produkter for analyse:

1. Månedmidlete horisontalfelter; alle variable; alle dyp. Tjener som utgangspunkt for videre bearbeiding. Tilgjengelige som binære datafiler i "feltformat". Visualiseres ved animasjoner i utvalgte dyp. Eksempler er vist i figur 8.3.
2. Månedmidlete horisontalfelter; alle variable; midlet over 0-20 m dyp. Tilgjengelige som binære datafiler i "feltformat". Visualiseres ved animasjoner.
3. Døgnsmidler ved alle gitterpunkter langs norskekysten; temperatur og sporstoff; midlet over 0-20 m dyp. Gir tidsserier ved alle modellens "kyststasjoner". Tilgjengelige som regneark.
4. Månedsmidler ved alle punkter langs norskekysten; temperatur og sporstoff; midlet over 0-20 m dyp; midlet over kystregioner: svenskegrense-Larvik, Larvik-Kristiansand, Kristiansand-Egersund, Egersund-Bergen. Gir uttrykk for den samlede dosen av sporstoffene (og varmen) på kyststrekningene. Tilgjengelige som regneark. Eksempler på disse dataene er vist i figur 8.4 og figur 8.5.
5. Månedmidlet volumfluks og sporstoffluks gjennom de fire snittene; midlet over snittet og 0-150 m dyp; "inn + ut + netto". Tilgjengelige som regneark. Eksempler på disse dataene er vist i figur 8.6 og figur 8.7.

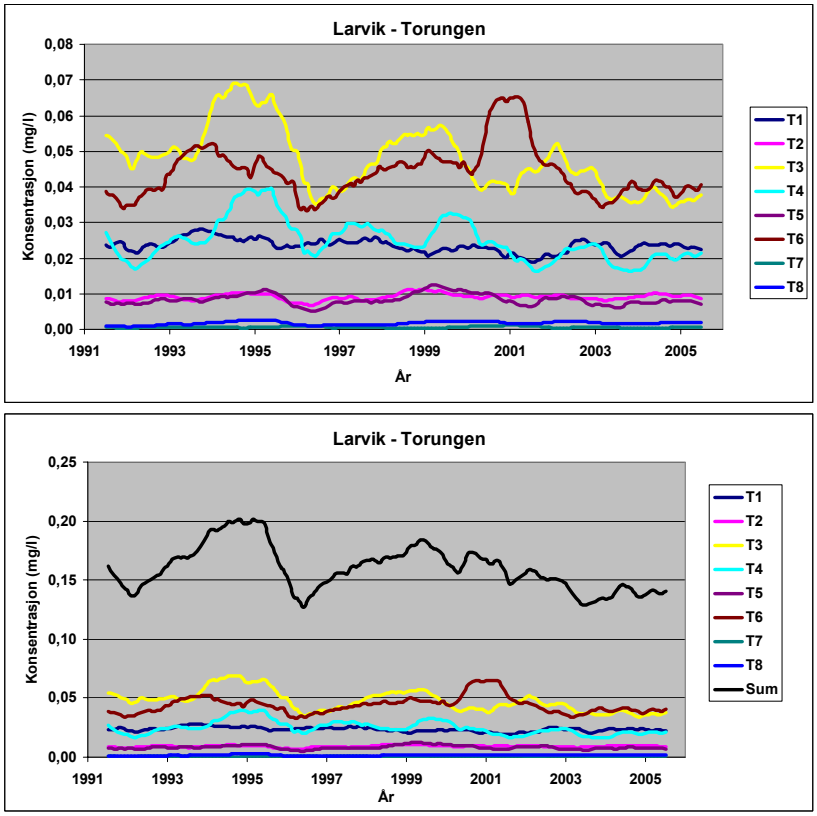
Som det går frem av listen har vi fokusert på månedsmidler i analysen. Denne midlingen gir et mer oversiktlig datasett, men beholder likevel det vesentlige av mellomårlige og sesongmessige variasjoner. I tillegg har vi fokusert primært på det øvre vannlag og på norskekysten, dvs. der sukkertaren hører hjemme. Merk at produktene 1-4 er avledet hierarkisk fra A og produkt 5 fra B. Det er fullt mulig å velge andre former for midling og aggregering i rom og tid.



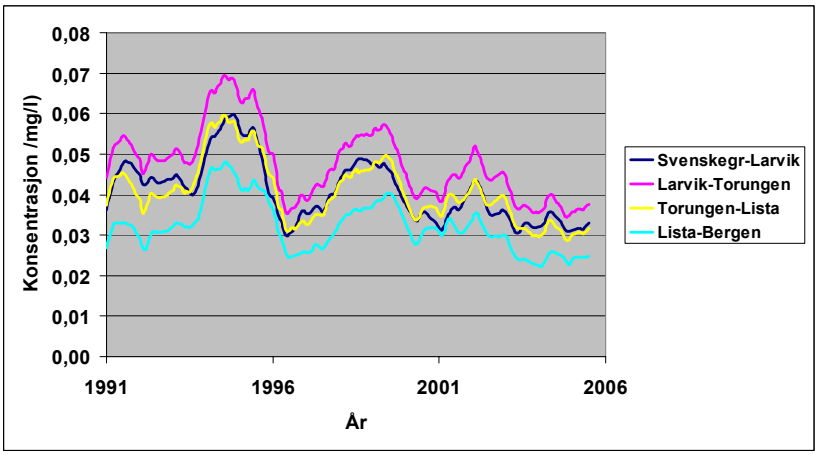
Figur 8.3 Sirkulasjonsmønsteret i Skagerrak fra modellsimuleringen. Vist er månedsmidlet overflatestrøm. Venstre panel (februar 1995) viser et typisk mønster for vinter: mot-klokke sirkulasjon, moderat kyststrøm langs norskekysten, strøm nordover langs Vestjylland og strøm nordover fra Kattegat. Høyre panel (februar 1996) viser omleggingen av mønsteret vinteren 1995-96: kyststrømmen er reversert og vannet fra Kattegat, Nordsjøen og Østlandselvene når ikke inn til Skagerrak-kysten..



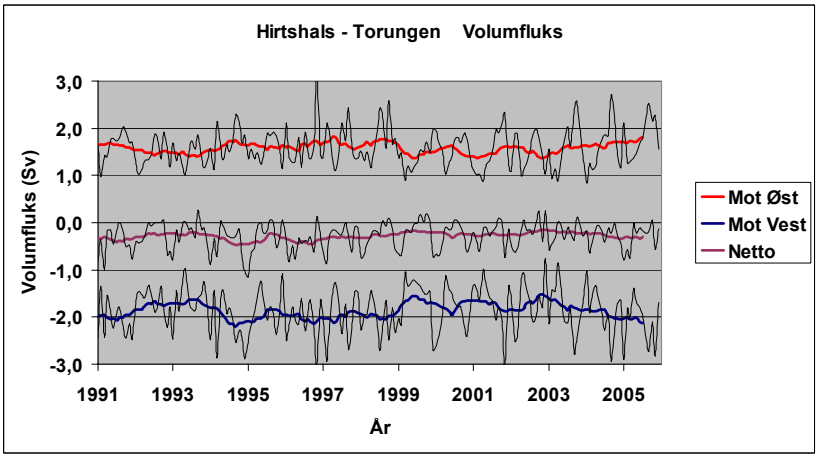
Figur 8.4 Fordeling av månedsmidlet sporstoff T3 (pseudo-N fra Belgia, Nederland og Tyskland (BeNe), jfr. Tabell 8.2) og overflatestrøm. Venstre panel (juli 1995) viser en typisk sommerfordeling med relativt høye konsentrasjoner langs kysten av Danmark, Sverige og Norge. Strømmen følger også det typiske sommermønsteret med relativt sterk strøm langs hele norskekysten. Høyre panel viser situasjonen i juli 1996, etter flere måneder med svak Jyllandsstrøm og reversert Kyststrøm. Pseudo-N konsentrasjonen langs norskekysten er halvert i forhold til året før.



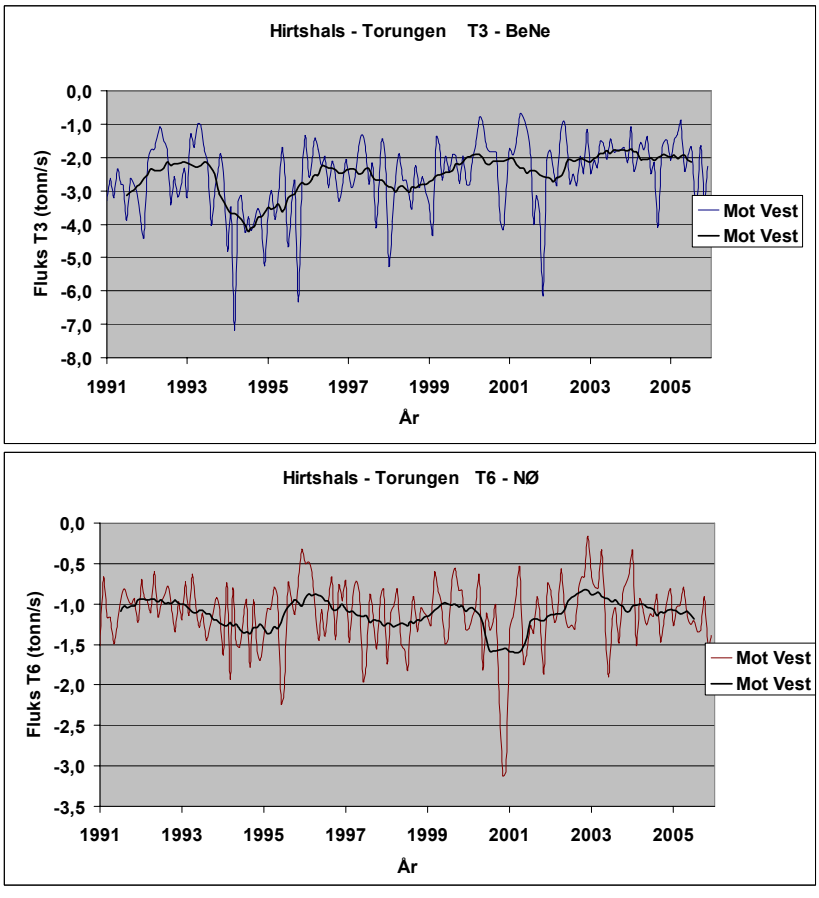
Figur 8.5 Øvre og nedre panel viser tidsserier av konsentrasjon av pseudo-N fra forskjellige kilder ved kyststrekning Larvik-Torungen. Se tabell 8.2 for kildene. Kurvene er 12-måneders glidende midler av konsentrasjon midlet over alle modellgitterpunkter langs kyststrekningen og midlet over de øverste 20 m. Nedre panel tar i tillegg med summen av de 8 kurvene.



Figur 8.6 Tidsserie av konsentrasjon av pseudo-N sporstoff T3 (fra Belgia-Nederland-Tyskland, jfr. tab. 8.2) ved de fire kyststrekningene. Kurvene er 12-måneders glidende midler av konsentrasjon midlet over alle modell-gitterpunkter langs hver kyststrekning og midlet over de øverste 20 m.



Figur 8.7 Tidsserie av volumtransport gjennom Hirtshals-Torungen-snittet.
Kurvene er månedsmidler samt 12-måneders glidende midler av transport i dybdeintervalet 0-150 m. NB Transport mot øst er positiv, mens transport mot vest er negativ. Merk perioden med sterkest bruttotransporter (mot vest og mot øst) i 1994-98.



