O-93251

Evaluering av SeaWIFS dataprodukter for bruk til overvåking av vannkvalitet

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning NIVA

Prosjektnr.:	Undernr:
O-93251	
Løpenr:	Begr. distrib.:
3136	Fri

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
Evaluering av SeaWIFS dataprodukter for bruk til overvåking av vannkvalitet.	18.9.94	NIVA 1994
	Faggruppe:	
	Analyse	
Forfatter(e):	Geografisk område:	
Kai Sørensen Jan Magnusson	Generellt	
	Antall sider:	Opplag:
	30	75

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
Norsk Romsenter	JOP. 83319932

Ekstrakt:

Det er gjennomført en undersøkelse for å evaluere hvordan fjernmåling fra satellitt med SeaWIFS-sensoren kan benyttes til overvåkning av viktige miljøvariable og hvilke dataprodukter man bør utvikle for denne type data. Vannkvalitetsvariable som siktedyp, svekningskoeffisienter for sollys, turbiditet, suspendert materiale og klorofyll-a er aktuelle variable, men nøyaktigheten i målingene av disse vil avhenge av om man er nær eller fjernt fra kysten. Satellittdataenes store arealdekning må benyttes i dataproduktene og man må i størst mulig grad inkorporere andre feltobservasjoner for å oppnå best presisjon på data som skal inngå i langtidsovervåking. Kun et fåtall fjorder kan overvåkes tilfredsstillende med denne sensoren, men den vil være desto viktigere for kystvannmasser når man kommer litt ut fra kysten og for de store hav-områder. For bruk til langtidsovervåking er dekningsfrekvensen tilfredsstillende for Sør-Norge, men noe for lav for nordområdene. Dette må tas hensyn til under databruken og i de dataprodukter og tjenester man utvikler. Får man utviklet de rette produkter vil SeaWIFS-data gi oss ny informasjon om viktige miljø-variable som det ikke er mulig å få frem med andre metoder.

4 emneord, norske

1. Satellittfjernmåling
2. Vannkvalitet
3. SeaWIFS
4. Evaluering

4 emneord, engelske

1. Satellite Remote Sensing
2. Water Quality
3. SeaWIFS
4. Validation

Prosjektleder

Kai Sørensen

For administrasjonen

Torsten Källqvist

ISBN 82-577-2607-9

Norsk institutt for vannforskning

O-93251

Evaluering av SeaWIFS dataprodukter for bruk til overvåking av vannkvalitet

Oslo, 18. September, 1994.

Forfattere: Kai Sørensen
Jan Magnusson
Medarbeider: Gunnar Severinsen

Forord

Norsk instiutt for vannforskning (NIVA) er av Norsk Romsenter (NRS) blitt bedt om å foreta en vurdering av en ny satellittsensor (SeaWIFS) for bruk til overvåking av vannkvalitet. Denne sensoren skal plasseres på SeaStar-satellitten som er planlagt satt i drift i 1995.

Prosjektet er endel av det Norske SeaWIFS-brukerprogrammet som tar sikte på å utrede kost/nytte verdien av å bruke slike data for overvåkingsformål. Det norske brukerprogrammet er sammensatt av de potensielt største brukeretatene av denne type tjenester i Norge. Styringsgruppen for prosjektet består av representanter fra Norsk Romsenter, Tromsø Satellittstasjon, Statens forurensningstilsyn, HOV, Havforskningsinsituttet og Nordic Consulting Group, som har sekretærfunksjonen i styringsgruppen.

Gunnar Severinsen ved NIVA har bearbeidet noe av satellittdataene, og det er ellers brukt data fra tidligere fjernmålingsprosjekter ved NIVA hvor bearbeiding bl.a. er foretatt ved Centrum för bild-analys, Uppsala. Vi har også fått benyttet satellittdata fra Torkild Aarup, Niels Bohr Institutt for Astronomi, Fysikk og Geofysikk ved Universitet i København. Eyvind Aas ved Universistet i Oslo er blitt rådspurt når det gjelder marin optiske spørsmål. SFT og Havforskningsinstituttet/ Flødeviken har bidratt med synspunkter. Jan Magnusson og Kai Sørensen har skrevet denne rapporten.

Alle takkes for bidrag til rapporten.

Kai Sørensen
prosjektleder

Innhold

Forord 2
Sammendrag 4
1. Innledning 6
1.1 Bakgrunn 6
1.2 Målsetting 6
1.3 Gjennomføring 6
2. SeaWIFS og måling av havvannets farge 7
2.1 De optiske kanaler hos SeaWIFS 7
2.2 Marin optiske forhold og algoritmer for vannkvalitet 7
2.3 Geometriske forhold omkring SeaWIFS dataene 8
2.4 Radiometriske forhold omkring SeaWIFS data 9
2.5 Forventet målehyppighet på grunn av lav solhøyde og skydekke 9
3. Overvåking av vannkvalitet 12
3.1 Hva er overvåking 12
3.2 SFTs overvåkingsprogram 12
3.3 Geografiske områder av interesse for langtidsovervåking 13
3.4 Aktuelle vannkvalitetsvariable utledet fra SeaWIFS-data 13
3.4.1 Klorofyll-a og planteplankton 13
3.4.2 Totalt suspendert materiale og turbiditet 13
3.4.3 Siktedyp og svekningskoeffisient 14
3.4.4 Oppløst organisk materiale 14
4. Hvor nøyaktig må vannkvalitetsparametrene måles 15
4.1 Siktedyp og svekningskoeffisienter 15
4.2 Klorofyll-a, planteplankton og suspendert materiale 18
4.3 Oppløst organisk materiale - Gulstoff 22
5. SeaWIFS-dataprodukter for vannkvalitetsovervåking 24
5.1 Overflateintegrerte data 24
5.2 Kombinasjon av ulike satellittdata og med feltobservasjoner 27
6. Referanser 29

Sammendrag

Målsetting

Målsettingen med prosjektet er å vurdere hvilke potensielle muligheter som ligger i å benytte satellitt-observasjoner med SeaWIFS-sensoren for å bestemme vannkvalitetsvariable, og demonstrere hvordan og hvilken nytte denne spesielle sensoren kan få innen det statlige program for forurensningsovervåkning.

Gjennomføring

Arbeidet er gjennomført ved å studere erfaringer gjort med andre satellittdata, spesifikasjonene til SeaWIFS-sensoren og erfaringene man har om overvåking av vannkvalitet og marin optiske forhold i noen norske områder. Spesielt er nytteverdien vurdert opp mot de prosjekter som NIVA utfører for SFT gjennom ulike overvåkingsprogrammer.

Konklusjoner

SeaWIFS-sensoren vil gi oss nye muligheter og vil forbedre langtidsovervåkningen av viktige vann-kvalitetsvariable i våre hav og kystområder, men det vil knytte seg begrensninger til denne type data som man må være oppmerksom på. Tross begrensningene vil slike data vil gi oss ny informasjon som det ikke er mulig å få frem med andre metoder.

De variable som vil kunne observeres må være knyttet til vannets optiske signatur. De viktigste er siktedyp, svekningskoeffisienten til sollyset, turbiditet, suspendert materiale og klorofyll-a. Sansynligvis vil variable som tar hensyn til alle de optiske komponentene og som er mest relatert til overflaten som siktedyp og svekningskoeffisient kunne registeres med bedre presisjon, enn parametere som turbiditet og suspendert materiale som bare tar henyn til den partikulære komponenten eller klorofyll-a som ofte har en ulik vertikalfordeling i vannmassene. Denne forskjellen i hvor presist vi kan bestemme de ulike variable vil være større i de nære kystområder enn for havområder, slik at jo lengre fra land man kommer vil parametere som klorofyll-a få større betydningen for det optiske signalet og derved oppnå større presisjon. Det er viktig å velge ut de variable som man enklest vil lykkes med i kystområdene og utvikle dataprodukter og tjenester omkring disse.

SeaWIFS-sensorens begrensninger knytter seg til flere forhold. For det første gjør den geometriske oppløsningen at kun sentrale deler av et fåtall fjorder kan overvåkes med denne sensoren. Her må man fortsatt benytte de mer høyoppløselige sensorer som Landsat og Spot er utstyrt med. Det er antageligvis mulig å få noe verdifull informasjon fra 8-10 større fjorder med SeaWIFS, men det vil knytte seg større usikkerheter til de absolutte verdier enn man får lenger fra land. De sikreste absolutte data vil man oppnå ca. 2 km fra kysten. Områdene rundt skyer må man være spesielt oppmerksom på og her må data kvalitetsikres spesielt godt og man må heller fjerne et større område for å være på den sikre siden. Det er viktig at data som skal brukes statistisk i langtidsovervåking har høy kvalitet.

Et annet problem kommer ved konverteringen av radiansdata til vannkvalitetsdata. Hvor godt dette vil bli kan man få svar på etter en lengre tids utprøving, men det hele vil stå å falle på hvor godt algoritmene for atmosfærekorreksjon vil fungere. På grunn av denne usikkerheten er det avgjørende å kombinere SeaWIFS-data med feltobservasjoner både av vann og atmosfære for å redusere denne usikkerheten og øke anvendbarheten av dataene. Etterhvert som man får erfaring med dataene kan de korrigerte radiansverdiene fra havoverflaten eventuelt brukes som en egen satellittspesifikk variabel. Produkter som kombinerer optisk SeaWIFS informasjon og termiske data fra f.eks. AVHRR vil være viktig.

De konsentrasjoner vi skal detektere for de aktuelle områdene i våre nære kystfarvann og havområder er lave og en overvåking skal avdekke små forandringer over lang tid og presisjonen er derfor avgjørende. Satellittdata vil ha lavere presisjon en tradisjonelle målemetoder for vann-kvalitetsvariable, men dette kompenseres til en del av større arealdekning. Nye produkter og tjenester må derfor konsentreres om å benytte arealintegrerte data og få de over på en statistisk form for viderebearbeiding. Slike data må ha geografiske koordinater så at de samme områder blir sammenlignet fra gang til gang. Dataene bør settes i samband med andre tradisjonelle data, muligens også i et klassifikasjonssystem for miljøtilstand for havområder.

På grunn av ulike vær- (mye skyer) og lysforhold (lave solhøyder) på våre breddegrader vil periodene for gode obervasjoner variere fra Sør-Norge til Nord-Norge. I Sør-Norge vil satellitten i gjennomsnitt gi data med omtrent samme dekningsfrekvens som man idag har i f.eks. kystovervåkningsprogrammet. Det vil imidlertid være perioder (måneder, sesonger) som vil bli underrepresentert med data eller mangle helt som f.eks. vintersesongen, og dette må man ta hensyn til i hvordan dataene benyttes og tolkes.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Etter at Costal Zone Colour Scanner (CZCS) sensoren sluttet å virke juni 1986 har det ikke vært noen operative optiske satellitter for måling av klorofyll-a i havet. I stedet er jordressurssatellitter som Landsat og SPOT og værsatellittene NOAA benyttet i ulike vannkvalitetsstudier. Disse satellittene er imidlertid ikke tilpasset de svake signaler fra havet og egner seg ikke for målinger av f. eks. klorofyll-a. Tross dette har spesielt temperaturdata fra NOAA gitt verdifull informasjon i ulike havområder, mens Landsat og SPOT er, pga. dårligere følsomhet og dyrere data, blitt mest anvendt på kystvann, estuarier og fjorder (Sørensen og medarb., 1993).

Orbital Science Corporation (OSC) planlegger sammen med NASA å sette i drift satellitten SeaStar våren 1995. Denne vil være utstyrt med en CZCS-liknende sensor, kalt SeaWIFS - "Sea-viewing Wide-Field-of-view Sensor". I den forbindelse er det etablert et Norsk SeaWIFS-brukerprogram.

Parallellt med SeaWIFS-brukerprogrammet er det planlagt et norsk forskningsprosjekt hvor flere norske deltagere er involvert og hvor man skal utvikle bruken av SeaWIFS-data for en rekke formål innen overvåkning og ressursforvaltning. Prosjektet er endel av NASAs prosjekt for å kalibrere og utvikle algoritmer for klorofyll-a og primærproduksjon på mer global basis.

Norsk Romsenter vurderer å etablere en norsk avtale med OSC om nedlesning og kommersiell distribusjon av data ved Tromsø Satellittstasjon. Det norske SeaWIFS-brukerprogrammet tar sikte på å utrede kost/nytte verdien av en slik tjeneste, både for det nasjonale og det internasjonale markedet. NIVAs delprosjekt er endel av dette norske brukerprogrammet.

1.2 Målsetting

Målsettingen med prosjektet er å vurdere hvilke potensielle muligheter som ligger i å benytte SeaWIFS-data for å bestemme vannkvalitetsvariable, og demonstrere hvordan og hvilken nytte denne spesielle sensoren kan få innen det statlige program for forurensningsovervåkning.

1.3 Gjennomføring

Arbeidet er gjennomført ved å studere erfaringer gjort med data fra CZCS-sensoren og andre satellittdata, spesifikasjonene til SeaWIFS-sensoren og erfaringene man har om overvåking av vannkvalitet og marin optiske forhold i noen norske områder. Spesielt er nytteverdien vurdert opp mot de prosjekter som NIVA utfører for SFT gjennom ulike overvåkingsprogrammer, spesielt i Sør-Norge (Skagerrak) hvor slik overvåking er prioritert.

Bruken av fjernmåling og spesielt denne sensoren er diskutert med SFT og Havforskningsinstituttet/ Flødeviken som sammen med NIVA deltar i gjennomføringen av deler av SFTs kystovervåkings-program.