Figur 8.8 Tidsserie av transport mot vest av pseudo-N gjennom Hirtshals-Torungen-snittet: Øvre panel fra T3-BeNe (sydlige Nordsjøen); nedre panel fra T6-NØ (østnorske elver); se tabell 8.2
Kurvene er månedsmidler av transport i dybdeintervalet 0-150 m, samt 12-måneders glidende midler.
NB! Transport mot vest er definert som negativ. Merk de månedlige og mellom-årlige variasjonene, samt de relativt svake trender.

8.3 Konklusjoner fra havmodellen

Analysen av resultatene fra hindcastsimuleringen kan oppsummeres i følgende punkter:

- *Store variasjoner fra år til år.*
  Variasjonene i havsirkulasjonen skyldes hovedsaklig variasjonene i vinden, som vi har sett er vesentlige (jfr. Kap. 6). Effekten på den simulerte havsirkulasjonen kan ses i for eksempel strømmønsteret. Figur 8.3 viser at det vanlige mønsteret med mot-klokke sirkulasjon i enkelte år kan endres radikalt og at kyststrømmen kan reverseres. Effekten ses også i variabiliteten til volumtransporten gjennom Skagerrak, for eksempel ved Hirtshals-Torungen snittet (figur 8.7). Der ser vi variasjoner av over 50% av middelverdien, både fra en måned til den neste og for samme måned i forskjellige år. Midlet over et år (se 12-måneders glidende midler i figur 8.7) er variabiliteten i volumtransport ca. 30%. For transport av sporstoffet pseudo-N gjennom Skagerrak er variasjonene prosentvis større, både fra måned til måned (over 100%) og fra år til år (opp til 60%), jfr. figur 8.8. Stor mellomårlig variabilitet ses også horisontalfordelingen av pseudo-N (for eksempel fra Belgia-Nederland-Tyskland, T3 figur 8.5) og i dosene av sporstoffet til kyststrekningene, jfr. figur 8.5 og figur 8.6. Endringer over noen få år kommer opp i mer enn 50% for alle sporstoffkildene og alle kyststrekninger.
- *Sesongmessige og mellomårlige variasjoner er større enn trendene.*
  Styrken på volumtransporten gjennom Skagerrak viser ingen tydelig trend over hele simuleringsperioden. Når det gjelder transport av pseudo-N til norskekysten er det i noen tilfeller merkbare trender. For eksempel ser vi i figur 8.8 at det er en minkende bruttotransport fra Belgia-Nedeland-Tyskland (T3) mens det er ingen tydelig trend for transport fra Østlandske elver (T6). I begge tilfeller, og likeledes for de 6 andre pseudo-N kildene, er variasjonene over måneder og år mye større enn trendene. Dette er også synlig i tidsseriene for pseudo-N dose til kyststrekningene, jfr. figur 8.5 og figur 8.6. Det er klart minkende trender for Østersjøen (T1) og de kontinentale elvene (Belgia-Nedeland-Tyskland, T3 og Elbe-Weser, T4); noe økende trender for de UK (T2), danske (T8) og Sørlandske (T7) elvene; og ingen tydelige trender for de Østlandske (T6) og svenske (T5) elvene. Samtidig er variasjonene over noen år betydelige.
- *Sterkere sirkulasjon i Skagerrak i den antatte perioden for sukkertaredød enn før eller siden.*
  Den midlere volumtransporten gjennom for eksempel Hirtshals-Torungen snittet (figur 8.7) er sterkest i perioden 1994-98, og svakere før og etter.
- *Variasjonene i sporstofftransport gjennom Skagerrak kan i en viss grad tilskrives variasjoner i sirkulasjonen i Nordsjøen.*
  Sporstofftransportene gjennom Skagerrak, eksemplifisert ved to av de dominerende kilder ved Hirtshals-Torungen snittet (figur 8.8), viser også perioder med sterkere transport i perioden 1994-1998, selv om det er flere variasjoner i tillegg. Variasjonene i dosene av sporstoff til kyststrekningene er prosentvis ganske like for alle sporstoffene (jfr. figur 8.5 og figur 8.6), noe som tyder på at det er en fellesfaktor – havsirkulasjonsendringer – som bidrar signifikant.
- *Høyere pseudo-N doser til Skagerrakkysten i 1994-95, lavere doser i 1996, deretter noe høyere doser.*
  Som vist i figur 8.5, er dosene til Skagerrakkysten relativt høye i 1994-95 for alle sporstoffkildene; Østersjøen (T1) og Østlandselvene (T6) har en topp allerede i 1993 som strekker seg utover i 1994-95. De samme maksima går igjen i alle fire kyststrekningene. Et minimum i 1996 går også igjen, med unntak av Østersjøen (T1) der minimumet inntreffer i 1995. Dette minimumet henger til dels sammen med en omlegging av sirkulasjonen i den nordøstlige Skagerrak vinteren 1995-96, samt generelt svakere strøm fra den sydelige

delen av Nordsjøen (Jyllandsstrømmen) utover i 1996 og en sterk reduksjon i totN fluks fra elvene.

Vanligvis svekkes kyststrømmen om vinteren men i desember 1995 ble den reversert og det dannes en antisyklonisk (med-klokke) virvel som varer fram til mars 1996 (se figur 8.3, høyre panel). Denne omleggingen henger sammen med spesielt svake vindforhold i perioden (jfr. Figur 6.1), noe som gir grobunn for virveldannelse. Virvelen fører til at vann fra den sydlige Nordsjøen tar veien utenom Skagerrak mens vannet fra Kattegat (Østersjøen T1 og svenske elver T5) stikker vestover fra Skagen. Samtidig blir vannet fra Østlandselvene (T6) ført ut i Skagerrak og vekk fra kysten. Vannet fra Sørlandselvene (T7) blir ført nordover langs kysten, og gir faktisk høyere doser til Larvik – Torungen strekningen. Fra sommeren 1996 reetableres det vanlige sirkulasjonsmønsteret og dosene stiger igjen for de neste 1-5 år. I tillegg til den spesielle situasjon i sirkulasjonsmønsteret vinteren 1996, var det også et markant minimum i totN fluksen fra de kontinentale elvene, jfr. Figur . Etter to vintre med store flukser var totN fluksen vinteren 1996 ekstremt lav. Det samme minimumet ses også for de Østlandske (T6), svenske (T5) og danske (T8) elvene.

Resultatene tyder på at totaldosen øker fram til 1999 og avtar deretter. Hovedårsak til minking på 2000-tallet er den minkende trend i bidragene fra de kontinentale elvene.

- *De viktigste bidragene til pseudo-N dosene på Skagerrakkysten er fra de kontinentale elvene (T3, T4), fra Østlandselvene (T6) og fra Østersjøen (T1).* .
  NB! Konklusjoner om den relative viktighet av pseudo-N-kildene må tas med et visst forbehold med tanke på inhomogeniteten i datagrunnlaget. I tillegg bør det gjentas at pseudo-N ikke er det samme som nitrogen, siden viktige biologiske prosesser er utelatt i beregningene. For strekningen Larvik-Bergen er bidraget fra de kontinentale elvene (T3 + T4) størst, etterfulgt av Østlandselvene (T6). For strekningen Svenskegrense-Larvik er Østlandselvene (T6) den største kilden. Bidragene fra UK (T2) og svenske elver (T5) er mindre, og bidragene fra danske (T8) og norske Sørlandselvene (T7) er minimale.

9. Endringer av betydning for sukkertare

Frithjof Moy (NIVA) & Per Stålnacke (Bioforsk)



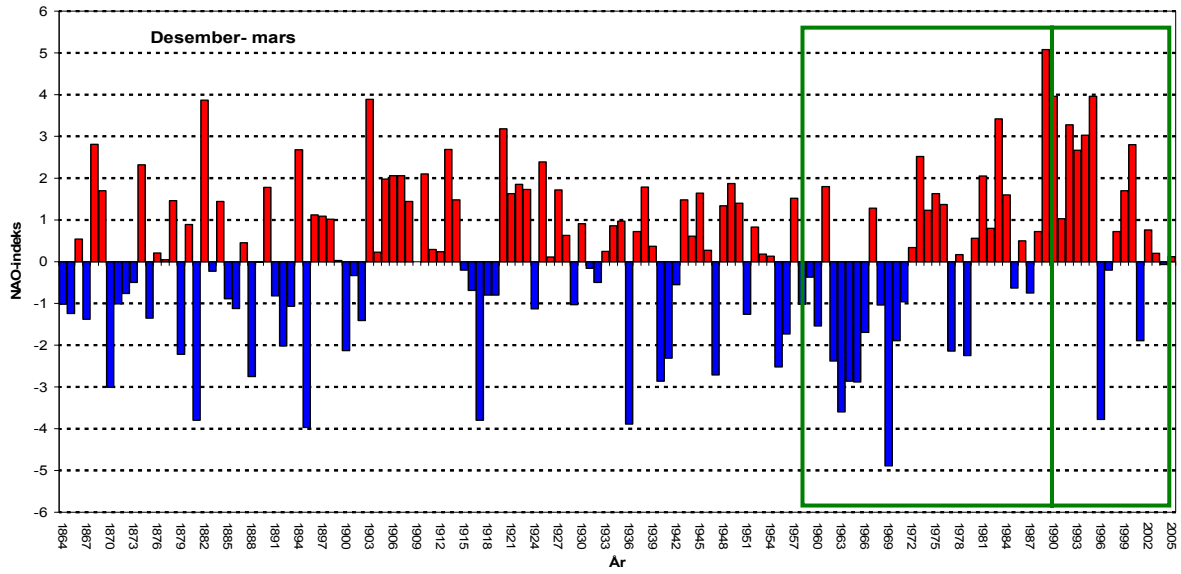
Den dramatiske nedgangen i sukkertare langs kysten av Sør-Norge, illustrert ved bildene over tatt på Kystovervåkingsstasjon B8 Buøy i Aust-Agder i 1992 og 2002, er bakgrunn for de tidsanalyser som er presentert her i denne rapporten fra Sukkertareprosjektet. I dette tidsrommet har frodig sukkertareskog (venstre bilde) blitt erstattet av et teppe av små, trådformede rød- og brunalger (høyre bilde). Spørsmålet har vært om klimarelaterte endringer eller avvik kan ha vært årsak til dette skifte i vegetasjonen. Kapittel 9 gir en oppsummering av de funn som er gjort i fagkapitlene, satt inn i en sukkertaresammenheng. (Foto: F.Moy)

- -

9.1 Bakgrunn

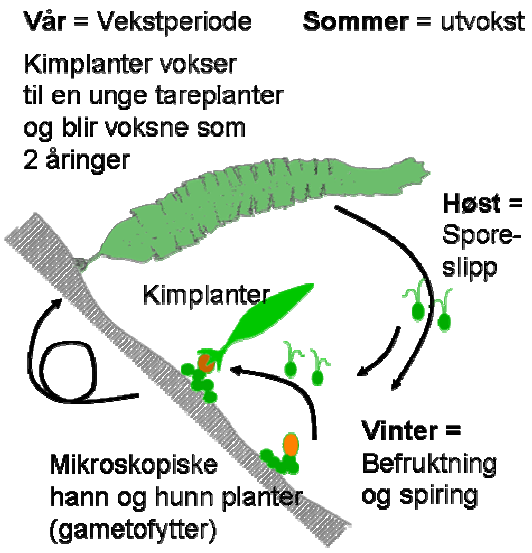
Denne studien har hatt som målsetning å avdekke eventuelle klimarelaterte endringer eller avvik (både i tid og rom) som kan settes i sammenheng med nedgang i sukkertarevegetasjonen. Analyseperioden ble satt til 1960-2005, men de fleste tidsserier hadde en mer begrenset tidsperiode. Mange overvåkingsprogram ble initiert tidlig på 1990-tallet og dekker bare de siste 15-år. Men som det framgår av Figur 9.1 var 90-tallet en klimatisk varm periode. Det var derfor viktig å få med så mange tidsserier som mulig tilbake til 1960 for å inkludere en kald eller normal tidsperiode i analysene.

Det har ikke vært mulig å utføre analyser direkte mot forekomst av sukkertare, dvs. teste klimavariasjon med sukkertareforekomst som responsfaktor, da det ikke finnes observasjonsdata på sukkertare eller andre arter for den saks skyld, fra samme tidsperiode og med tilstrekkelig observasjonsfrekvens. Vurdering av klimatiske endringer i forhold til forekomst av sukkertare har vært basert på spredte observasjoner av sukkertareforekomst, først og fremst fra Kystovervåkingsprogrammet. Det ble funnet sukkertareskog på Sørlandet i 1990, 1991, 1992 og 1996, mens ved neste gjenbesøk i 2002 var taren borte. Årlig oppfølging siden 2002 har til nå ikke vist tegn til gjenvekst av sukkertare. Gamle observasjoner indikerer at det var god sukkertareskog rundt Oslo-øyene for 100 år siden. Det er det ikke i dag. Det er usikkert når sukkertare forsvant fra Oslofjorden, men endringer i utbredelse av tang i strandsonen viste en dramatisk tilbakegang på 1970-tallet (Bokn & Lein 1978). Tiltak mot forurensende utslipp av næringssalter gjennom rensing av kommunalt avløpsvann, bedret forholdene i Oslofjorden slik at tangvegetasjonen kom tilbake (Bokn et al 1992). Som en kuriositet kan nevnes at det våren 2006 ble observert sukkertareplanter på Bygdøy utenfor Oslo.



Figur 9.1 North Atlantic Oscillation index (NAO) for vintersesongen (desember-mars) fra 1864 til 2005. (Hurell (1995) og oppdateringer fra Hurell).

Naturen, inkludert forekomst og utbredelse av tare, svinger naturlig mellom gode og dårlige år og uten at vi per i dag har klart å få det tidsfestet, fortelles det at tarevegetasjonen også tidligere har gått tilbake (det arbeides med å kartlegge dette.) Enkelte observasjoner tyder også på at det var lav forekomst og dårlig tilstand på taren i 1988-89 (”Chryso”-undersøkelser i forkant av Kystovervåkingsprogrammet). I motsetning til hva vi i dag registrerer, har taren tidligere alltid kommet tilbake. Målsetningen i dette arbeidet har vært å se om det har vært noe i klima som kan forklare regional utdøing av sukkertare og endrede livsbetingelser som hindrer gjenvekst av taren.

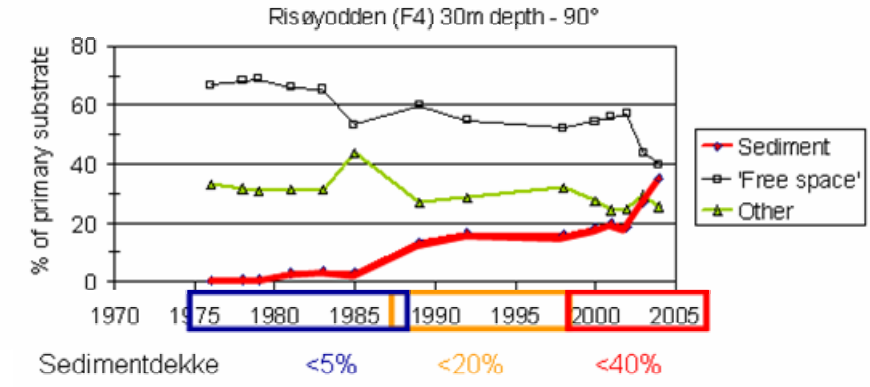


Figur 9.2 Livssyklus til sukkertare, med vekstfase på våren, modning av sporer på høsten, sporeslipp, mikroskopisk gameto-fyttstadium og befruktning i vinterhalvåret. Generasjonstiden er 3-5 år. (Ill: F.Moy)

Her skal vi forsøke å gi en oppsummering av fagkapitlene sammen med en sannsynliggjøring av mulige årsakssammenhenger til sukkertarens tilstand. Vurderingen er også basert på kunnskap om sukkertarens livs-syklus (Figur 9.2), vekstbetingelser og vekst-strategi. Det betyr at mulig betydning av både klimatiske vinter- og sommerforhold er vurdert.

Sukkertare vokser langs hele kysten av Norge fra ca 1 til 30 meters dyp. Sukkertaren er som mange av brunlagene, en kaldtvannsart og har en nordlig sirkumpolar utbredelse. Sukkertare er derfor følsom for høy temperaturer og Bolton & Lüning (1982) fant at veksten av sukkertare ble kraftig redusert ved 20 °C og at taren døde ved 23 °C. I Europa har sukkertaren sin sydlige utbredelsesgrense omtrent ved 19 °C overflate-sommerisotermen (van Den Hoek, 1982). Best vekst viser sukkertare i temperaturområdet 10-15 °C (Fortes & Lüning, 1980). Høy sommer-temperatur er altså en faktor som kan begrense sukkertarens utbredelse, spesielt i Skagerrak

hvor sommertemperaturen kan bli høy. Temperatur vinterstid er i våre farvann godt innenfor sukkertarens toleranseområde og endring i vintertemperatur synes ikke å ha direkte innvirkning på taren. Men varmere vintre kan ha en indirekte effekt ved å gi enkelte konkurrerende arter bedre livsvilkår. Vinterforhold er spesielt viktig for sukkertarens sporenedslag, sporespiring, dens mikroskopiske gametofyttstadiet, befruktning og vekst av nye kimplanter. Klimatiske endringer som forårsaker sterk sedimentasjon av slam på hardbunn (Figur 9.3) som kan interferere med sukkertarens livssyklus, er derfor tatt med i vurderingene. Fokus på nedlamming er også begrunnet ut fra den sterke nedslammingen som er observert på mange av overvåkingsstasjonene opprettet i Sukkertareprosjektet i Skagerrak (Moy & al. 2007). Bunnforhold, tilstandsstatus og mulige årsakssammenhenger, er utførlig diskutert i Statusrapport 2 fra Sukkertareprosjektet (Moy & al. 2007).



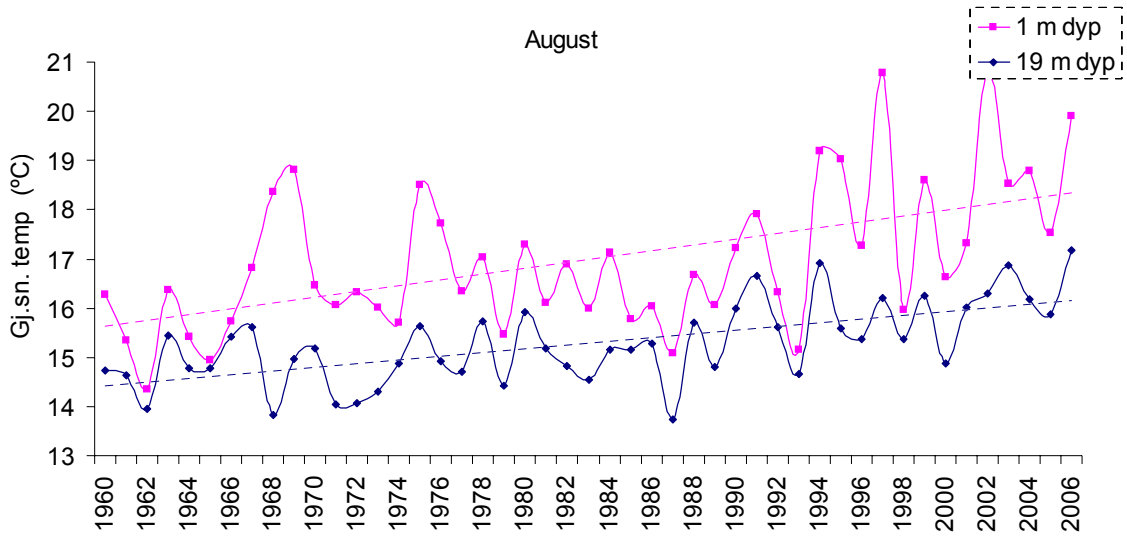
Figur 9.3 Dekningsgrad i prosent av bunnarealet av sediment (bunnslam), bar bunn (free space) og organismer (other) på vertikal fjellvegg på 30 m dyp i Frierfjorden. (Kilde. NIVA)

9.2 Sjøtemperatur

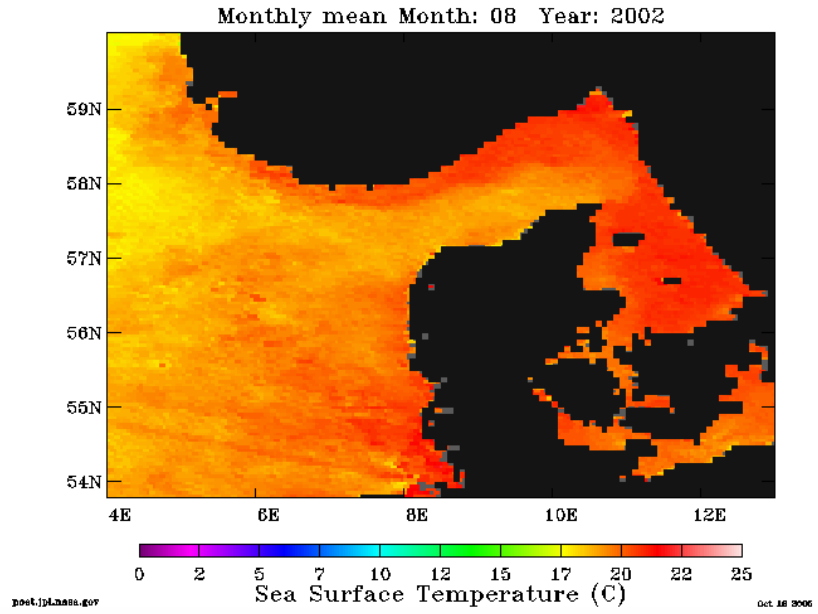
Sukkertare er som nevnt en kaldvannsart hvor sommertemperaturen i Sør-Norge og Skagerrak spesielt, kan være skadelig og i ekstreme tilfeller dødelig for sukkertaren. Endringer i sjøtemperatur er en direkte følge av klimatiske endringer med endret transport av vann via havstrømmer og lokal oppvarming fra lufttemperatur og solvarme, spesielt i stille perioder.