2. SeaWIFS og måling av havvannets farge

2.1 De optiske kanaler hos SeaWIFS

Nedenfor er kort nevnt de vesentligste spesifikasjonen for SeaWIFS-sensoren som har betydning for denne vurderingen. SeaWIFS-sensoren har 8 optiske kanaler fordelt i området 400-890 nm som er gjengitt i oversikten nedenfor. Her er også den tidligere CZCS-sensorens kanalkonfigurasjon satt opp for sammenligning. Verdiene i oversikten angir kanalens senterbølgelengde. SeaWIFS-sensorens kanal 1-6 har 20 nm båndbredde, mens kanal 7 og 8 har 40 nm. SeaWIFS har totalt 3 kanaler mer enn CZCS-sensoren, hvorav 2 gir informasjon om havoverflaten. Kanal 1 i den blå delen av spekteret er primært tenkt som en korreksjonskanal for oppløst organisk materiale (gulstoff), mens kanal 3 i grønt er tenkt benyttet for bestemmelse av høye klorofyll-a mengder. Hvorvidt kanal 1 også kan brukes for direkte bestemmelse av gulstoff må utprøves.

Kanalnummer	1	2	3	4	5	6	7	8
SeaWIFS (nm)	412	443	490	510	555	670	765	865
CZCS (nm)		443		520	550	670	750	

Kanal 7 og 8 i det nære infrarøde ved 765 og 865 nm skal brukes for atmosfærekorreksjoner, men også kanal 6 vil bli brukt i nye atmosfærekorreksjonsalgoritmer. I atmosfærekorreksjonen antar man bl.a. at radiansen er tilnærmet lik null i den røde delen av spekteret (670 nm), men denne tilnærmingen vil ikke gjelde for kystvann og sansynligvis heller ikke for de nære havområder som Skagerrak. Sansynligvis vil man selv med de nye atmosfærekorreksjonsmetodene fortsatt ha et generelt problem med atmosfærekorreksjon i de mest interessante geografiske områder hvor vannkvalitetsovervåking foregår, hvis man utelukkende skulle basere seg på satellittdataene. Det kan være andre måter å redusere eller omgå dette på ved bruk av observerte atmosfæredata og in situ data (Jfr. kap. 5.3). Hvis man også skal benytte kanal 6 for atmosfærekorreksjon vil man sitte igjen med 5 kanaler som er disponible for utvikling av ulike bio-optiske algoritmer for vannkvalitet. Mer om programvare angående atmosfærekoreksjon for denne sensoren finnes i Petterson (1994).

2.2 Marin optiske forhold og algoritmer for vannkvalitet

Problemet med å bestemme optiske egenskaper i havets øvre vannmasser med passive fjernmålingssensorer kan deles i en atmosfærisk og en marin del. Den atmosfæriske delen består i å finne sammenhengen mellom signalet (radiansen, L) målt ved satellitten og det signalet som forlater havoverflaten (L_{hav}). Den marine delen består i å finne sammenhengen mellom L_{hav} og en ønsket egenskap i vannet (f.eks. en vannkvalitetsvariabel). Alle disse størrelsene er igjen avhengig av en rekke størrelser som bølgelengde, solhøyde, atmosfærens transmisjon, sjøtilstand og vind. (Se Sørensen og medarb., 1993, Sørensen og Aas, 1994 og Aas og Sørensen (in prep.) for en nærmere omtale).

I oceanisk vann er de optiske forholdene dominert av alger (levende og døde), mens det i kystvann finnes mer oppløst organisk materiale og andre partikler som ikke skyldes planktonalger. I våre områder som f.eks. Skagerrak, Kattegatt og den sydlige Nordsjøen har man slike vanntyper, i fjernmålingssammenheng kalt type I og II (CASE I og CASE II). Dette er egentlig en meget grov inndeling og Jerlov (1976) har innført andre klassifikasjoner basert på den vertikale svekningskoeffisienten til nedoverrettet sollys (k_d). Det er glidende overganger mellom CASE I- og CASE II-vann, som setter store krav til beregningsalgoritmene for de variable man vil bestemme.

Det signalet som forlater havoverflaten er dybdeintegrert (midlet) ned til ca. en attenuasjonslengde ($1/k_d$) eller til det dypet hvor det er igjen ca. 10 % av lyset ved overflaten. Signalet vil derfor representere ulike dyp avhengig av hvor mye uorganiske partikler, klorofyll eller oppløst materiale som er tilstede. Av den grunn kan den ikke uten videre sammenlignes med observerte data målt på standarddyp i vannmassene. Slike satellittutledede variable kan derfor ikke benyttes direkte i de samme dataserier som er bestemt gjennom prøvetagning, men må få en selvstendig vurdering og eventuelt gå inn et klassifikasjonsystem (Jfr kap. 5.1). Feltdata må allikevel brukes for å korrigere og oppnå størst mulig presisjon på satellittdataene. Hvor gode de endelige dataproduktene kan bli vil sterkt avhenge av hvor gode atmosfærekorreksjoner man kan oppnå. Det er også uklart om "nye" bio-optiske algoritmer for våre vanntyper er robuste nok til å håndtere den store variabiliteten i oppløst materiale og partikler i enkelte deler av våre kystvannmasser.

I kystvann er påvirkningen spesielt stor i beregningene av klorofyll-a fra fjernmålingsdata pga. innholdet og variabiliteten til både oppløste stoffer og uorganiske partikler. Det er gjennom de siste års forskningsinnsats både innen marin optikk og fjernmåling allerede etablert vesentlige kunnskaper om de komplekse optiske forholdene i deler av Skagerrak (Aas og Sørensen, in prep.). Gjennom dette arbeidet er det blitt avdekket at de optiske modeller for slike vannmassere må videreutvikles, og det er vist at de etablerte forenklede modeller ikke synes å holde for dette området. Forståelse av sambandet mellom de ulike optiske størrelser er nødvendig for utvikling av beregningsalgoritmer for vannparametre basert på fjernmålte data.

De algoritmer man så langt har utviklet for klorofyll-a er basert på forholdstall mellom ulike bølgelengder fra CZCS-sensoren. Det er to kanalkombinasjoner som blir brukt for klorofyll-a (443/550 og 520/550), mens for svekningskoeffisienten ved 490 nm, k_{490} benyttes f. eks. kanalforholdet 443/550. Se Holligan og medarb. (1989) for en nærmere gjennomgang. Disse algoritmer er utviklet for CASE I vann og nye algoritmer må utvikles for CASE II vanntyper.

2.3 Geometriske forhold omkring SeaWIFS dataene

Den geometriske oppløsning i nadir (rett under satellitten) vil være 1.1x1.1 km. Opptaket dekker et 2800 km bredt spor. Oppløsningen er noe dårligere enn CZCS som hadde 0.825x0.825 km, men er det samme som AVHRR-sensorene hos værsatellitten NOAA. SeaWIFS-sensoren på SeaStar-satellitten og AVHRR-sensoren på NOAA-satellittene vil derfor ha samme geometriske oppløsning. Dessuten går NOAA og SeaStar i omtrent samme bane og en kombinasjon av data fra disse sensorene (f. eks. temperatur og synlig lys) er en meget interessant dataprodukt. Som for NOAA-satellitten vil Tromsø Satellittstasjon lese ned ca. 10 passeringer pr. dag og man vil få minst to passeringer (morgen og ettermiddag) med omtrent nadiropptak over Norge, som gir oss den beste geometriske oppløsningen. De øvrige passeringer vil være tatt i ulike vinkler som vil gi en oppløsning på flere kilometer som ikke vil egne seg for de nære kystområder, men som derimot kan benyttes for havområder i enkelte tilfelle. Man må foreta en kvalitetsvurdering av forhold som skydekke, solhøyde ved det aktuelle tidspunktet, eventuelle "sunglint"-effekter eller andre "feil" ved dataene.

Det er stor overvåkningsaktivitet i ulike fjorder, fordi det er her man skal følge opp rensetiltak, og det er her eutrofiproblemene gir seg størst utslag. SeaWIFS-sensorens geometriske oppløsning som i beste fall er 1.1 x 1.1 km vil nødvendigvis begrense anvendligheten, og det blir få fjorder hvor vi vil kunne få gode data fra SeaWIFS. Erfaringer med bruk av AVHRR-data fra Oslofjorden (Sørensen og medarb., 1989) er at man kan få gjengitt viktig informasjon fra deler av fjordens overflatelag der hvor fjorden har en bredde på minst 15 km eller har flater på ca. 5x5 km. Nær land vil man ha et blandingssignal fra både land og vann, og opptil 2 km langs land kan vanligvis ikke brukes.

Over land vil man ha en høyere tilbakestråling av synlig lys enn over hav og dette vil kunne påvirke havsignalet nærmest land. Noen overslagsberegninger foretatt i Ytre Oslofjord med data fra Landsat-5 (Aas og Sørensen, in prep.) er at man ca. 2 km fra kysten kan få ca. 2 % for høye radiansverdier. Det betyr at for SeaWIFS hvor 2 km nær kysten allikevel ikke kan brukes pga. selve den geometriske oppløsningen så kan man se bort fra denne feilen. I trange fjorder får man effekter av land fra to sider og man må forvente at radiansen kan bli noen prosent for høy. Skal man bruke feltdata fra fjorder eller kystnære områder for direkte kalibrering av SeaWIFS-sensoren, må man være spesielt oppmerksom på denne effekten. En gjennomgang av hvilke norske fjorder (eller deler av fjorder) som det ut fra areal og topografi eventuelt kan være mulig å få verdifulle SeaWIFS-data fra er følgende:

Ytre Oslofjord
Boknafjorden
Bjørnafjorden
Sognefjorden
Moldefjorden
Trondhjemsfjorden
Tanafjorden
Porssangerfjorden
Varangerfjorden

2.4 Radiometriske forhold omkring SeaWIFS data

Den absolutte nøyaktigheten for det normaliserte (atmosfærekorrigerte) marine radianssignalet fra SeaWIFS for oceanisk vann er oppgitt til å bli ± 5 %, som er det samme som for CZCS-sensoren. Den relative nøyaktighet er oppgitt til ± 1 %, som betyr at små radianskontraster i havoverflaten bedre kan skilles. På grunn av de ovenfor nevnte vanskeligheter med atmosfærekorreksjon (Jfr. kap 2.1) er det vanskelig på forhånd å bedømme om dette vil være mulig å opprettholde for kystvann. En mer utstrakt bruk av feltdata og observasjoner av atmosfæredata vil være å foretrekke.

SeaWIFS-sensoren har en terskelverdi for hvor mye radians den kan ta imot før den går i metning. Normaliseringstiden etter en slik metning, pga f.eks. høye radianser fra skyer er oppgitt til å være opp mot 10 piksler, dvs ca. 10 km med nadiropptak. Dette er redusert til 1/10 av hva spesifikasjonen for CZCS var på dette punktet, og er vesentlig forbedret, men kan fortsatt synes å være for høyt for kystområder. De radianser man har over landområdene vil normalt ikke forårsake at sensoren går i metning, så dette er nok primært et problem omkring skyer.

Områder som er påvirket av for høy radians må "fjernes" før de digitale dataene benyttes videre i statistiske beregninger. For varslingsformål hvor det er lavere krav til absoluttdata (Jfr. kap. 3.1) vil dette ikke ha samme betydningen fordi her vil man benytte bildeinformasjonen (spredningsmønster) og ikke verdiene som sådan. Man vil ut fra bilde-informasjonen (strukturer, termiske eller optiske mønstere) ta hensyn til slike feil i tolkningen. På grunn av ulik bruk og ulike kvalitetskrav til dataprodukter må sansynligvis denne form for kontroll gjøres hos brukeren, fordi en automatisk fjerning av slike "feil" er vanskelig.

2.5 Forventet målehyppighet på grunn av lav solhøyde og skydekke

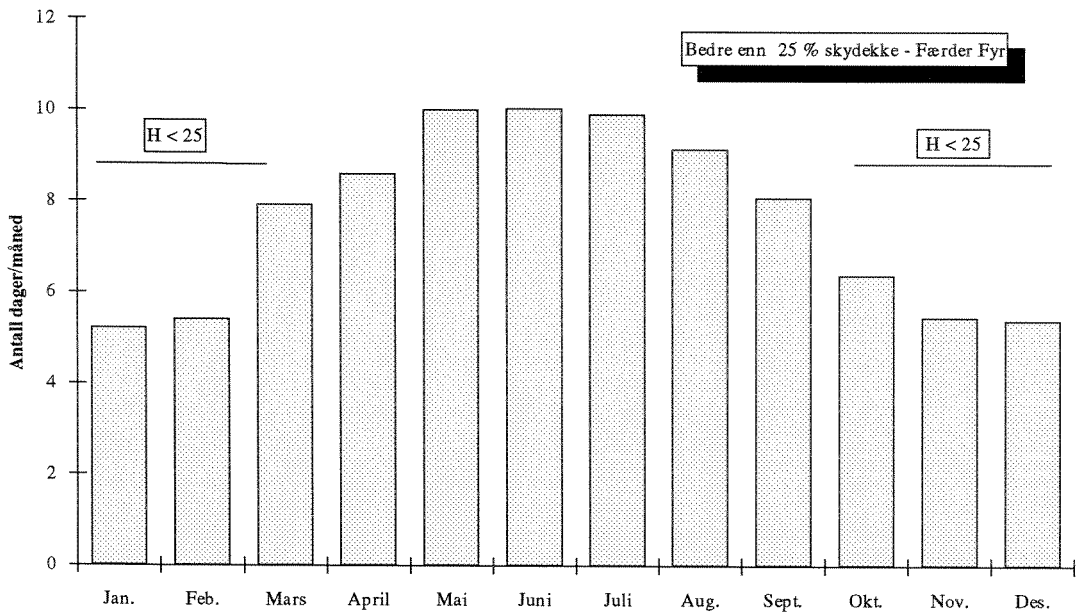
Bruk av passive satellittdata som fra SeaWIFS er avhengig av sollyset, og en viktig faktor som påvirker sambandet mellom havet optiske egenskaper og tilbakestrålt radians til satellitten er solhøyden under målingen. Det er usikkert hvor lav den kan være, men erfaring fra egne målinger på våre breddegrader er at under ca. 25 grader kan det oppstå "vanskeligheter" i disse samband.