Analysen av sjøtemperatur viser klart negativ utvikling for sukkertare med stigende sommertemperatur på alle målestasjoner (svensk vestkyst, Sørlandskysten og Vestlandet) etter 1960. I 1997 og 2002 ble det målt henholdsvis ca. 2 og 1 måned med sammenhengende overflatetemperatur på 19 °C eller mer i Flødevigen, Arendal, (Figur 9.4) og satellittbildet (Figur 9.5) viser en gjennomsnittlig augusttemperatur på 19 °C i havet ved Utsira og store deler av Vestlandet i 2002. Ut fra temperaturanalysen er det meget sannsynlig at sommertemperaturene kan ha hatt en kraftig regional negativ effekt på sukkertarebestandene i Sør-Norge. Ut fra en totalvurdering er høy sjøtemperatur den enkeltfaktor som mest sannsynlig kan ha utløst en regional sukkertaredød i 1997. Nye varme somre i 1999 og 2002 kan også være viktig klimatiske hendelser i det påfølgende varme somre igjen kan ha redusert sukkertarebestanden og dens evne og mulighet til gjenvekst, som normalt skjer raskt etter en bestandsreduksjon.

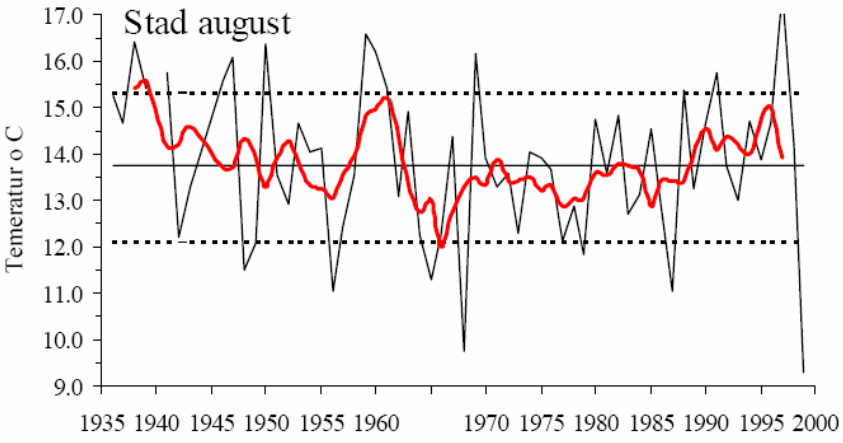
Figur 9.4 og Figur 9.6 viser at det også tidligere har vært varme perioder som i 1930-årene, slutten av 1950-årene, slutten av 1960-årene og midten av 1970-årene, og gamle fiskere og dykkere kan også fortelle at "taren har vært borte før" (det har ikke vært mulig å tidfeste disse observasjonene for sammenlikning med temperaturforhold). Forekomsten av tare varierer sannsynlig naturlig med sjøtemperaturen, men har generelt hatt god bestand på indre kyst fram til det siste 10-året. I motsetning til dagens varme periode har tidligere varme perioder vært korte og etterfulgt av kalde eller normale perioder.



Figur 9.4 Gjennomsnittlig sjøtemperatur for august for perioden 1960-2006 på 1 m og 19 m dyp målt ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon i Flødevigen. Blågrått felt angir optimal temperatur for vekst hos sukkertare. (Kilde: Fig. 6.3, HI)



Figur 9.5 Overflate-temperatur i august 2002 målt fra satellitt (Kilde: Fig. 6.6, NERSC)

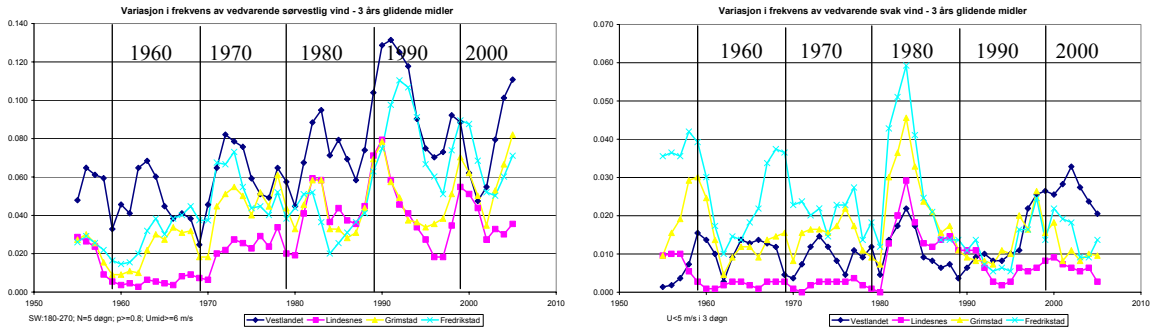


Figur 9.6 Havoverflate-temperatur målt i august måned ved Stad. Måneds-middel (sort linje) og glid-ende 5-årsmiddel (rød linje) (Kilde: Fig. 6.13, Aure og Strand, 2001)

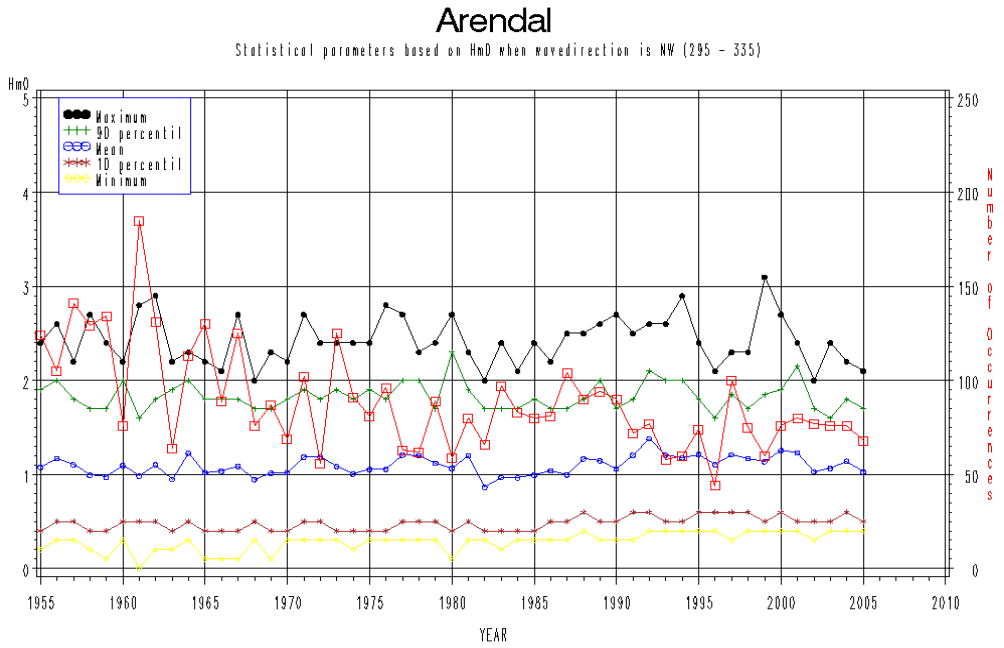
9.3 Vind og bølger

Vindstyrke og vindretning har mye si for bølger og omrøring av vannmassene. Omrøring er positivt for taren som med sin styrke og store blad kan feie bunnen fri for konkurrenter til begrenset tilgjengelig plass på hardbunn. Trådformede alger er mer skjøre og rives av med vannbevegelser slik at mengden av trådalger ikke hoper seg opp og blir et problem for langsomtvoksende arter som sukkertare. Ved ekstreme vind- og bølgeforhold, for eksempel vinterstormer, slites også taren av og kastet blant annet opp i store tarevoller på stranden.

Vindanalysen viser en økende grad av vinder fra sør-vest og økende frekvens av sterke vinder fra sør-vest (mer enn 6 m/s) til alle de 4 undersøkte regioner av Sør-Norge (Figur 9.7). Det kan være positivt for taren, men også negativt i det transporten av næringsrikt vann fra sydlige Nordsjøen også styrkes. En analyse av stille perioder (vedvarende svake vinder) viste imidlertid ingen trend for 1960-2005, men at det har vært flere perioder med stille vær om sommeren. Spesielt på 80-tallet (1981-84) var det mye stille vær over hele Sør-Norge og fra omkring 1996 til 2002 var det økt hyppighet av perioder med svake vinder, spesielt markert på Vestlandet. Svake vinder gir lav omrøring og for å belyse dette nærmere ble det også analysert på forekomsten av fralandsbølger. Fralandsbølger vil gi spesielt lite bølger og lite omrøring i sukkertarens primærområde i skjærgården inn mot land. Analysen viste en liten nedgang i frekvensen av fralandsbølger (Figur 9.8), det vil si at det ikke er blitt mindre bølgeomrøring nå enn sammenliknet med tidligere. Imidlertid skiller 1997 seg ut med høyere frekvens av fralandsbølger som kan ha gitt mer stillestående vann i skjærgården dette året. Sammenfall av svake vinder og stillestående vann med en lang sammenhengende varm periode, kan høyst sannsynlig ha skapt meget ugunstige miljøforhold for sukkertaren og utløst en regional taredød i 1997. De store tarebladene i en tett skog trenger vannbevegelse for at ikke de store bladene skal blir liggende stille på hverandre og for nødvendig vannutskiftning rundt bladene for utskifting av "vekststoffer" og "avfallsstoffer". Stillestående vann øker også varmetransporten fra overflaten og ned i dypet slik sukkertaren også på dypere vann utsettes for negativ oppvarming. Det regionale bortfallet av sukkertare kan således være forårsaket av spesielle vind- og bølgeforhold sammen med høy temperatur.



Figur 9.7 Frekvens av vedvarende sterk vind fra sørvest (venstre) og perioder med stille vær (lite vind, høyre) for de fire områdene. Vestlandet = mørk blå, Lindesnes = rosa, Grimstad = gul og Fredrikstad = lys blå. (Kilde: Fig. 5.2 og 5.3, met.no)



Figur 9.8 Statistiske parametere basert på Hm0 (signifikant bølgehøyde) når bølgeretningen er fra nord-vest (fralandsbølger) Den røde linjen angir antall tilfeller av 6 timers observasjoner. (Kilde: Fig 5.5, met.no)