For å illustrere hva en slik effekt kan medføre i nedsatt måleperiode er det nedenfor satt opp noen eksempler. Med en grense på ca. 25 grader for en måling midt på dagen (kl. 1300 normal tid) så vil f.eks. følgende steder i Norge kunne få brukbare data innen følgende perioder:

Sør-Norge (Fredrikstad)	Fra ca. 10. mars til ca. 3. oktober	Ca. 7 måneder
Midt-Norge (Trondhjem)	Fra ca. 20. mars til ca. 20. september.	Ca. 6 måneder
Nord-Norge (Vardø)	Fra ca. 10. april til ca. 30. august	Ca. 4.5 måned

Muligheten for å få gode data synker derfor drastisk jo lenger nordover i landet vi kommer. Man kan allikevel få ut informasjon fra dataene utenom disse perioder, men korreksjoner og kvantitative beregninger av ulike variable vil bli mer usikker. Dette med solhøydeeffektene er forhold som må testes mer grundig for våre farvann før noen endelig grense kan bestemmes.

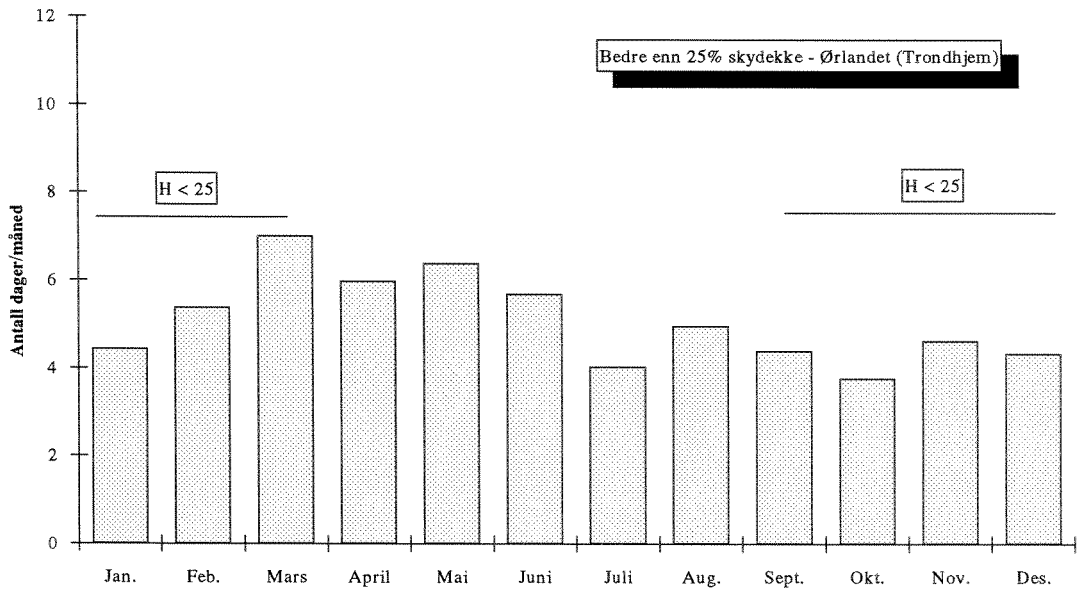
SeaWIFS-sensoren vil foreta målinger flere ganger pr dag, men med optiske data vil frekvensen med tilnærmet skyfrie passeringer pr. måned være avgjørende for hvor ofte man vil få data, og om dette blir en tilfredstillende frekvens for bruk til overvåkning. Skystatistikk fra Meteorologisk Institutt for perioden 1957-93 for noen uvalgte stasjoner er bearbeidet for vurdering av sansynlig målefrekvens. Hvis vi antar at ca. 25 % skydekke eller bedre kan benyttes vil man f.eks. for nordlige delen av Skagerrak oppnå i perioden mai-juli ca. 10 målinger pr. måned og ca. 8 dager/mnd for mars, april og september. Figur 1 viser hvordan dette statistisk er for Færder Fyr i Ytre Oslofjord hvor periodene med solhøyder < 25° er markert.



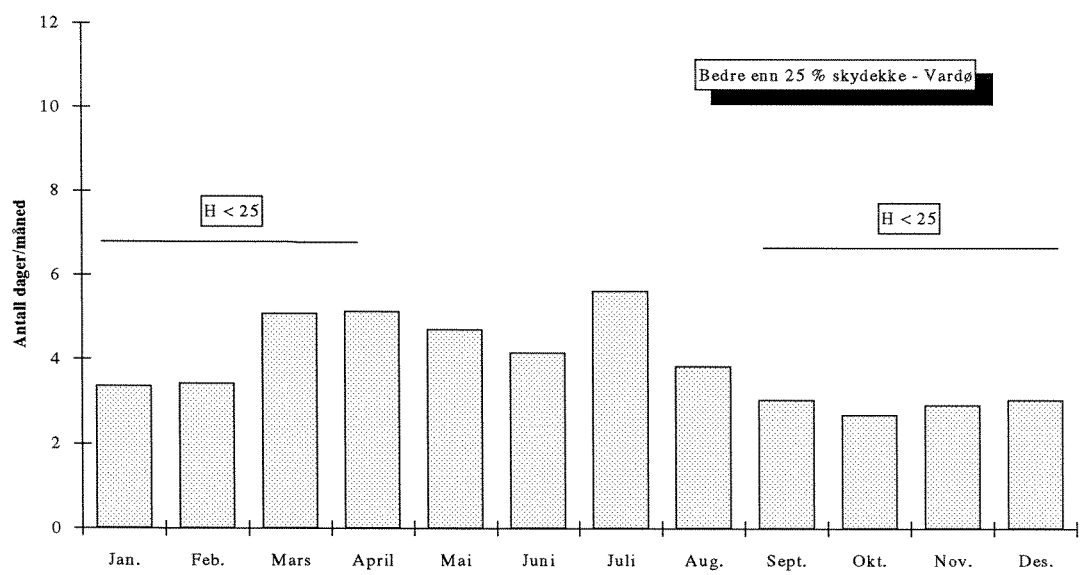
Figur 1. Antall dager pr. måned med skydekke bedre enn 25% ved Færder Fyr i Ytre Oslofjord. Basert på middel for perioden 1957-93 og observasjonstidpunkt kl 1300 normal tid. Måneder med solhøyde (H) mindre enn 25° på samme tidspunkt er angitt.

Dette materialet er basert på et stort gjennomsnitt og man vil ha store variasjoner og for enkelte måneder vil man pga. av dårlig vær ikke få obervasjoner, men dette skjer også til tider med vanlig prøvetagning og bøyeobservasjoner. Selv om man halverer den sansynlige målefrekvensen (pga. "sunglint" eller for høy radians rundt skyer) er den fortsatt høyere enn den frekvens man idag benytter i f. eks. kystovervåkningsprosjektet i Skagerrak. Områder med skyer eller skyskygge-effekter i bildet må fjernes fra det data-materiale som senere skal utgjøre grunnlaget for videre analyser (Jfr kap 2.3).

Figur 2 og 3 viser det samme forholdene for Midt-Norge og Nord-Norge. Vi ser at lengre nordover i landet får man en lavere målefrekvens dels pga skydekke, men også pga lavere solhøyder.



Figur 2. Antall dager pr. måned med skydekke bedre enn 25% på Ørlandet (Trondhjem). Basert på middel for perioden 1957-93 og observasjonstidpunkt kl 1300 normal tid. Måneder med solhøyde (H) mindre enn 25° på samme tidspunkt er angitt.



Figur 3. Antall dager pr. måned med skydekke bedre enn 25% i Vardø. Basert på middel for perioden 1957-93 og observasjonstidpunkt kl 1300 normal tid. Måneder med solhøyde (H) mindre enn 25° på samme tidspunkt er angitt.

Et forhold som kan komplisere tolkningen av slike data er om spesielle klarvær- eller tilnærmet klarværsperioder gjenspeiler spesielle klimatiske forhold (høytrykk), slik at det materialet man bruker i videre analyser vil overrepresentere spesielle klimasituasjoner. Dette er forhold som må undersøkes og tas hensyn til i bearbeidingen og tolkningen av dataene.

3. Overvåking av vannkvalitet

3.1 Hva er overvåking

Formålet med en overvåking av kyst- og havområden er dels å gi oversikt over miljøtilstand i tid og rom, dels å varsle uønskede hendelser. De to ulike formål med overvåkingen vil tildels kreve ulike metoder. For korttidsvarsling av f.eks. giftige alger, er det nødvendig med hyppige observasjoner (helst kontinuerlige) i det tidsrom hvor forventningen til hendelser er størst. Nøyaktigheten til observasjonene er av mindre betydelse. For overvåking av en utvikling (trend) er det viktigere med en høy grad av nøyaktighet i relasjon til de variable som følges, og observasjonsfrekvens og antall observasjonspunkter må tilpasses dette formål. For å beskrive en utviklings representativitet i rommet, er det ofte nok med gradientstudier i relasjon til faste obeservasjonspunkter. Ved gradientstudier over store områder er det også generelt mindre krav til frekvens og nøyaktighet enn ved kartlegging av tidstrender.

Som et eksempel på varsling kan nevnes HOVs algevarslingsprogram. Som eksempel på langtidsovervåking kan nevnes SFTs overvåkingsprogram av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge.

3.2 SFTs overvåkingsprogram

Det statlige program for forurensingsovervåkning skal gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt. Man vil registrere virkningen av igangsatte tiltak og fremskaffe grunnlag for å vurdere nye tiltak og få kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige tilstand. For å kunne studere langsiktige trender kreves det gode absolutte data, som igjen krever analysepresisjon som idag stort sett bare kan oppnås ved analyse av vann i laboratoriene og med enkelte feltmålinger. Problemet med slike krav er å kunne dekke tilstrekkelig antall stasjoner med den nødvendige frekvens.

Programmet har følgende hovedmålsetting:
1) Gi oversikt over miljøtilstanden mhp. næringssaltene og deres virkninger i kystområdene.
2) Identifisere fra hvilke områder ulike næringssaltsmengder kommer til norskekysten.
3) Kartlegge endringer i næringssaltskonsentrasjonene over tid.
4) Kartlegge virkninger av næringssalter på utviklingen og tilstanden i hard- og bløtbunnsammfunnene.

Overvåkingsprogrammet er bygd opp av flere delundersøkelser og består av hardbunn- og bløtbunnsundersøkelser og hydrografiske/hydrokjemiske undersøkelser av vannmassene. I hydrografi/hydrokjemidelen inngår et stort antall vannkvalitetsvariable som må følges opp over lang tid og med en relativ høy frekvens. Tidsperioden for denne type overvåkning er 5 - 10 år før man regner med å kunne si noe sikkert om en utvikling.

I denne type overåkning vil satellittdata kunne brukes for enkelte parametere og problemstillinger. Det er spesielt den romlige dekningen til satellittdataene og forskjellige overvåkningsvariable knyttet til havoverflaten som er av interesse i denne sammenheng. Skal man bruke denne type informasjon vil man måtte stille meget store krav til beregnings- og korreksjonsalgoritmer. Det må stilles strenge krav til kvalitetsikringen av slike data. F.eks. kan nevnes at for kystovervåkningsprogrammet foregår det 1 til 2 ganger pr. år parallellanalyser mellom de deltagende laboratorier. Ved kvalitetssikring av satellittdata vil det være behov for informasjon om og sammenligning med enkelte feltmålinger.

3.3 Geografiske områder av interesse for langtidsovervåking

Hele Norskekysten inklusive fjordene og de nære havområder er i prinsippet av interesse, men SFT prioriterer for tiden Nordsjøen inkl. Skagerrak, Barentshavet og Karahavet. SFTs ansvar på Svalbard er lite, og her er det også Norsk Polarinstitutt som har forvaltningsansvaret.

Forurensningsproblemene i Nordsjøen (inkl. Skagerrak) er knyttet til eutrofi og miljøgifter, mens i Barentshavet fokuseres det på miljøgifter og radioaktivitet. Det er idag pålegg om rensetiltak fra Lindesnes til Måløy, og kommunene er ansvarlige for å følge opp igangsatte rensetiltakene. Det er forøvrig ca. 30 marine resipienter (fjorder) i Norge som er aktuelle for tiltak. Den som forurenser er også ansvarlig for å følge opp (overvåke) og vise at gjennomførte tiltak er tilstrekkelige. SFT veileder kommunene for hvordan slik overvåking skal utføres.

For Skagerrak (del av Nordsjøen) er det SFTs Kystovervåkingsprogram som er av spesiell interesse i sammenheng med SeaWIFS, ellers har vi programmene AMAP (Artic Monitoring and Assesment Program) for Barentshavet og NSTF (North Sea Task Force) for sentrale Nordsjøen. Det er også en rekke fjordundersøkelser som går i regi av det statlige program for forurensningsovervåkning. Noen av disse kan være aktuelle for bruk av SeaWIFS-data (Jfr. kap. 2.3).

3.4 Aktuelle vannkvalitetsvariable utledet fra SeaWIFS-data

De tradisjonelle vannkvalitetsvariable som har relevans for optisk fjernmåling fra satellitt er klorofyll-a, og andre mer spesielle platneplanktonpigmenter, siktedypet, svekningskoeffisienter, totalt suspendert materiale (organisk og uorganisk), turbiditet, oppløst (organisk) materiale og temperatur. Temperatur kan ikke måles fra SeaWIFS, men for noen av de øvrige variable er det håp om at man kan få konstruert beregningsalgoritmer slik at nyttig kvantitativ informasjon kan utledes og beregnes. Temperaturdata fra satellitt er også viktig, og kan bestemmes fra andre operative satellitter.

3.4.1 Klorofyll-a og planteplankton

Klorofyll-a er et indirekte mål på planteplanktonbiomasse. En økning i planteplanktonmengden kan være utrykk for eutrofiering, dvs. virkning av næringsalter (forurensing). Planteplanktonmengden kan bestemmes direkte ved telling av antall planktonalger eller ved volumbestemmelse. Dette er tidskrevende og derfor benyttes klorofyll-a som et indirekte mål. Ofte ønskes også informasjon om planktonalgenes innhold av karbon, en viktig parameter for å vurdere effektene av en eutrofiering.

Planteplanktonets vertikalfordeling i kystvannmassene kan være meget varierende avhengig av stratifisering av vannmassene, lys- og næringsforhold og type plankton tilstede. Ofte forekommer planktonet i spranglaget og kan være fordelt ned til 50 m eller dypere. I havet er planteplanktonet den viktigste optiske komponenten, men i kystvannet får den mindre betydning og uorganiske partikler og oppløst materiale får vel så stor betydning i enkelte områder.

3.4.2 Totalt suspendert materiale og turbiditet

Totalt suspendert materiale (TSM) måles gjennom filtering og veiing av det materialet som fanges opp av et spesifisert filter og inneholder derfor alle typer partikler, både planktonalger og uorganiske partikler. TSM er ikke direkte kopplet til vannets optiske egenskaper, og gjengir bare de partikulære optiske komponentene i vannet. Mengden av suspendert materiale i vannmassene vil være et uttrykk for både eutrofi og erosjon og brukes bl.a. sammen med klorofyll-a, for å skille mellom erosjons-partikler og plankton.

Turbiditet er et optisk mål for mengden av suspendert materiale, men det er ikke alltid et helt klart samband mellom denne optiske metoden og TSM, fordi turbiditeten er noe avhengig av partikkelstørrelsen og forholdet mellom organiske og urganiske partikler. Turbiditeten er ofte godt korrelert med radiansen i den røde delen av spekteret (Sørensen og medarb., 1993), og har vært kartlagt fra satellittene Landsat og SPOT med godt resultat i kystområder.

3.4.3 Siktedyp og svekningskoeffisient

Siktedypet er en parameter som måles med en enkel Secchi-skive (hvit skive) som senkes i vannet og det dypet hvor skiven ikke lengre kan sees registreres. Siktedypet er en viktig parameter både for eutrofi og erosjonsstudier, og inngår i SFTs klassifikasjon av resipienttilstand. Siktdypet er kun relatert til overflatelaget og er altså stort sett i den samme delen av vannmassen som satellittsensorene registerer. Siktedypet påvirkes både av partikler og oppløst materiale, slik som det tilbakespredte signalet til satellitten. I og med at denne parametren registeres i overflaten unngår man problemene med vertikalfordelingen av partikler (plankton). Siktedypet er en optisk størrelse som er relativ enkel å måle selv om de optiske teoriene er vanskelige nok (Se Sørensen og medarb., 1993 for en gjennomgang og referanser).

Siktedypet kan måles av lokale medarbeidere og kan lett fås inn i stort antall for bruk sammen med satellittdata. Siktedypet har vist seg å gi gode samband med satellittradiansen i den røde og grønne delen av spekteret. Den har blitt tilfredstillende kartlagt med data fra jordressurssatelittene Landsat og SPOT, når siktedypet er mindre enn ca. 5-6 meter.

Svekningskoeffisientene til den nedoverrettede irradiansen (k_d) bestemmes med en lysmåler og representerer den totale lyssvekningen forårsaket av både partikler og oppløst materiale i de øvre vannmasser. Det er ofte et nært samband mellom k_d og siktedypet (Sørensen og medarb., 1993). Denne variablen benyttes ikke så mye i rutinemessig overvåking, men brukes der hvor man skal foreta primærproduksjonsmålinger og ved en optisk klassifisering av vannmassene. Svekningskoeffisienten ved f. eks. 490 nm, k_{490} er en parameter man ønsker å utlede fra SeaWIFS-dataene. For kystvann kan andre deler av spekteret (grønt) være riktigere å bruke fordi det er den delen av lyset som vil trenge dypest. Parameteren benyttes for beregning av fotosyntesesonens dyp og kan være en meget interessant variabel hvis den kan bestemmes fra satellitt med tilfredstillende nøyaktighet.

3.4.4 Oppløst organisk materiale

Oppløst organisk materiale eller karbon ("dissolved organic carbon, DOC") har opprinnelse både fra ferskvann (humus), ligninkomponenter fra treforedlingsindustri og en marin opprinnelse fra planktonproduksjon. I de marine systemet benevnes dette ofte med fellesbetegnelsen "gulstoff". Dette måles enten kjemisk som DOC eller optisk i et spektrofotometer som absorbsjon ved en bølgelengde i den blå eller ultraviolette delen av spekteret som f.eks. ved 380 nm (a_y380).

Gulstoff måles sjelden rutinemessig i overvåkingsprogrammer og vil nok være vanskelig å bestemme fra satellitt når mange andre optiske komponenter også gir betydelig bidrag i den blå delen av spekteret. Vannets gulstoffinnhold er en viktig enkeltkomponent som påvirker hvor godt satellittenes beregningsalgoritmer for spesielt klorofyll-a vil fungere, og av den grunn er det en viktig parameter som bør måles i samband med kalibrering og tolkning. SeaWIFS-sensorens bølgelengde ved 412 nm er tatt med for å forbedre algoritmene spesielt på dette punktet, og det hadde selvfølgelig vært ønskelig om gulstoff-mengden i seg selv kunne bestemmes.

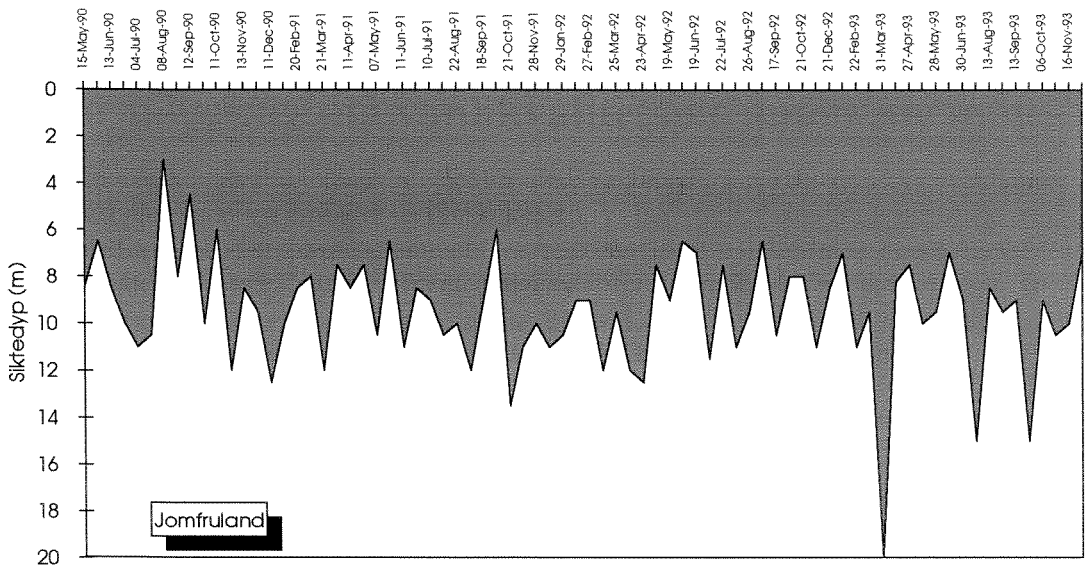
4. Hvor nøyaktig må vannkvalitetsparametrene måles

Får å gi et innblikk i variabiliteten og nivået for ulike vannkvalitetsparametere i kystvannmassene har vi studert data fra noen områder på norskekysten. Vi har vurdert data fra Jomfruland, en stasjon som inngår i Kystovervåkningsprogrammet (Årsrapporter 1990-93), og fra fjernmåling- og optiske måleprogrammer i Ytre Oslofjord og fra en undersøkelse i Boknafjorden, Rogaland.

Denne analysen sier noe om de begrensinger og de nøyaktigheter SeaWIFS-data bør oppnå for å ha størst mulig verdi i en overvåkningssammenheng. Her inngår følgende variable: klorofyll-a, suspendert materiale, siktedyp, svekningskoeffisienter til irradiansen, gulstoff (oppløst organisk materiale), samt saltholdigheten som er mer en hjelpevariabel i denne sammenheng (gulstoff).

4.1 Siktedyp og svekningskoeffisienter

Siktedypet målt ved Jomfruland for perioden mai 1990 til desember 1993 er vist i figur 4. Den midlere verdi ligger på 9.3 meter. Maksimale siktedyp på 20 meter er observert unntagsvis. Bare under spesielle algeoppblomstringer (høsten) er det observert siktedyp på 3-4 meter.

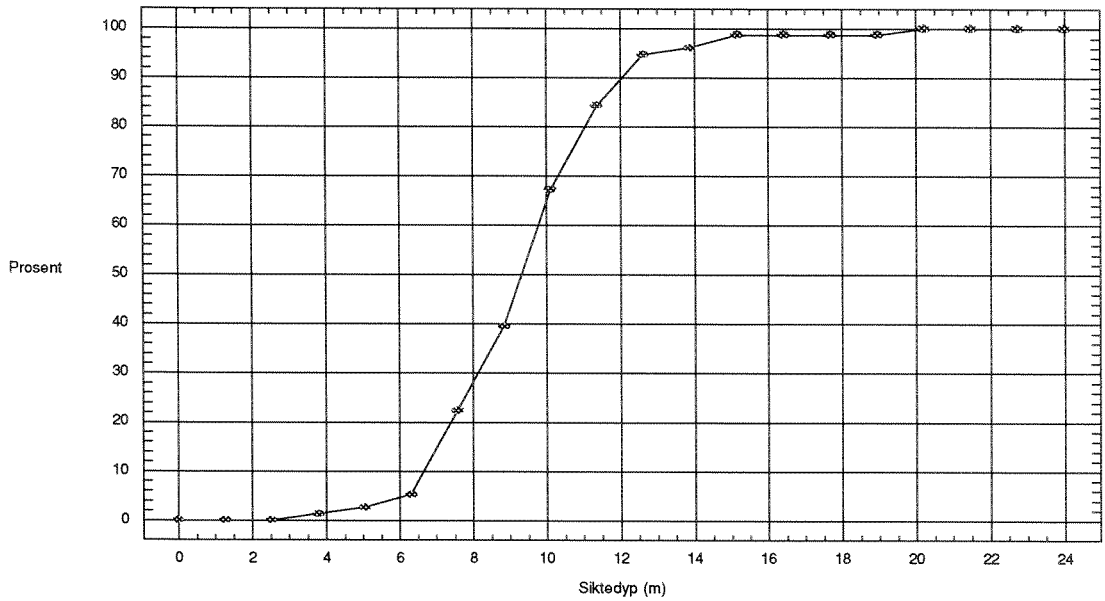


Figur 4. Siktedyp ved Jomfruland for perioden mai 1990 til desember 1993. (75 obervasjoner).

En kumulativ relativ frekvensfordeling av siktedypet er fremstillt i figur 5. I 90 % av observasjonene er siktedypet < 12 meter, mens på en annen side ligger bare 5 % et siktedypsobservasjonene på < 6 meter. Det betyr at 85 % av obervasjonene har siktedyp mellom 6 og 12 meter. Skal SeaWIFS-sensoren skille de ulike situasjoner fra hverandre og få frem et statistisk materiale må den ha en følsomhet som kan måle de små radiansforskjellene som dette vil representere. Til sammenligning kan jordressurssatellittene Landsat og SPOT bare skille på situasjoner med siktedyp på < 6 meter. Hva de små forskjellene i radians representerer for verdi i våre farvann er ikke kjent slik at vi for øyeblikket kan vudere dette sambandet nærmere. Dette er forhold som trenger nærmere studier.

For Ytre Oslofjord er det funnet (Sørensen og medarb., 1993) at for grønt lys kommer ca. 97 % av lyset tilbake fra halve siktedypet. Grønt lys vil også være det som trenger lengst ned i vannmassene også i Skagerrak selv om det her vil være mindre mengder oppløst materiale enn ved kysten. Nå vil det være et godt samband mellom svekning i det øvre halve siktedypet og siktedypsverdien som sådan. Den største andelen av det tilbakestrålte lyset vil uansett komme nær overflaten. Det bør

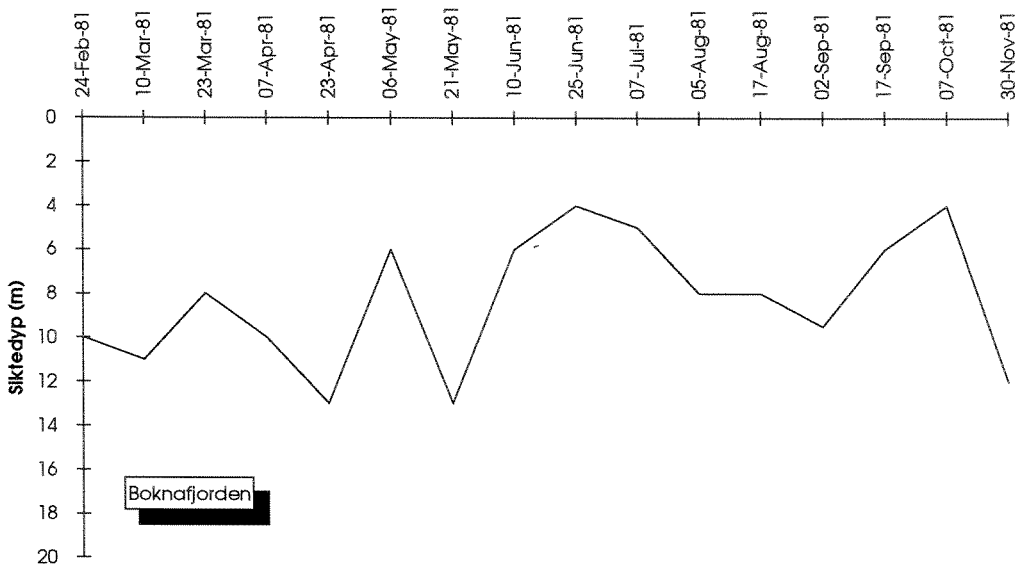
derfor være mulig å finne et brukbart samband mellom satellittsignalet og siktedypet, slik at denne variabelen kan bestemmes med tilfredstillende nøyaktighet.