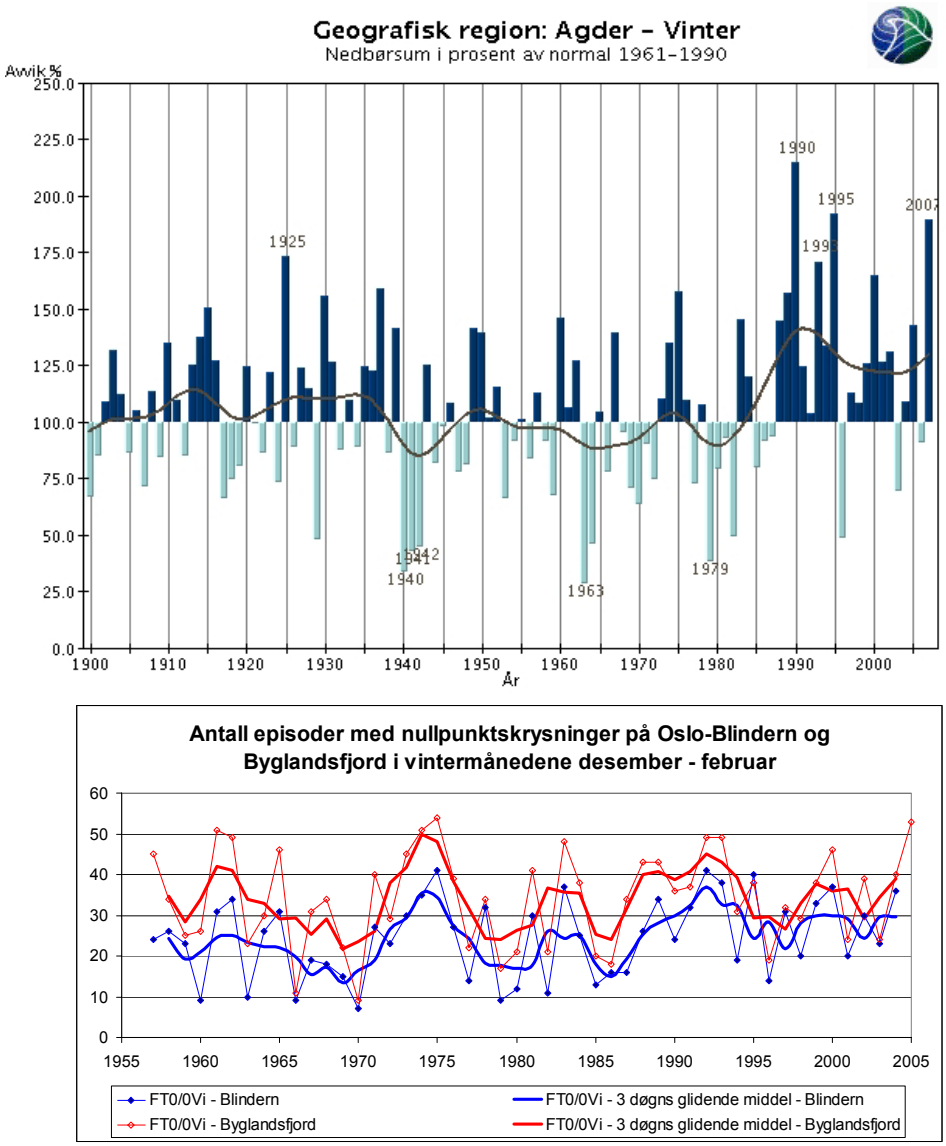
9.4 Nedbør og temperatur

Målinger av nedbør og lufttemperatur viser at Agder-regionen har blitt både våtere og varmere siden 1980 sammenliknet med årsnormalen (1961-1990) og tidsperioden tilbake til 1900 (jfr. kap. 2 og Figur 9.9).

Markert økning i vinternedbør og et høyt antall nullpunktkrysninger (som har sammenheng med vintertemperatur og gir økt jorderosjon) i Agder, kan være årsak til økt partikkeltransport til kystvannet med etterfølgende nedslamming av bunnen. I periodene rundt 1962, 1975, 1992 og 2000 var det mange fryse-tinedøgn, og spesielt siden 1988 har en så å si hatt en sammenhengende ubrutt 15-årsperiode med unormalt høy vinternedbør. Høy temperatur førte også til at vinternedbøren kom som regn.

Interessant er det å merke seg at periodene rundt 1962 og 1975 med et høyt antall nullpunktkrysninger også sammenfaller med unormalt høy vinternedbør. Men til forskjell fra disse hendelsene som varte i 2-3 år og ble etterfulgt av normale eller kalde år, har klimaet i hele perioden etter 1988 avveket fra normalen.

Da sukkertaren bare lever i 3 til 5 år, må den nesten årlig ha god rekruttering for å opprettholde sin populasjon. Det vil med andre ord si at noen få sammenhengende ugunstige år vil føre til en midlertidig nedgang i bestanden, mens ugunstige forhold de siste 15 år kan være årsak til en vedvarende reduksjon av sukkertarebestanden.



Figur 9.9 Avvik i nedbør fra normal 1961-1990 for vintersesongen (des-feb) i Agder (over). Antall fryse-tine-episoder på Østlandet (blå) og Sørlandet (rød) i perioden 1957-2005 (under). (Kilde: Fig. 2.2 og 2.9, met.no).

9.5 Elvetilførsler

Tilførsel av næringsstoffer og partikler fra land til kystvannet henger i stor grad sammen med vanntransport i bekker og vassdrag. Studier i Numedalslågen (blant flere) har vist at 90 % av årstilførselen av partikler til kystvannet skjer i flomepisoder. Analyse av vannføring og flomfrekvens har derfor vært en viktig del av klimastudiet med betydning for sukkertare.

Imidlertid viser analysen av flomfrekvens ingen langtidstrend mht. antall flommer siden 1950, selv om det har vært mange flommer i perioden 1998-2001. Stor vannføring og flommer skapes av sterk snøsmelting om våren, men også av stor nedbør. Antall regnflommer har økt betraktelig i Norge siden 1990. Men det var også tilsvarende perioder på 1950-60 tallet og også på 1930-tallet, med høyt antall regnflommer og det er slik sett ikke unikt for siste 15-års periode.

1995-flommen på Østlandet var en spesiell hendelse hvor Glommavann kunne spores langt nedover Sørlandskysten. Høstflommen i år 2000 på både Østlandet og Sørlandet kan også karakteriseres som en spesiell hendelse med sannsynlige følger på kystmiljøet grunnet sin unormalt lange varighet (60 dager). Bortsett fra disse to episoder i siste 15-årsperiode er det ikke funnet vannføring eller flomfrekvens som avviker fra hva som har funnet sted tidligere. Likevel kan hyppig forekomst av høst- og vinterflommer på 1990-tallet på Sørlandet ha hatt en medvirkende negativ effekt på sukkertaren.

Foruten endring i vannføring er endring i stoffkonsentrasjoner viktig for endring i belastning på kystmiljøet. Analyse av karbonkonsentrasjonen (TOC) i elvevannet viser store år til år variasjoner, men likevel en økning i Sørlandselvene (signifikant i Tovdalsvassdraget). Det som kommer tydeligst frem i dette datamaterialet, er flommen i 2000 som førte til en nesten dobling av normal TOC-transport i vassdragene samt en sterk økning i tilførslene av nitrogen, fosfor og slam.

Nitrogen- og tildels fosfortransporten i elvene er korrelert med vannføringen. I de senere år synes det å ha vært hyppigere flomtopper og økt fosfortransport. Overvåkingsprogrammet for landbruksbekker (JOVA) viser økt avrenning av både fosfor og partikler fra landbruksbekker på Agder i perioder med høy vannføring i 1999-2002 sammenliknet med tilsvarende høy vannføring i 1994-1995. Høy transport av partikler er også notert i de norske store vassdragene i perioden 1999-2001 (2002). Denne endringen kan ha bidratt til økte lokale tilførsler av næringsstoffer og partikler til kystmiljøet.

Med tanke på årsak og virkning er det viktig å holde fast på det forhold at god forekomst av sukkertare ble observert i 1996, mens bortfall av tare ble registrert i 2002. Derimellom har vi ikke målinger. Overvåking på indre kyst i regi av Sukkertareprogrammet har pågått siden 2004 og det vil si at resultater fra Sukkertareprosjektet reflekterer de siste års hendelser med flommen i 2000 og 2002 som viktige bidrag.

9.6 Elvetilførsler fra ikke-norske elver

Nordsjøen tilføres i overkant av 1,1 millioner tonn nitrogen og omtrent 75,000 tonn fosfor per år fra alle land som drenerer til Nordsjøen, inkludert Norge. I tillegg kommer direkte atmosfærisk nedfall av nitrogen. Tilførsler siden 1990 (data fra 1990-2002) viser store variasjoner som først og fremst er knyttet til variasjoner i vannføring. Spesielt store nitrogentilførsler er notert i årene 1994 og 1995 i forbindelse med storflommer i elvene på kontinentet. I disse to årene var nitrogentilførselen mer enn 25 % over normalverdiene. Også i år 2000 var nitrogentilførselen høyere enn normalt. De laveste nitrogentilførslene er notert i 1996 og 1997 med tilførsler ca 20 % under langtidsmiddel. Lav vannføring er forklaringen på disse lave tilførslene av nitrogen.

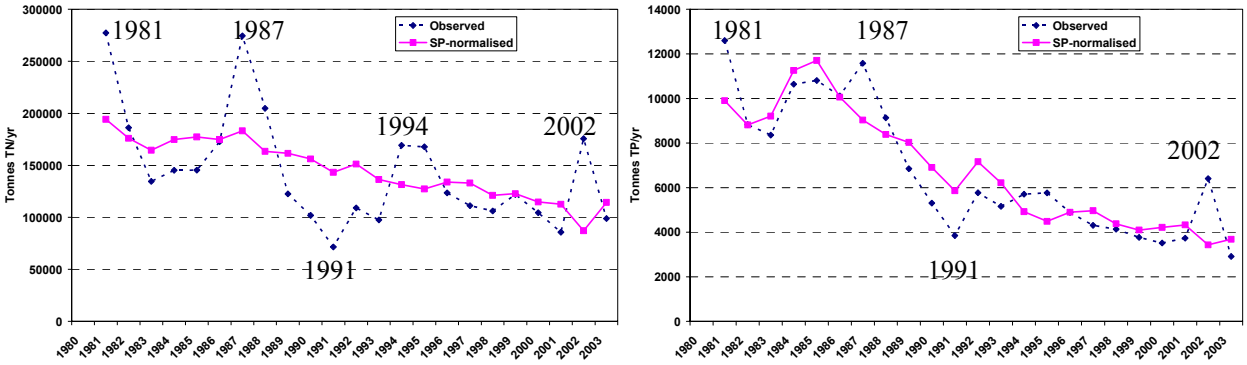
Fosforutslippene oppviser omtrent samme trend og variasjon mellom årene som nitrogen; med høye tilførsler i 1994, 1995 og 2000. I perioden 1996-2002 var tilførslene generelt sett lavere enn i perioden 1990-1995. Dette siste kan sees i direkte sammenheng med nedgang i tilførsler fra de store kontinentale elvene.

Tilførsler av nitrogen fra Elbe harmonerer delvis med målinger av nitrat i overflatevannet i Tyskebukta (ved Helgoland), hvor det ble funnet en økning i konsentrasjonen i 1981, 1987 og 1994 som stemmer med toppene i tilførsler (Figur 9.10 og Figur 9.11). Men konsentrasjonen av nitrat i Tyskebukta øker dramatisk fra rundt 20 µM til 80 µM i perioden fra 1981 til 1994-

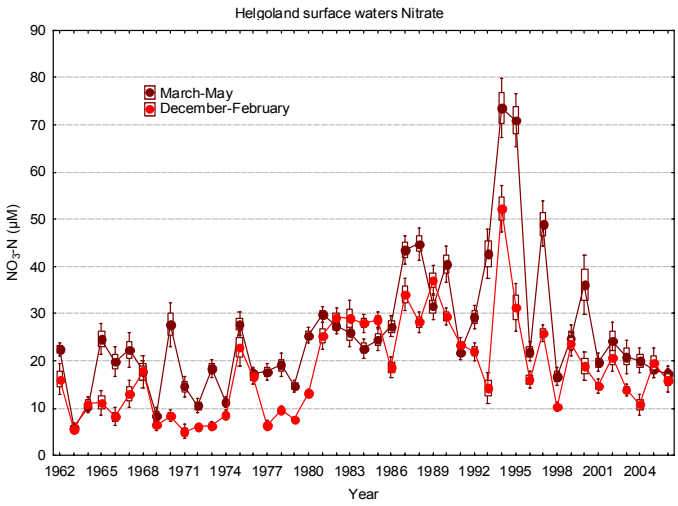
1995, men viser en markert nedgang etter 1995 og er siden 2002 på nivå med 1960-årene. Vinterkonsentrasjonene (desember-februar) ligger fremdeles litt over 1960-nivået.

Hvor mye av næringssalttilførslene til sydlige Nordsjøen som også kommer til vår kyst, har i stor grad sammenheng med vind og sirkulasjonsmønsteret i Nordsjøen og Skagerrak og kan variere stort fra år til år. Figurene 10.10, 10.11 og 10.12 viser noen sammenhenger mellom topper i nitrat-konsentrasjoner i 1994-95, 1999 og 2002 i det norske kystvannet, Tyskebukta og kontinentale elvetilførsler. Men avvik i mønster viser at det ikke er noen lineære sammenhenger og at det er flere forhold som spiller inn. Modellberegnede tilførsler i Figur 9.14 viser en halvering av nitrogentilførselen i 1996 sammenliknet med 1995, slik at det i 1996 både var en reduksjon av kilden (Figur 9.10) og redusert transport til vår Skagerrakkyst som ga lave konsentrasjoner i Kystrømmen (Figur 9.12).

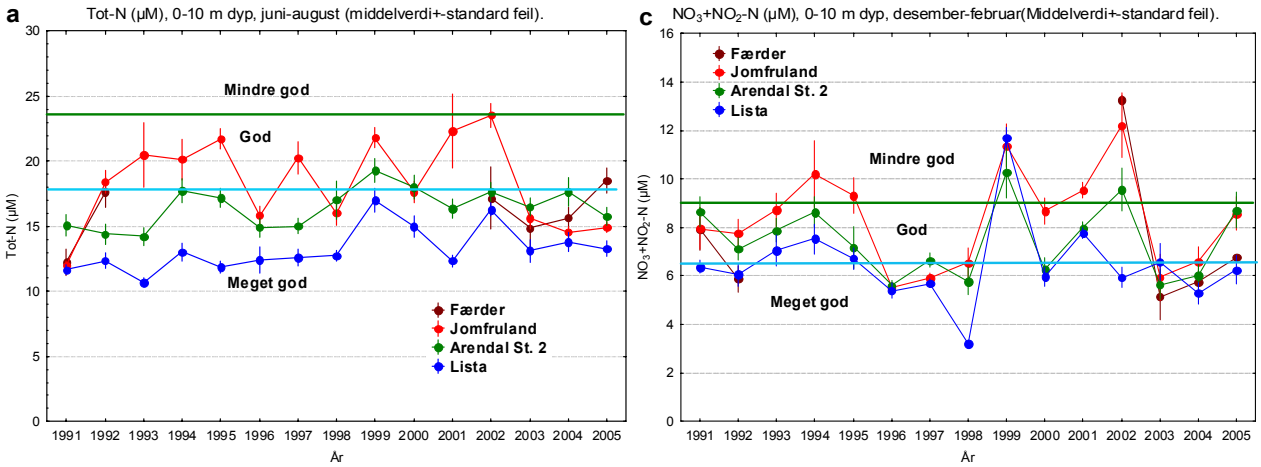
Når bidraget fra de kontinentale elvene går ned (Figur 9.10 og Figur 9.11) og analysene så langt ikke kan vise samme nedgang i tilførsler fra lokale elver, øker betydningen av de lokale elvetilførslene for vannkvaliteten i kystvannet av Skagerrak.



Figur 9.10 Venstre panel viser transport av totalnitrogen (tonn) og høyre panel av totalfosfor (tonn) i Elbe i Tyskland, i perioden 1980 – 2003. Rosa kurve er vannføringsnormalisert, dvs. at den nedgangen som vises i transport er justert og derfor relativt uavhengig av vannføringen. Merk at målingene startet allerede på 80-tallet og at nedgangen var størst da. (Jfr: Fig 4.17)



Figur 9.11 Nitratkonsentrasjoner i overflatevann ved Helgoland i 1962-2005, vinter og vår. (jfr. Fig 7.5)



Figur 9.12 Konsentrasjoner av nitrat (vinterverdier, venstre panel) og total nitrogen (sommerverdier, høyre panel) i overflatevann av Kyststrømmen på Sørlandet 1991-2005 (Kilde: Fig. 7.9, Kystovervåkingsdata, NIVA).

9.7 Vind, bølger og havsirkulasjon

Sydlige vinder i Nordsjøen driver overflatevannet nordover og øker transporten av næringsrikt vann fra Tyskebukta til Kyststrømmen. Vindanalysen viser en tydelig økning i vind fra sørvest til alle kystregioner av Sør-Norge for perioden 1960-2005. Det er også en økende frekvens av perioder med vedvarende sørvestlig vind både på kysten av Vestlandet og langs hele Skagerrak. Årene 1989-93 viser en markert topp og i 1999-2000 var det også mer vedvarende sørvestlig vind enn før og etter disse årene. En ny økning ble igjen målt fra 2004.

For å studere langtransporterte tilførsler av vann og stoffer over Nordsjøen i relasjon til klimatiske endringer, ble met.no's numeriske havsirkulasjonsmodellsystem MIPOM satt opp for Skagerrak, Kattegat og den nordlige Nordsjøen og kjørt over perioden 1991-2005.

For å estimere den relative innflytelsen av tilførsler fra forskjellige ferskvannskilder til sørlandskysten er volumfluks og nitrogentilførsler fra de viktigste norske, svenske, danske, tyske, hollandske, belgiske og engelske elver gitt som input til havsirkulasjonsmodellen. Konsentrasjonene er satt som passive sporstoffer, kalt pseudo-N, og reflekterer de forskjellige kildenes influens på havområdet. Merk at det ikke viser den reelle transporten av nitrogen, da transporten av nitrogen i høy grad påvirkes av biologiske prosesser underveis.

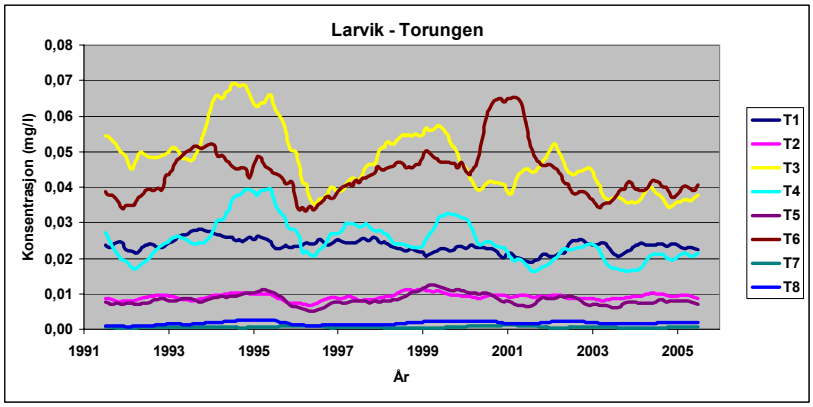
Analysen av det passive sporstoffet viser at de kontinentale elvene i sydlige Nordsjøen (Belgia, Nederland) bidrar omtrent like mye til kyststrekning Larvik-Arendal som Østlandselvene (Glomma, Drammenselva, Numedalslågen og Skienselva) og at bidraget fra Tyskland (Weser og Elbe) er omtrent likt med bidraget fra Østersjøen (Figur 9.13). Analysen viser også at bidraget fra Sydlige Nordsjøen og Tyskebukta var dominerende i 1994-95, men viser en avtakende trend over analyseperioden, mens Østlandselvene viser en økning fram til en topp i 2001.

Beregninger av J.Aure (HI) for perioden 1990-95 har vist at 80 % av nitratet i kyststrømmen utenfor Arendal om våren er langtransporterte tilførsler fra sydlige del av Nordsjøen (Kystovervåkingsrapport for 2004) og de modellerte verdiene stemmer overens med dette. Det lages nå nye beregninger for perioden etter 1995 og disse vil bli publisert i Kystovervåkingsprogrammets årsrapport for 2006 (Moy et al. in press).

Næringssalter vil, i motsetning til det modellerte passive sporstoffet, vil som nevnt påvirkes av biologiske prosesser underveis og kunne således ha en annen fordeling ettersom de tas gradvis ut av transportkjeden. De Østlandske elvene har en klar innflytelse på Sørlandskysten og med kort avstand er deres tilførsler mer direkte.

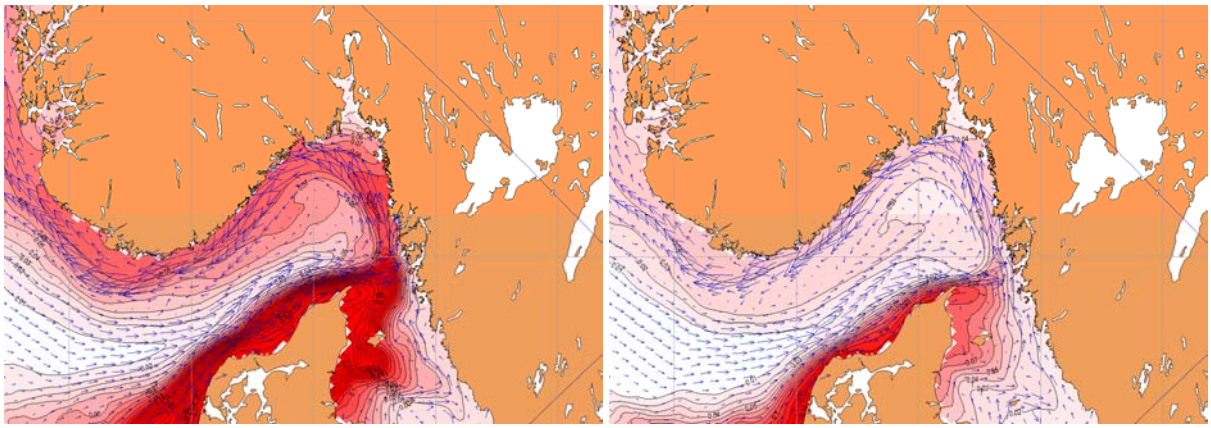
Elvenes modellerte influens på Sørlandskysten er markert lav i 1996. Det henger ikke bare sammen med lite nedbør og lave elvetilførsler, men havsirkulasjonsmodellen viser også at strømmønsteret i Skagerrak dette året var sannsynligvis unormalt med reversert Kyststrøm (Figur 9.14).

Storskala endringer i de klimatiske forholdene ga stor nedbør på kontinentet og stor transport av næringsrikt vann til Sørlandskysten i 1994-95 og motsatt lite nedbør og transport i 1996. Store nedbørsmengder på Østlandet og Sørlandet med høstflom i år 2000 førte til et betydelig lokalt bidrag av nitrogen, fosfor, karbon og partikler til Sørlandskysten.