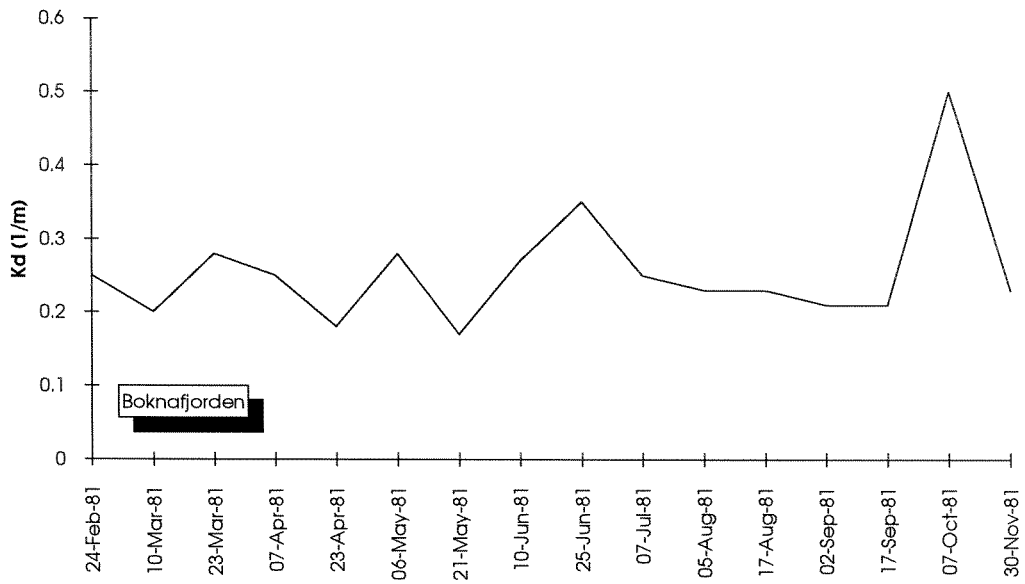
Figur 5. Kumulativ relativ frekvensfordeling av siktedypet ved Jomfruland for perioden mai 1990 til desember 1993.

Svekningskoeffisienten til det nedoverrrettede sollyset måles for å bestemme lysklimaet i vannmassene og gir informasjon om den eufotiske sonen som er definert som dypet hvor man har igjen ca. 1 % av lyset ved overflaten. Det dypet som man antar at radiansen fra havoverflaten er et uttrykk for er ned til ca. 10 % lysdyp. Det bør være mulig å finne et samband mellom 10 % lysdyp og 1% lysdyp, som igjen betyr at satellittdataene kan brukes til å gi et utrykk for den eufotiske sonen.

Eksempel på data fra et annet område med antatt mindre påvirkning av oppløst materiale er valgt fra Boknafjorden. Siktedyp og svekningskoeffisienten til nedoverettet irradians (k_d) for et års målinger er vist i figur 6 og 7. Det midlere siktedyp ligger på 8.3 meter og k_d på 0.26 m^{-1}. Det er lave siktedyp ved to tilfeller av algeoppblomstringer i juni (*E. huxleyi*) og oktober (*G. aureolum*). Man ser av disse dataeksemplene at siktedyp og svekningskoeffisienter utledet fra satellittsignaler bør ha en presisjon på minimum hhv ±1 m og ± 0.05 m^{-1}, for å kunne skille de ulike tilfeller fra hverandre.



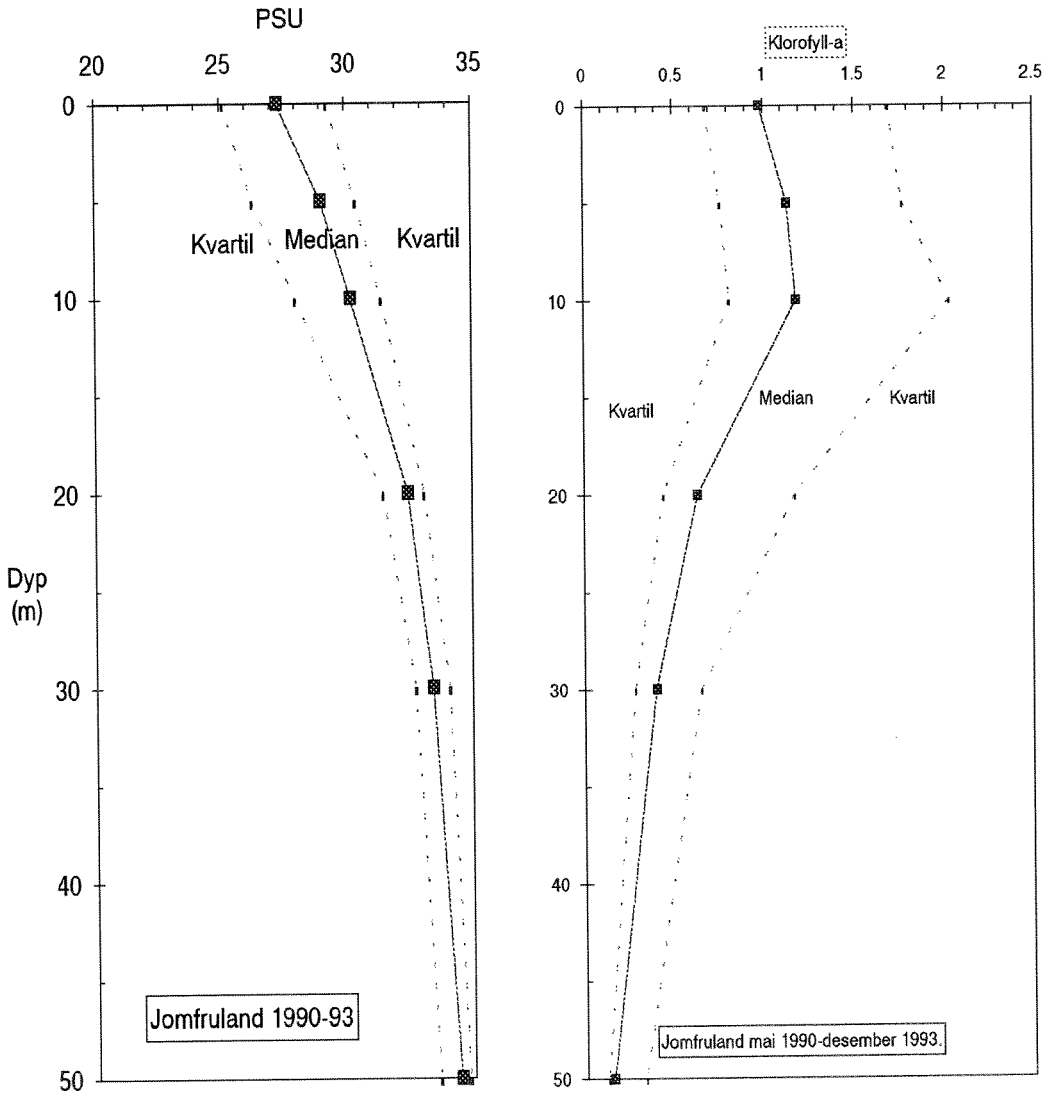
Figur 6. Siktedypet i Boknafjorden fra februar til november 1981. (16 observasjonstilfeller). (Erga og Sørensen, 1982).



Figur 7. Svekningskoeffisienten til nedoverrettet irradians (k_d) i Boknafjorden fra februar til november 1981. (16 observasjonstilfeller). (Erga og Sørensen, 1982).

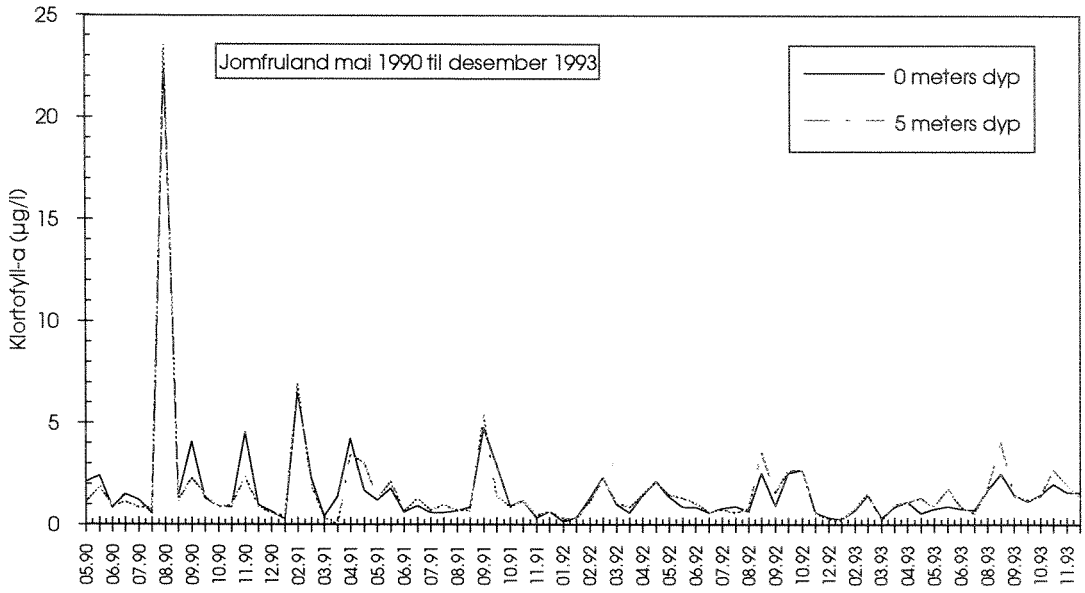
4.2 Klorofyll-a, planteplankton og suspendert materiale

Klorofyll-a og saltholdighet fra Jomfruland for perioden mai 1990 til desember 1993 er vist i figur 8. Figuren gjengir medianverdien og kvartiler (dvs. mellom kvartilene ligger 50 % av observasjonene). Klorofyll-a mengden ligger normalt rundt ca. 1 µg/l. Figuren viser saltholdigheten på de samme dyp for å illustrere at den noe høyere verdien på 10 m ligger omtrent i spranglaget eller litt over. Klorofyll-a maksimum kan altså ligge i et dyp som ikke er optimalt for måling fra satellitt. I sentrale Skagerrak kan spranglaget derimot ligge høyere i vannmassen enn ved kysten, og dette begunstiger planteplanktonproduksjon. Slik ulik vertikalfordeling i vannmassene får konsekvenser for tolkning av satellittutlede klorofyll-a verdier.

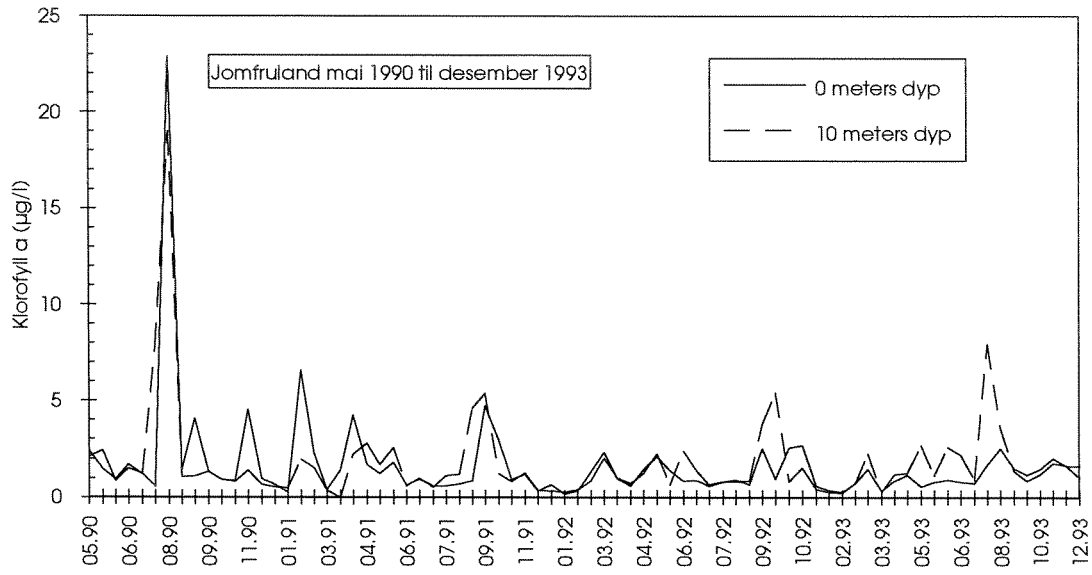


Figur 8. Medianverdier og kvartiler for observasjoner av klorofyll-a (µg/l) og saltholdighet (PSU) ved Jomfruland mai 1990 til desember 1993. (76 observasjonspunkter).