Nr	Elver inkludert
T1	Østersjøen
T2	UK
T3	Belgia-Nederland-Tyskland
T4	Tyskland (Weser og Elbe)
T5	Sverige
T6	Østlandselvene i Norge
T7	Sørlandselvene i Norge
T8	Danmark

Figur 9.13 Konsentrasjon av pseudo-N fra forskjellige kilder til kyststrekning Larvik-Torungen. Kurvene er 12-måneders glidende midler av konsentrasjon midlet over alle modell-gitterpunkter langs kyststrekningen og midlet over de øverste 20 m vanndyp. (Jfr: Fig. 8.5)

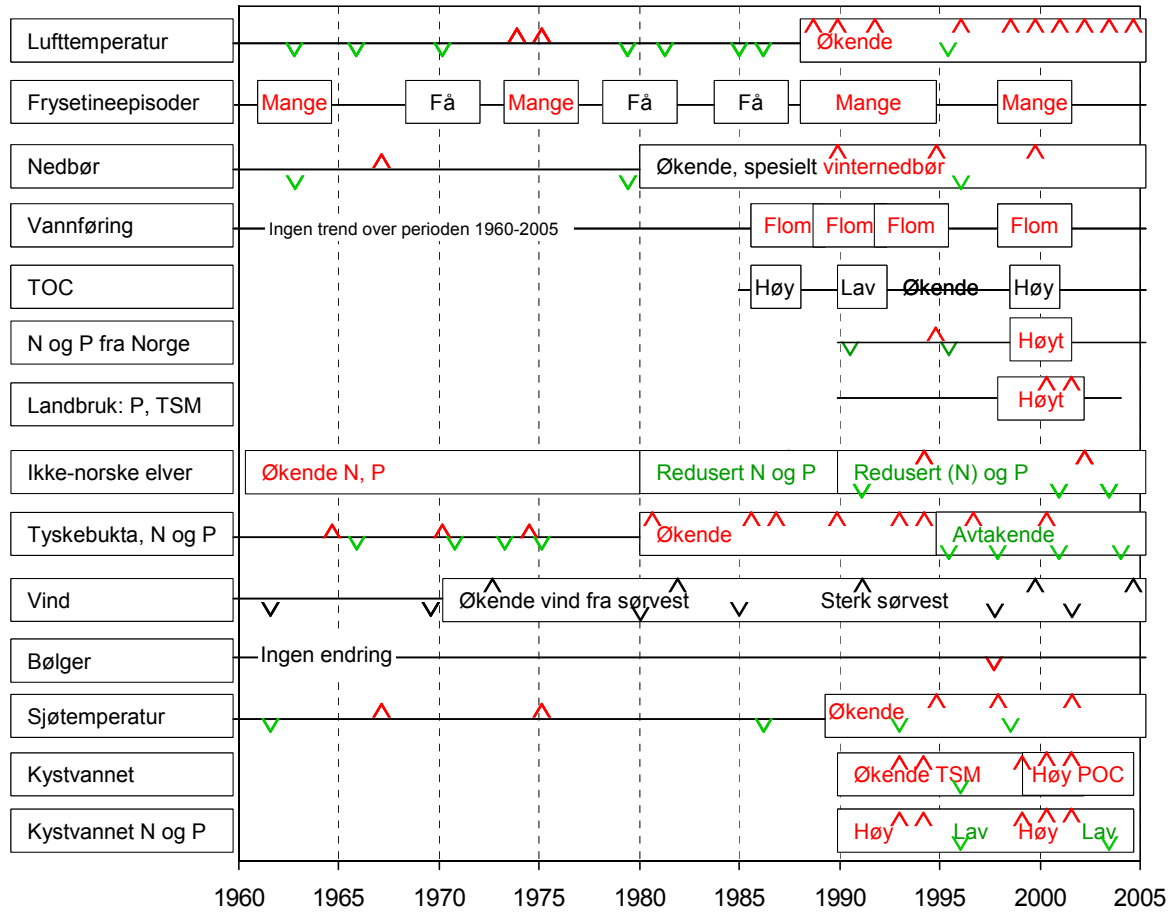


Figur 9.14 Fordeling av månedsmidlet sporstoff T3 (rødfarge = pseudo-N fra Belgia-Nederland og Tyskland, jfr. Figur 9.13) og overflatestrøm (piler). Venstre panel (juli 1995) viser en typisk sommerfordeling med relativt høye konsentrasjoner langs kysten av Danmark, Sverige og Norge. Strømmen følger også et typisk sommermønsteret med relativt sterk strøm langs hele norskekysten. Høyre panel viser situasjonen i juli 1996, etter flere måneder med svak Jyllandsstrøm og reversert Kyststrøm. Disse forhold har ført til at Pseudo-N konsentrasjonen langs norskekysten er halvert i forhold til året før. (Kilde: Fig. 8.4, met.no)

9.8 Oppsummering

Sammenfall av høy sjøtemperatur, lite vind og bølger, høy tilførsel av nitrogen, fosfor og partikler i tidsrommet før bortfall av sukkertare (Figur 9.15), sannsynliggjør en sammensatt årsakssammenheng med disse som viktige faktorer. Mangel på sukkertareobservasjoner i tidsrommet 1996-2002 gjør at vi ikke kan tidfeste bortfallet av sukkertare nøyaktig. Men høy sjøtemperatur er ut fra en totalvurdering den enkeltfaktor som mest sannsynlig kan ha utløst en regional taredød i 1997, med mulig nye bestandsreduksjoner de varme somrene 1999 og 2002.

Tidligere varme perioder har sannsynlig også ført til nedgang i sukkertarebestandene, men sukkertareskogene har kommet tilbake ved naturlig gjenvekst. Manglende gjenvekst av sukkertare de siste årene, synes ut fra analysene å kunne skyldes en mer langvarig utvikling med gradvis dårligere livsbetingelser for sukkertaren i perioden 1980-1995. Biologiske systemer og spesielt klimakssamfunn som et sukkertaresamfunn er, har en stor treghet og innbygget motstand mot endringer. Klimakssamfunn responderer lite på økende belastninger inntil en grenseverdi er nådd, eller en direkte skadelig faktor inntreffer. Da endrer samfunnet seg brått og et nytt samfunn etableres med dominans av nye arter som er favorisert av den nye miljøtilstanden.



Figur 9.15 Illustrasjonen summerer opp resultatet av klimatiske hendelser i perioden 1960-2005. Linje eller boks indikerer lengden på de ulike dataserier som er undersøkt. Topp- og bunn-symbol viser henholdsvis år med høy og lave verdier. Fargen indikerer positivt (grønt) eller negativt (rødt) for sukkertare. Begge deler eller ukjent effekt er i sort.

Store tilførsler av næringssalter til Skagerrak i perioden fra 1988, kombinert med økende nedbør, mange fryse-tine-episoder og store flommer i 1994-95, har trolig redusert vannkvaliteten for sukkertare og samtidig begunstiget vekst av konkurrerende opportunistiske organismer, inkludert de trådalger, fastsittende dyr og bakterier som dominerer dagens samfunn.

Modellberegninger viser at langtransporterte tilførsler av næringsalter har gått ned etter 1995, basert på at bidraget av nitrogen og fosfor fra de kontinentale elver har gått ned. Reduksjoner i disse langtransporterte næringssalttilførsler kan føre til bedre vannkvalitet på Skagerrak-kysten, med håp om naturlig gjenvekst av sukkertare. En periode med mer fremherskende og sterkere sørvestlige vinder har imidlertid gitt økt transport av vann fra sørlige Nordsjøen, til vår kyststrøm, og muligens kompensert for ovennevnte positive utvikling. Utvikling etter 2002 tyder på en mulig normalisering av vind- og strømforholdene med reduserte langtransporterte tilførsler og bedring i vannkvaliteten på Skagerrakkysten (jfr. Kystover-våkingsrapport for 2006, Moy et al. in press). Analysen indikerer ingen nedadgående trend i tilførsler av nitrogen og fosfor fra norske elver, som da relativt sett får en større betydning for tilstanden på kysten. Mange fryse og tine-episoder, stor nedbør og flommer i vinterhalvåret, bidrar til store lokale elvetilførsler av både næringsstoffer og partikler til kystområdene.

Figur 9.15 visualiserer at mange av dataseriene har en økende hyppighet av unormale hendelser de siste 15 år, som i mange tilfeller faller på samme tidspunkt. I Tabell 9.1 er disse satt opp mer systematisk for regionene som ble undersøkt og viser at de fleste klimatiske hendelser synes relativt like i Sør-Norge. Noen mindre forskjeller er indikert, men det er usikkert hvilken betydning de regionale forskjeller har for sukkertareproblematikken.

Foreløpig synes samfunnet som har etablert seg etter sukkertaren å ha en selvforsterkende mekanisme som opprettholder ugunstige betingelser for sukkertarerekrutter, dvs. hemmer gjenvekst av taren. Disse forhold er til undersøkelse i andre løpende aktiviteter i Sukkertareprosjekt.

Tabell 9.1 Oversikt over endringer funnet i dataanalysene kategorisert på 4 regioner; Øst-Norge, Sør-Norge, Vest-Norge og Utlandet (Sverige, Danmark, Tyskland m.fl.). na = data ikke tilgjengelig eller tilstrekkelig for analyse.

Data	Øst-Norge	Sørlandet	Vestlandet	Utlandet
Sjøtemperatur	Økt siste 15 år na	Økt siste 15 år Varm sommer 1991, 1994, 1995, 1997, 1999, 2002, 2006 Oppvarming av dypvannet	Økt siste 15 år Varm sommer 1997 og 2003	Økt siste 15 år Varm sommer 1982, 1991, 1995, 1997, 1999, 2002, 2003, 2004, 2006
Vind	Økt vind fra sørvest. Høy i 1973, 2000. Maks i 1992 Stille vær i 1955-60, 1967-9, 1981-4, 1998	Økt vind fra sørvest. Høy i 1990, 2000. Maks i 2005 Stille vær i 1958-9, 1981-4, 1998	Økt vind fra sørvest. Høy i 1972-4, 1982-3, 1990-4, 1998-9, 2004-5. Maks i 1992 Stille vær i 1983, 1997-2004	na
Fralandsbølger, høyde	Svak nedgang	Svak nedgang. Relativt høy frekvens i 1997	Svak nedgang	
Bølgehøyde	Ingen endring	Ingen endring	Ingen endring	
Nedbør		Økende. Høy i 1990, 95, 2000		

Data	Øst-Norge	Sørlandet	Vestlandet	Utlandet
Temperatur, luft		Økende siden 1988. Høy i 1934, 1989-90, 2000, 2006 Kald i 1940-42, 63-70, 76-81, 85-87		
Fryse-tine, antall nullpasseringer	Økt siden 1985. Topp i 1973-76, 1988-93, 1999-2000, 2004	Økt siden 1960. Topp i 1973-76, 1983, 1988-93, 1999-2000, 2005	na	na
Flomfrekvens, endring eller spesielle episoder	Ingen økning i frekvens av f.eks. 5-års flommer	Ingen økning i frekvens av f.eks. 5-års flommer	Ingen økning i frekvens av f.eks. 5-års flommer	
Vannføring	Storflom i Glomma i 1995 Høstflom i 2000	Høstflom 1987-90, 2000 Vinterflom 1991-93		Høy i kontinentale elver i 1994-95
Nitrogen fra elver		Ingen trend. Topp i 1994-5, 1999-2000. Avtagende siden 2000	Økende tilførsler. Topp i 1990, 2000, 2005. Høy i 2000-5	Avtagende siden 1988
Fosfor fra elver		Ingen trend. Topp i 1990, 1995, 1999-2002. Avtagende siden 2002	Økende tilførsler. Topp i 1990, 2000, 2005. Høy i 2000-5	Avtagende siden 1988
TOC fra elver	Økende trend. Høy i 1988 og 2000. Lav i 90-93 Dobling under flommen i 2000	Økende trend. Høy i 1988, 1994, 2000. Lav i 90-93 Dobling under flommen i 2000	Ingen trend	na
Landbruksbekker	Høy fosforutlekking i 1999-2002	Spes. høy fosfor-utlekking i 1999-2002	Fosfor følger nedbør	na
	Nitrogen følger vannføring Høy partikkelforu. i 1999-2002	Nitrogen følger vannføring Spes. høy partikkel-foru. i 1999-2002	Nitrogen følger vannføring Partikler følger vannføring	
Marin vannkvalitet - Nitrogen, nitrat	Økende tot-N kons Høy nitrat-kons i vinter 2001	Økende tot-N kons Høy tot-N kons i 1999, 2002 og 2005		Tyskebukta: Nitrat-hopp opp i 1987-88, 94-95. Normalnivå 2005.
- Fosfor	Høy konsentrasjon i 1993-5, 2001	Avtakende. Høy i 1990-5, 1999, 2004	Avtakende. Høy i 1990-5, 1999	
- Partikler	Økende	Økende kons. Høy i 1994-95, 1999-2000, 2002-2005	na	
Langtransporterte tilførsler fra sydlige Nordsjøen	Sv.grensa-Larvik mottar på nivå med Torungen-Lista	Larvik-Torungen mottar størst mengde Markerte tilførsler i 1994-95, 1999, 2002	Stor i 1994 og 1999. Likevel langt lavere enn Skagerrak	Sv.grensa-Larvik mottar på nivå med Torungen-Lista
Elvetilførsler til Sørlandet, Havsirk. modellering	Sterkt bidrag fra østlandselver i 2000-2001			Sterkt bidrag fra utlandet i 1994-95, 1999, 2002
Vannføring , Sirkulasjon i Skagerrak		høy i 1994-1998		