Enkeltobservasjoenene for perioden 1990-93 er vist i figur 9 og 10. Man ser at konsentrasjonen i 0 m og 5 m samvarierer godt, mens det på 10 meters dyp (figur 10) er noen episoder hvor konsentrasjonene er høyere enn i overflaten.



Figur 9. Klorofyll-a ved Jomfruland på 0 og 5 meter for perioden mai 1990 til desember 1993.



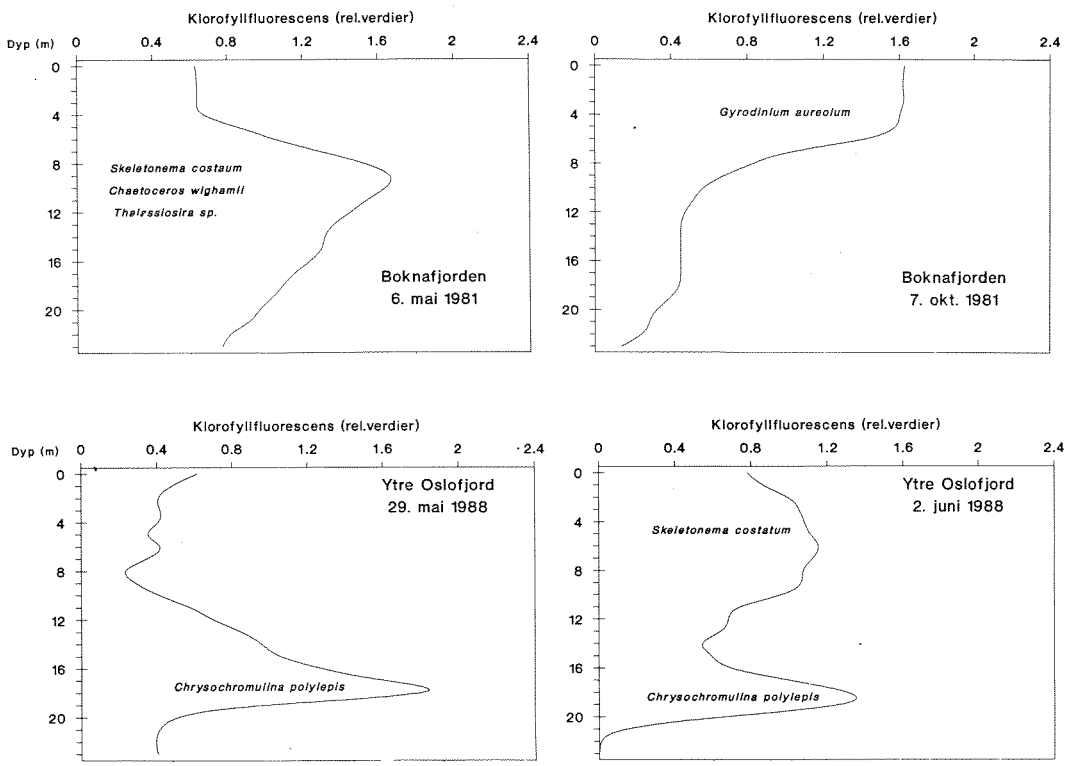
Figur 10. Klorofyll-a ved Jomfruland på 0 og 10 meter for perioden mai 1990 til desember 1993.

Hvis antagelsen at ca. 97 % av signalet kommer fra halve siktedypet (Jfr. 4.1) gjelder også for Skagerrak så vil eventuelle høyere klorofyll-a konsentrasjoner på 10 meters dyp bare få et ubetydelig bedrag til det tilbakespredte radianssignalet. Under algeoppblomstringer vil man forøvrig ha generelt mer plankton også høyere i vannmassen og tilbakespredningen vil komme fra et relativt mindre dyp.

Det at ulike bølgelengder i seg selv trenger ulikt ned i vannmassene vil også få effekt direkte i beregningsalgoritmene. For eksempel vil en CZCS-algoritme (Jfr. kap.2.2) hvor radiansignalet fra bølgelengdene 443 og 550 nm benyttes representere ulike dyp i vannmassene. Denne effekten er større i kystvann enn i havet. Således vil satellittobservasjonene kunne beskrive hva som skjer i overflatelaget, men ikke avdekke algeoppblomstringer som starter og spres på dypet, eller som "spres" til dypet etter en overflate-oppblomstring. Dybdeintervallet hvor signalet kommer fra vil ikke være konstant, men varierer med den enklete situasjon (avhengig av vannets innhold av partkler og oppløste stoffer). For å kunne ta denne teknikken i bruk for å få anslag over den totale biomassen i vannsøylen må man bruke feltobservasjoner. Styrken til satellittdataene er da at arealinformasjonen dekkes betydelig bedre.

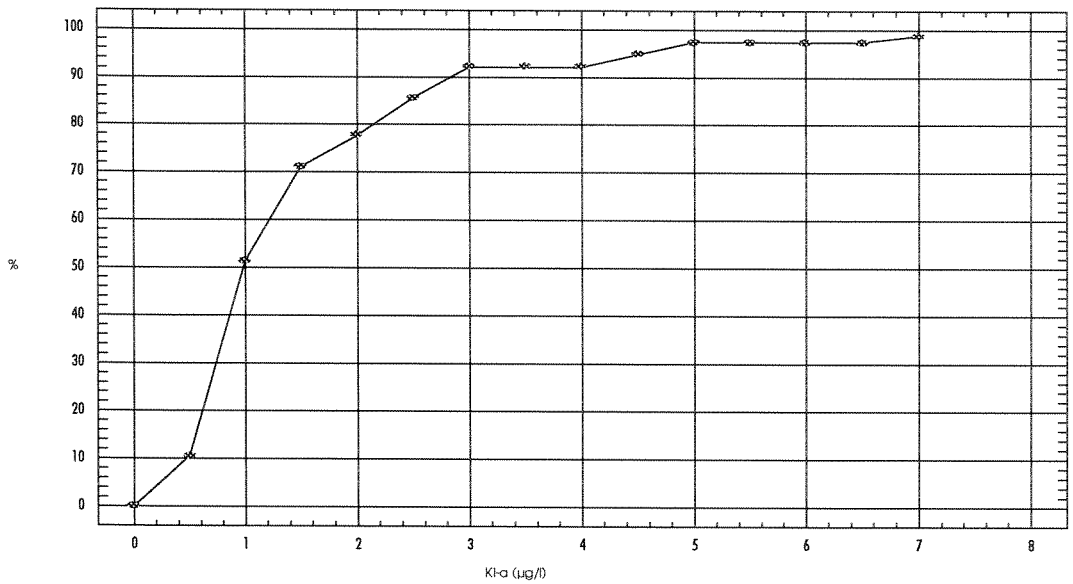
Det relative bidraget til signalet tilbake til overflaten vil avta med dypet. Selv på 20 m kan det episodevis være høye konsentrasjoner under spesielle algeoppblomstringer (Jfr. fig 11), men planteplankton på 20 meters dyp i Skagerrak vil ikke kunne registeres i det tilbakestrålte signalet til satellitten.

Bruk av faste dyp vil heller ikke alltid gi et riktig bilde av planktonfordelingen noe som man oppdager når man bruker kontinuerlig registrerende sonde som f.eks. klorofyllfluorescen. Dette er illustrert i figur 11 med data fra noe situasjoner med ulike vertikalfordelinger av plankton (algeoppblomstringer) i Ytre Oslofjord/Skagerrak og i Boknafjorden. Betydningen av høy presisjon i punktmålinger som ved dagens overvåknings må vurderes på bakgrunn av de vertikale og horisontale variasjonene i de målte variable. Ut fra disse eksemplene kan det diskuteres hvor representative punktmålinger er for en større vannmasse. Og det er her hvor satellittdata vil gi ny informasjon om den horisontale fordeling av en variabel.

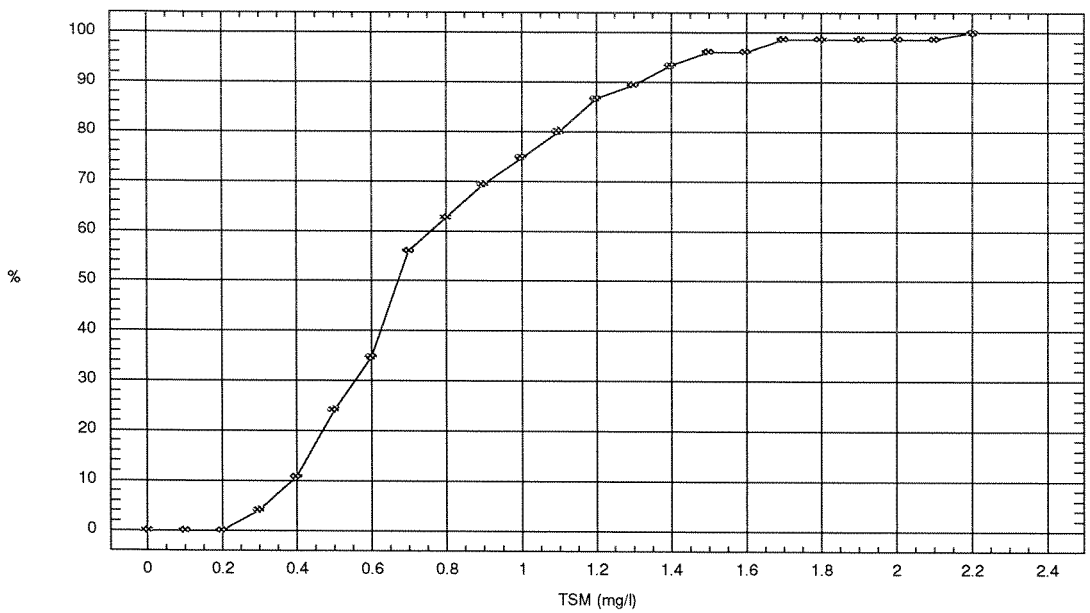


Figur 11. Klorofyllfluorescensprofiler for noen typiske vertikalfordelinger av planteplankton fra Boknafjorden 1981 og fra Ytre Oslofjord 1988. (Erga og Sørensen, 1982, Lindell og medarb., 1991).

Kumulativ relativ frekvens for klorofyll-a ved Jomfruland er fremstilt i figur 12 og en tilsvarende kurve for totalt suspendert materiale er vist i figur 13. Man ser av disse at for ca. 75% av tiden (observasjonene) er mengden av klorofyll-a og suspendert materiale hhv < 2 µg/l og < 1 mg/l.



Figur 12. Klorofyll-a (Kl-a) ved Jomfruland mai 1990 til desember 1993 i overflaten. Kumulativ relativ frekvensfordeling.



Figur 13. Total suspendert materiale (TSM) ved Jomfruland mai 1990 til desember 1993 i overflaten. Kumulativ relativ frekvensfordeling.

For å bestemme signifikante klorofyll-a klasser må beregningsalgoritmene ha størst "følsomhet" for de laveste konsentrasjoner med ca. 0.5 µg/l opp til ca. 3-4 µg/l, deretter kan nøyaktigheten senkes. Dette er ned mot de intervaller som tidligere benyttet for CZCS-data for havområder. I kystvann vil

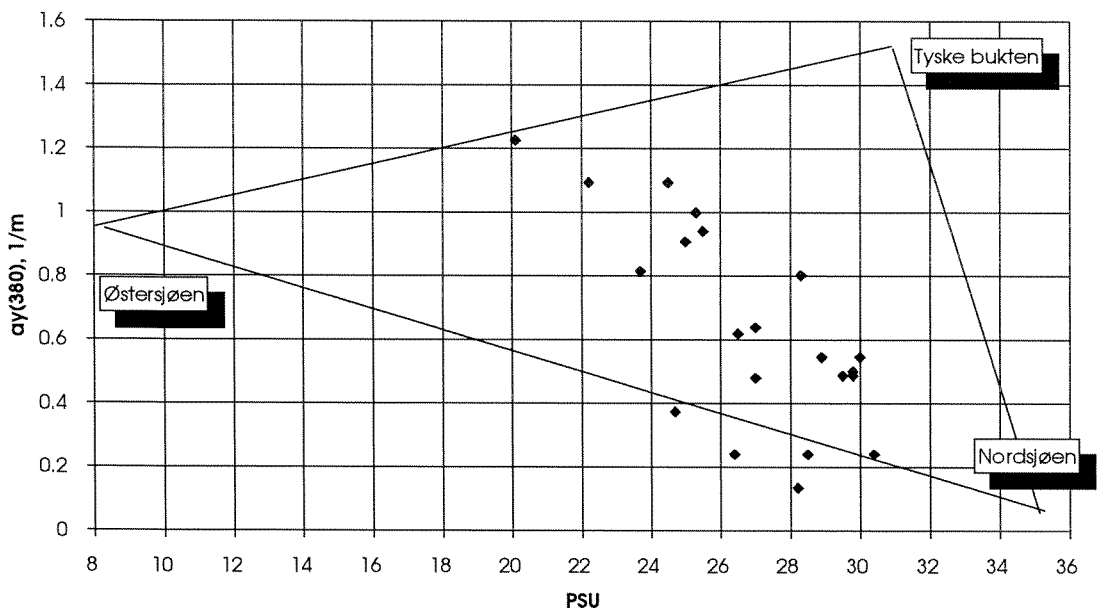
dette bli vanskelig uten bruk av feltdata og atmosfæredata for å optimalisere korreksjonsalgoritmene for atmosfæriske aerosoler. I havvann gikk man enda lengre ned i nedre bestemmelsesgrense, men det er ikke nødvendig i kystvann. For suspendert materiale bør man kunne skille konsentrasjonsklasser på min. 0.5 mg/l opp til ca. 2 mg/l, deretter kan man ha en noe grovere inndeling.

4.3 Oppløst organisk materiale - Gulstoff

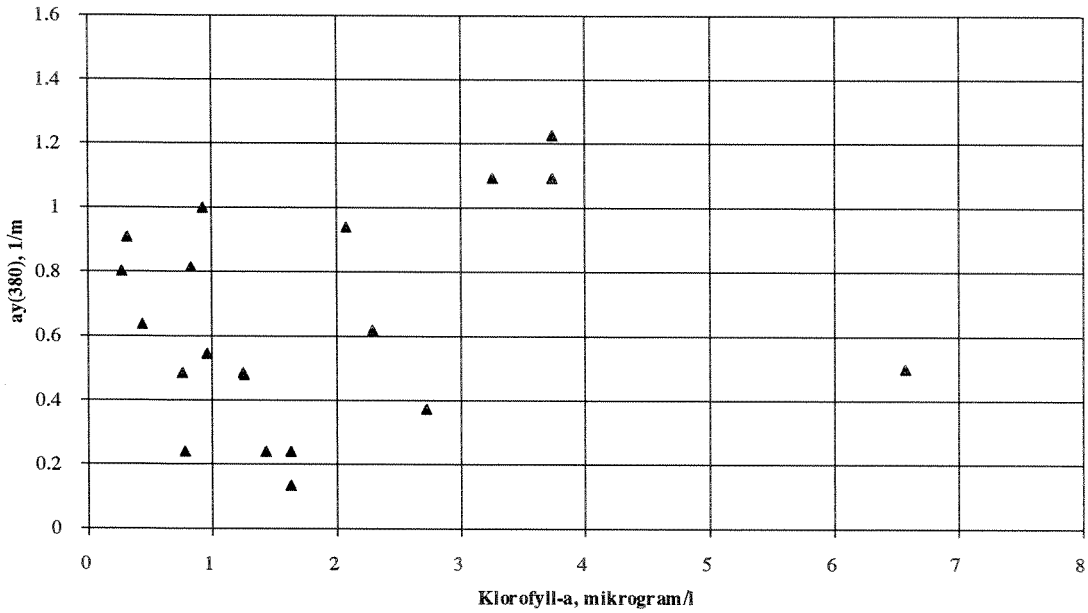
Mengden av oppløst organisk materiale (karbon) er viktig både for tolkning av satellittdataene og for presisjonen til resultatet beregnet fra slike data. Denne påvirkningen vil være avhengig av den absolutte mengden av gulstoff og variasjonen i denne. Effektene på beregningsalgoritmene for vannkvalitetsvariable vil være bølgelengdeavhengig og vil påvirke algoritmer med kanaler i den blå delen av spekteret mer enn i grønt og gult.

Rutinemessige målinger av oppløst organisk materiale forekommer ikke i kystovervåknings-programmet. For å foreta en vurdering, er det benyttet data fra optiske måleprogrammer (Sørensen og medarb., 1993) foretatt i Skagerrak (figur 14) og sammenlignet dette med målinger foretatt i Kattegat, Østersjøen og Tyskebukten (Sørensen og Aas, 1994, Højerslev. pers. med.)

Innenfor det saltholdighetsintervallet (25-30 PSU) som vi normalt (jfr. figur 8) finner i overflatelaget (0-5 m) på f.eks. Jomfrulandstasjonen så varierer $a_y(380)$ med en faktor på 5. Vi ser av figur 15 at for det samme datasettet er det ingen korrelasjon mellom gulstoffinnholdet og partikler målt som klorofyll-a. Det betyr at man ikke kan gjøre slike antagelser som man benyttet for CZCS-data fra oceaniske vannmasser hvor man antok at gulstoffmengden var konstant eller samvarierte med klorofyll-a mengden.



Figur 14. Sammenhengen mellom gulstoff ($a_y(380)$) og saltholdigheten for målinger i Skagerrak, sammenlignet med tre andre typiske vanntyper (data fra Højerslev).



Figur 15. Plott av gulstoff-mengden ($a_y(380)$) mot partikkelinnholdet målt som klorofyll-a.

Det at man har variable mengder gulstoff som ikke samvarierer med partikler eller klorofyll-a, betyr at den får stor betydning i algoritmer som benytter seg av kanaler spesielt i den blå delen av spekteret. Det vil være avgjørende at SeaWIFS-kanalen ved 412 nm kan bidra til å forbedre algoritmene på dette punktet. Vi mangler foreløpig data for hvor stor lysabsorbsjonen er hos partikler (plankton) for å beregne hvilken effekt det høye gulstoffinholdet vil ha på beregnet mengde klorofyll-a, med f.eks. de CZCS-lignende algoritmene.

5. SeaWIFS-dataprodukter for vannkvalitetsovervåking

5.1 Overflateintegrerte data

Tradisjonelle fargelagte satellittbilder er vanskelige å direkte benytte statistisk. Dataene må foreligge på en form slik at de kan bearbeides på mer tradisjonelt hvis. For endel av overvåkningsprosjektene hvor man skal se på trender så er ikke satellittbildene i seg selv interessante, men bare konklusjonen på om det har skjedd en utvikling i positiv eller negativ retning, og om mulig hvor den har funnet sted.

De aktuelle parametere som man helst ser at satellittdataene kan overføres til, er nevnt tidligere og man ønsker selvsagt så stor nøyaktighet som mulig. Men det er klart er at man ikke kan nå den presisjon som man har med vanlige metoder. Hvis vi derimot nyttegjør den store geografiske dekningen til satellittdataene og går over til flateintegrert informasjon som en parameter eller egenskap i de øvre vannmasser, kan vi akseptere en lavere nøyaktighet. Vi kan koble sammen areal og parametere og fremskaffe data over overflateintegrerte parametere som f.eks. klorofyll-a i mg/m^2.

De utledede parametere kan viderebearbeides slik at vi kan benytte dem i et klassifikasjonssystem f.eks. tilsvarende SFTs klassifisering av miljøkvalitet for fjorder. Dette klassifikasjonssystem for "Virkninger av næringssalter og organisk stoff" består av 5 klasser betegnet med romertall I-V fra "God" til "Meget dårlig". Her inngår klorofyll-a og siktedyp i sommerperioden (mai-september) sammen med parametere for næringssalter. Eksemplet nedenfor viser tilstandklassene I-V for siktedyp og klorofyll-a.

Tilstandsklasse	I, God	II, Mindre God	III, Nokså dårlig	IV, Dårlig	V, Meget dårlig
Siktedyp (m)	>7.5	7.5 - 6.2	6.2 - 4.5	4.5 - 2.5	< 2.5
Klorofyll-a (µg/l)	<1.9	1.9 - 3.4	3.4 - 7.3	7.3 - 20	>20

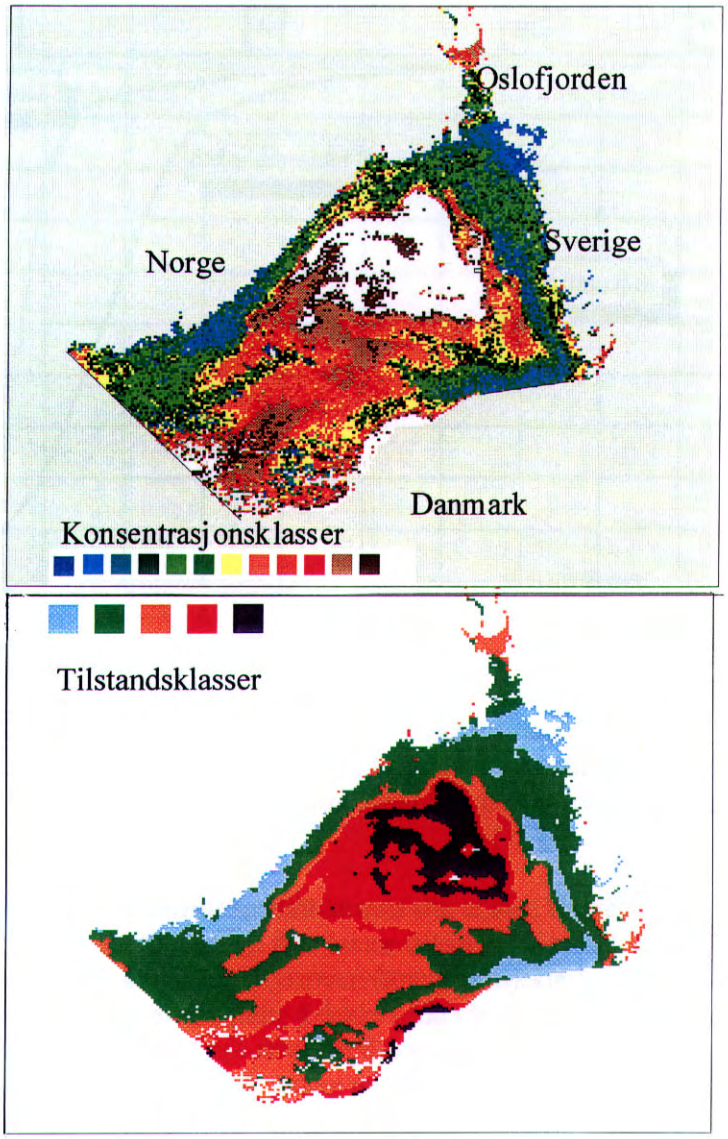
For siktedyp og klorofyll-a er forventet naturtilstand hhv. 8.5 meter og 1.4 µg/l. Forholdet mellom målt tilstand og forventet naturtilstand brukes til å bestemme forurensningsgraden, som benytter en skala fra 1 til 5 (Fra "lite forurenset" til "meget sterkt forurenset"). Nå er disse klassene utarbeidet for fjorder og er ikke gyldige for havområder. Imidlertid kan en også i slike områder kunne følge prinsippet om naturtilstand og forurensningsgrad. Naturtilstanden for slike større havområder må derfor først estimeres.

Ved hjelp av satellitdata skulle et område kunne klassifiseres, enten via satellittutledede parametere eller at de normaliserte radianssignalene fra satellitten etterhvert kan bli brukt direkte i et klassifikasjonssystem. Da må man først få etablert kunnskaper om hva som er naturgitte verdier og hva som er "forurensningsrelaterte".

Ut fra valg av klassifiseringssystem (eller andre kriterier) kan observasjonene bearbeides statistisk, så at områder som f.eks. overskrider noen grenseverdi for f.eks. klorofyll-a markeres med et overskridelsesverdi (hvor ofte konsentrasjonen overskrides i tidsrommet). Denne verdi baserer seg på et større antall satellittscener fra området. Resultatet kan illustreres i fargelagte kart (spesifikke for et bestemt tidsrom) for lett å kunne se gradienter i rommet. Med tiden vil en eventuell utvikling også kunne avsløres. Andre presentasjonsmåter som vil gi informasjon om et områdes status er illustrert i det følgende.

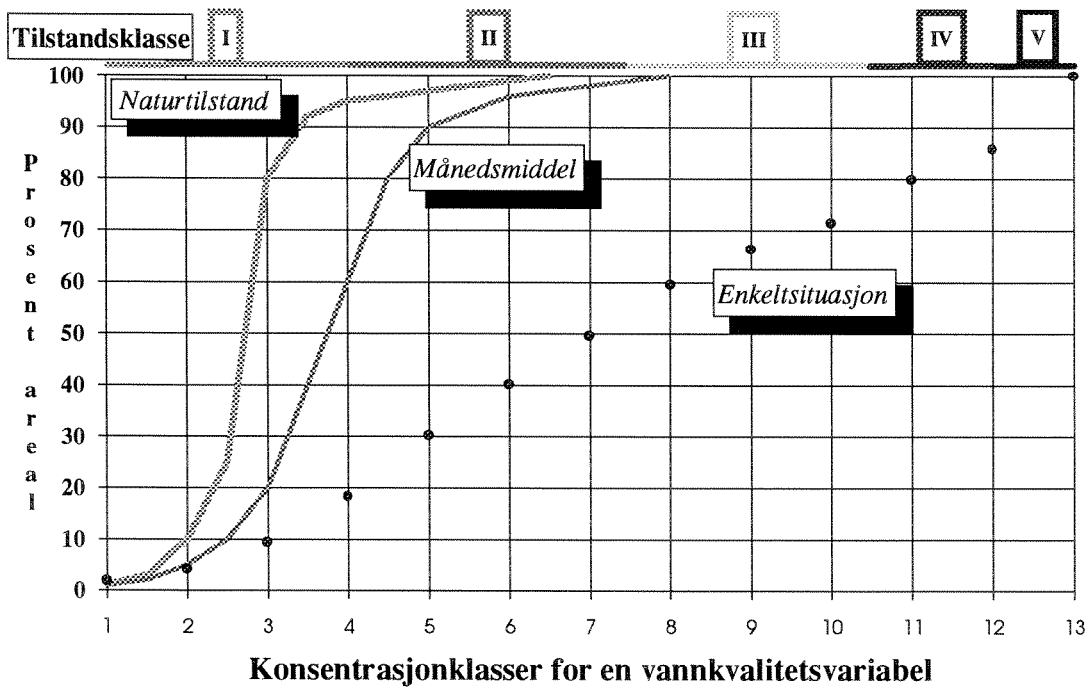
Vi har brukt satellittdata fra CZCS-sensoren fra en situasjon den 22. juli 1981 under en *E. huxleyi* oppblomstring i Skagerrak for å vise et eksempel på hvordan den flateintegrerte informasjon kan brukes. Vi har tatt ut det området som er definert som den geografiske grensen til Skagerrak i henhold til definisjonen til North Sea Task Force (North Sea Assessment Report, 1993).