10. Referanser

Aure J, Strand Ø. 2001. Havforskingsinstituttets termografstasjoner. Hydrografiske normaler og langtidsvariasjoner i norske kystfarvann mellom 1936 og 2000. Fisken og Havet, nr 13 2001

Bokn T, Lein TE. 1978. Long-tern changes in fucoid assosiation of the inner Oslofjord, Norway. Norw.J.Bot. 25;9-14

Bokn T, Murray SN, Moy FE, Magnusson J. 1992. Changes in fucoid distribution and abundance in the inner Oslofjord, Norway; 1974-80 versus 1988-90. Acta Pytogeogr. Suec. 78:117-124

Bolton JJ, Lüning K. 1982. Optimal growth and maximal survival tempertatures of Atlantic Laminaria species (Phaeothyta) in culture. Mar. Biol. 66: 89-94

Borgvang, S.A., Skarbøvik, E., Selvik, J.R., Stålnacke, P.G., Bønsnes, T.E. and Tjomsland, T. 2006. Load and Source Orientated Approaches for Quantifying Nutrient Discharges and Losses to Surface Waters. May the methodologies of and the synergies between the two approaches be improved? NIVA Report 5307-2006. 84 pp.

Borgvang, S., Stålnacke, P., Skarbøvik, E., Beldring, S., Selvik, J., Tjomsland, T., Harsten, S. 2006. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters - 2004. OSPAR Commission. SFT-report 947-2006, 159 pp.

Coles, S. 2001. An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values. Springer-Verlag. London, 208 pp.

Drageset T.-A. 2003: Flomberegning for Flaksvatn i Tovdalselv. Flomsonekartprosjektet. Dokument 14-2003, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo

Eisma, D.& Kalf, J., 1987. Dispersal, concentration and deposition og suspended matter in the north Sea- J.Geol.Soc.London 144:161-178.

Fortes MD, Lüning K. 1980. Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irridance and photoperiod. Helgol. Meeresunters. 34:15-29

Førland. E.J., Benestad, R., Haugen, J.E., 2007. "Endringer i ekstrem nedbørforhold". Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer. Utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning, Eirik J. Førland, Helene Amundsen, og Grete K. Hovelsrud (red.). Cicero Report 2007:03, s.13-18.

Førland, E.J., Roald, L.A., Tveito, O.E. & Bauer-Hanssen, I., 2000.Past and future variations in climate and runoff in Norway. DNMI Report no. 19/00.

Hisdal, H., Holmqvist, E., Kuusisto, E., Lindström, G. and Roald, L.A., 2004. Has streamflow changed in the Nordic countries? NHP Report No.48, Tartu, 2004.

Hoek, van Den, C. 1982. The distribution of benthic marine algae in relation to the temperature regulation of their life histories. Biol. J. Linnean Soc. 18:81-144

Holtan, G., Berge, D. , Holtan, H., Hopen, T. 1998. Oslo and Paris Commissions (OSPAR). Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1997. A. Principles results and discussions B. Data report. SFT-report 750-1998, 139 pp.

Hurell, J. W., 1995: Decadal trend in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. Science, 269, 676–679

Jakobsen F. (2000). The wind influence on the Jutland Coastal Current interpreted on the basis of som observations. NORDIC HYDROLOGY 31 (2): 127-148 2000

Killingtveit, Å., 2006. "Om flommer og årsak til flom". Flom og ras i vassdrag (Ånund Killingtveit, NTNU og Einar Sæterbø, NVE). Presentasjon på seminar i Norges Tekniske Vitenskapsakademi Trondheim 24 jan. 2006. http://www.ntva.no/seminarer/manus/killingtveit-240106.pdf

Kundzewicz, Z. W., Graczyk, D., Maurer, T., Piñskwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., Szwed, M., 2005. Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow, Hydrol. Sci. J. 50 (5), 797–810.

Lindström, G. and Bergström, S. 2004. Runoff trends in Sweden 1807-2002. *Hydrological Sciences Journal* 49: 69-83.

Moy, F (Ed). 2004. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Årsrapport for 2003. SFT Rapport: 901/2004, TA-nummer: 2025/2004, ISBN-nummer: 82-577-4523-5

Moy, F., Aure, J., Dahl, E., Green, N., Johnsen, T.M., Lømsland, E.R., Magnusson, J., Omli, L. Oug, E., Pedersen, A., Rygg, B., Walday, M., 2002. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge.10-årsrapport 1990-1999 SFT-rapport 848/02. TA-1883/2002. NIVA-rapport 4543. 136s.

Moy FE, Alve E, Christie H, Helland A, Magnusson J, Steen H, Tveiten L, Åsen PA. 2007. Statusrapport nr.2 fra Sukkertareprosjektet. SFT-rapport TA2232/2007. NIVA-rapport 5344. 60s.

Moy F, J Aure, T Falkenhaug, T Johnsen, E Lømsland, J Magnusson, KM Norderhaug, A Pedersen, B Rygg. In press. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Årsrapport for 2006.

North Sea Progress Report 2002. Fifth Ministerial Conference on the Protection of the North Sea. 20-21 March 2002. Progress Report 2002. http://www.dep.no/md/html/nsc/progressreport2002/hoved.html

North Sea Task Force (1993). Assessment report.

Roald, L.A., Asvall, R.P.2007. "Endring i ekstreme nedbør-og flomforhold". Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer. Utredning på oppdrag fra Statens

Landbruksforvaltning, Eirik J. Førland, Helene Amundsen, og Grete K. Hovelsrud (red.). Cicero Report 2007:03, s.18-27..

Roald, L.A., Beldring, S., Engen-Skaugen, Torill, Førland, E.J., Benestad, R., 2006. Climate change impacts on streamflow in Norway. Consultancy report A no 1-2006. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Oslo. 76 pp

Roald, L.A., Førland, E.J., Tveito, O.E. & Bauer-Hanssen, I., 2000. Annexes to Past and future variations in climate and runoff in Norway. *DNMI Report no. 20/00.*

Roald, L.A. 1999. *Analyse av lange flomserier*. HYDRA-rapport no. F01, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Oslo.

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates –the Excel template application MAKESENS. FMI-AQ-31 report. Finnish Meteorological Institute, 35 pp.

Selvik, JR., Tjomsland, T., Borgvang, SA. og Eggestad. HO. 2006. Tilførsler av næringssalter til Norges kystområder i 2005, beregnet med tilførselsmodellen TEOTIL2. NIVA-Rapport 5330-2007.

Skjelkvåle, B.L. 2005. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2004. SFT-rapport 941-2005. 149 s.

Sælthun, N. R., 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. NVE-Rapport nr. 14-1997. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo, 81 s.

Sælthun, N.R., Aittonemi, P., Bergstrøm, S., Einarsson, K., Jòhannesson, T., Lindström, G., Ohlsson, P-E., Thomsen, T., Vehviläinen, B., and Aamodt, K.O., 1998. Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries. Final report from the project "Climate Change and Energy Production". TemaNord 1998:552. ISBN 92-893-0212-7. ISSN 0908-6692. Copenhagen. 170 p.

Van Weering, T.C.E. , Berger, G.W,and Kalf, J., (1987).Recent sediment accumulation in the Skagerrak, northeastern North Sea. Neth.J.Sea.Res. 21: 177-189.

Wang, Q. J. (1996). Direct sample estimators of L moments. Water Resources Research, 32, 3617-3619.

Wulff, F., L. Rahm, A. - K. Hallin and J. Sandberg. 2001. A nutrient budget model of the Baltic Sea. Chapter 13 in: F. Wulff, L. Rahm and P. Larsson (Eds.) A systems analysis of the Baltic Sea. Ecological Studies, Vol 148, pp 353-372. Springer Verlag.

Statens forurensningstilsyn (SFT)
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo
Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00
Telefaks: 22 67 67 06
E-post: postmottak@sft.no
Internett: www.sft.no

Utførende institusjon Norsk institutt for vannforskning, NIVA	Kontaktperson SFT Ingrid Marie Nissen	ISBN-nummer 978-82-577-5189-0

	Avdeling i SFT OMI	TA-nummer 2279/2007

Oppdragstakers prosjektansvarlig Frithjof Moy	År 2007	Sidetall 210	SFTs kontraktnummer 6007011

Utgiver Statens forurensningstilsyn	Prosjektet er finansiert av Statens forurensningstilsyn

Forfatter(e)
Redaktører: Frithjof Moy (NIVA) og Per Stålnacke (Bioforsk)
Øvrige forfattere: Line Johanne Barkved, Øyvind Kaste, Helen de Wit, Jan Magnusson, Kai Sørensen (NIVA), Knut Iden, Hans Olav Hygen, Knut Harstveit, Bruce Hackett, Jon Albretsen (met.no), Johannes Deelstra (Bioforsk), Henning Steen (HI) Lasse H. Pettersson (NERSC)

Tittel - norsk og engelsk
Sukkertareprosjektet Analyse av klima- og miljøovervåkingsdata med betydning for sukkertare
Sugar Kelp Project: Analyses of climate and environmental data with relevance for sugar kelp

Sammendrag – summary
Klimatiske- og klimarelaterte endringer eller avvik, er analysert med henblikk på årsaks-sammenhenger – både direkte og indirekte - til sukkertarens (S*accharina latissima*) bortfall langs sørlandskysten av Norge. Rapporten sammenstiller tilgjengelige miljøovervåkings- og klimadata, og beskriver de største klimatiske og miljømessige hendelser og endringer i Skagerrak regionen tilbake til 1960. Eutrofiering siden 1980 har sannsynlig gitt sukkertaren tiltakende dårligere vilkår, og høy sjøtemperatur i 1997 kan sannsynlig ha vært utløsende faktor til regionalt tap av sukkertareskog.

Climatic variance and related events have been analysed for plausible changes or anomalies in relation to cause-effect (direct and indirect) for the loss of the sugar kelp forest (*Saccharina latissima*) along the southern coast of Norway. The report compiles existing environmental and climate data, including an assessment of the largest climate and environmental changes back to 1960. Eutrophication since 1980 has probably reduced the conditions for sugar kelp and high sea temperature in 1997 is probably the triggering factor for regional loss of sugar kelp forest.

4 emneord Sukkertare; Klima; Vannkvalitet; Overvåking	4 subject words Sugar kelp; Climate; Water quality; Monitoring