I figur 16 har vi fremstilt normalisert radians fra havoverflaten fra den gule delen av spekteret ved bølgelengden 550 nm ($L_{wn}(550)$). Bildet er korrigert etter prosedyrer beskrevet av Holligan og medarb., (1989). Vi har i det øvre bildet fremstillt 13 intervaller av radiansen. Det nedre bildet har vi laget 5 tilfeldige klasser i et "tenkt" klassifikasjonssystem bygd opp som SFTs tilstandsklasser for fjorder. Vi har valgt å bruke radiansen direkte for enkelthets skyld.



Figur 16. Satellittbilder over Skagerrak med normalisert radians, $L_{wn}(550)$ fra havoverflaten. Det øvre bildet viser 13 fargelagte konsentrasjonsklasser (relative verdier). I det nedre bildet er disse slått sammen til 5 tilfeldig valgte tilstandsklasser og fargelagt på samme måte som i SFTs klassifikasjonssystem for fjorder.

Figuren viser for en gitt situasjon i Skagerrak hvor stort relativ areal av havområdet som er dekket av en spesifikk konsentrasjon (eller tilstandsklasse). Ved å ta i bruk flere scener fra samme måned kan det f.eks. opparbeides månedsmiddelplott. Disse kan dekke hele Skagerrak, eller området kan inndeles i et rutenett, der et plott for hver rute og hvert tidsrom kan konstrueres. Ut fra denne analysen kan rutenettet og Skagerrak farvelegges for bestemte konsentrasjonsoverskridelser (eller hyppigheten av en tilstandsklasse, alternativt en forurensningsgrad). Endeproduktet kan være et kart som viser hvor og når en konsentrasjon og/eller forurensningsgrad overskrides med et gitt antall ganger i et tidsrom. I en videre langstidsovervåking vil så endringer fra "normaltilstand" gi informasjon om når og hvor en endring oppstår. Figur 17 viser den kumulative arealfordelingen for de 13 konsentrasjons-intervallene brukt i satellittbildet. Vi har også illustrert hvordan en "natur-tilstand" og en "månedsmiddelkurve" vil kunne ligge i et slikt system. Dette er et eksempel og kurvene bør ikke bli slik som vist her.



Figur 17. Kumulativ arealfordeling av de 13 valgte konsentrasjonsintervallene i satellittbildet for situasjonen den 22. juli 1981. Innlagt eksempler på hvordan eventuelle tilstandsklasser, normal-situasjon og en månedsmiddel av et utvalg av satellittbilder vil kunne være i en slik sammen-stilling.

Man har også muligheter for å bearbeide satellittdataene slik at man får frem sesongmiddel- og standardavvikbilder. Optiske satellittdata vil ikke kunne dekke hele året slik at med sesonginndeling, som brukes for presentasjon av klimadata (Kystovervåkningsprosjektet), vil vi måtte sløyfe hele vinterperioden (des-feb). Derimot er det mulig å dekke både vår- (mars-mai) og sommersesongen (juni-aug) for Syd-Norge. For høsten (sept-nov) så vil nok siste delen av oktober og november bli vanskelig. Dette blir tilsvarende dårligere jo lenger nord i landet man kommer (Jfr. kap. 2.5). Når vi ikke har hele årssykluser på denne type data må man ta hensyn til dette i bearbeidingen og sammen-ligne sesonger eller samme perioder fra år til år. På grunn av de nevnte forhold med kritiske grenser for solhøyder for å få gode data må kanskje sesonginndelingen lages noe anderledes for satellittdata.

Man bør beholde full oppløselighet ved SeaWIFS-dataene for enkelte formål, fordi det er nødvendig for de oceanografiske fenomener man ønsker å studere. Andre ganger bør man kombinere piksler dels for å øke signal/støy-forholdet og dels fordi en god del bilder vil ha dårligere enn 1 km

oppløselighet pga. at de ikke er fra nadir-opptak. For statistiske formål hvor man ønsker å sammenligne de samme regioner/områder fra gang til gang kan man midle over f.eks. 5x5 eller 10x10 km. Lager man for store arealer vil skydekke "ødelegge" for mange områder av gangen. Når skyer kun dekker en liten del av et havområde kan interpolering godkjennes. Ved større mengder skyer vil en i et rutenettsystem angi hvor ofte en rute har vært dekket (dekningsgrad), evt antall målinger i ruten.

5.2 Kombinasjon av ulike satellittdata og med feltobservasjoner

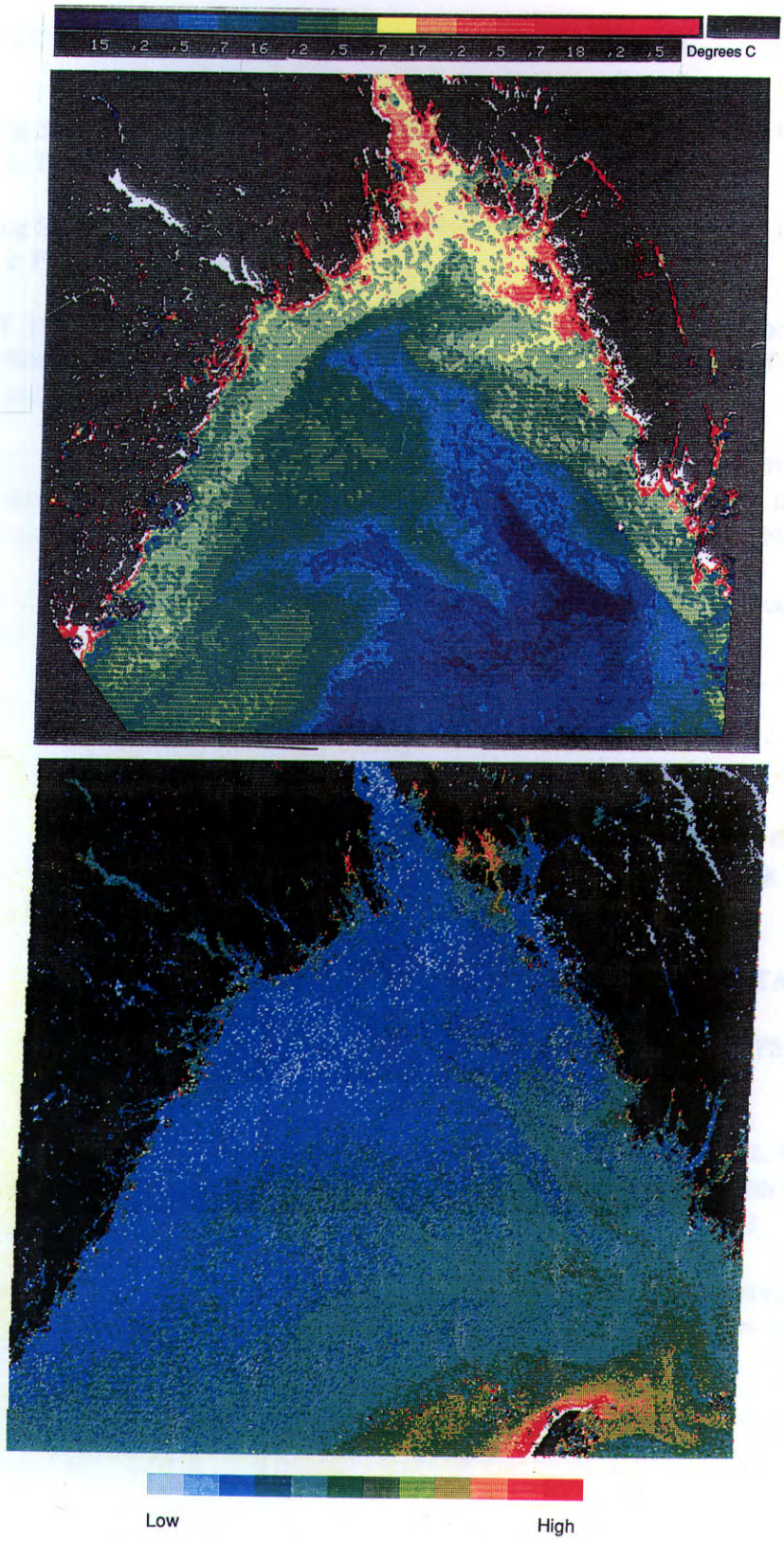
Det vil bli viktig å kombinere SeaWIFS data både med feltdata og andre fjernmålte data, som f.eks. AVHRR-sensorne hos NOAA for å få med viktig termisk informasjon. AVHRR har samme geometriske oppløsning som SeaWIFS og egner seg derfor brukt sammen med den. I figur 18 har vi vist en situasjon hvor vi har satt sammen et termisk bilde over Skagerrak med et optisk bilde (Landsat, MSS) som viser den relative radiansen fra den grønne delen av spekteret. Man ser tydelig høyere partikkelkonsentrasjoner i frontområdene som kan indikere områder med forhøyet planktonvekst. Gjennom et slik kombinasjon av data bør man kunne få statistisk materiale som over tid kan gi oss indikasjoner på om spesielle områder kan være typiske oppvekstområder for alger. Kan dette f.eks være områder hvor også skadelige algeoppblomstringene starter? Interessant er også å få kartlagt områder med "uppwelling" dvs. transport av næringsrikt dypvann til overflaten langs Norske-kysten, og en kombinasjon av termiske og optiske data er da viktig.

I de tidligere kapitler er det vist at det ut fra et overvåkningssynspunkt ikke alltid oppnås tilfredstillende presisjon fra satellittdatene alene. Det er forsåvidt ikke overraskende ut fra det vi nå har erfart med satellittdata. Men ved å kombinere feltobervasjoner med satellittdata kan presisjonen økes betraktelig. SeaWIFS passerer daglig så man må tilpasse et prøvetagning/måleprogram som gir feltdata ved alle de aktuelle tidspunkter. Her er det muligheter for å bruke bøyedata, men det at bøyene bare måler i et punkt med fare for at akkurat den ligger under en sky eller ikke kan brukes av andre grunner representerer et problem. Kontinuerlige snitt er best fordi man øker sansynligheten for å treffe på noe klare/åpne partier (i skydekket) og man vil dekke gradienter gjennom flere vanntyper. Dette kan man få til ved å plassere sensorer på noen av de fergene som går i våre nære havområder. Vanninntakene fra ferger ligger ofte i et gunstig område for den delen av vannsøylen som også satellitten måler. Fergene kommer til land daglig og kan ettersees og eventuelle prøver kan hentes inn hvis man også plasserer ombord automatiske prøvetagere i tillegg til måleutstyr for viktige variable.

Prioriterte observasjoner i felt er: temperatur, saltholdighet, turbiditet, transmisjonen ved 660 nm og klorofyll-a fluorescens. Temperatur (T) og saltholdighet (S) bør også registreres for å vurdere vanntypene ved hjelp av TS-relasjoner, men også fordi saltholdigheten ofte kan relateres til gulstoffinnholdet. Turbiditet og transmisjon i den røde delen av spekteret ved 670 nm vil både si noe om mengden partikler, men også om atmosfærekorreksjonsantagelsen gjelder for denne konkrete situasjonen. Klorofyll-a fluorescens vil sammen med bl.a. turbiditet indikere om det er plankton eller andre partikler som dominerer.

I tillegg til målinger i vannmassene bør man også forsøke å få inn mer regelmessige data for bruk til atmosfærekorreksjoen. Slike målinger kan være f.eks. den totale irradiansen fra sol og himmellyset for å få et utrykk for atmosfærens svekning ved den aktuelle situasjonen. Irradiansmålinger er også en hjelpeparameter for tolkning av klorofyll-a fluorescens målingene som vil være en av de parametere man ville måle ombord i en ferge.

Det er nødvendig med en felles innsats for å bygge opp feltsensorer, samt å få inn nødvendige data for bruk i atmosfærekorreksjoner etc. Dette er den beste måten å komme videre på og er sansynligvis en raskere og sikrere vei enn å vente på nye korreksjonsalgortimer etc. Miljøene må her samarbeide for å få til et felles overvåkningsopplegg.



Figur 18. Eksempel fra 1. august 1988 ned termiske AVHRR data og optiske data fra Landsat 5 (MSS-sensoren) fra Skagerrak. MSS-scenen er fra den grønne delen av spekteret.

6. Referanser

Aas, E. og Sørensen K., (In prep). Relation between satellite and sea radiance in coastal waters. 1: Theoretical aspects.

Aas, E. og Sørensen K., (In prep). Relation between satellite and sea radiance in coastal waters. 2: Field Obervations.

Aarup, T. 1993. Interpretation of satellite ocean color data of the transition zone between the North Sea and the baltic Sea. Ph.D. avhandling. Niels Bohr Institute of Astronomy, Physics and Geophysics University of Copenhagen, Denmark.

Erga, S.R., and Sørensen, K., (1982). Gasterminal at Kårstø. Volum 1 og 2. Primary production february - november 1981. Biomass and production of phytoplankton in relation to zooplankton, hydrography, light and nutrients. NIVA-report 1389 (In Norwegian).

Holligan, P.M., Aarup, T. and Groom, S.B., 1989. The North Sea satellite colour atlas. Continental Shelf Research, vol 9.

Højerslev., N.K., Pers. comm. (rapport under arbeid).

Jerlov, N.G., 1976. Marine Optics. Elsevier. Oceanography series vol. 14.

Lindell, T., Sørensen, K., Larsen, G.,and Nisell, J., 1991. Remote Sensing and the Vertical Distribution of the Chrysochromulina polylepis Bloom in the Skagerrak in 1988. NIVA-report 2666.

North Sea Subregion 8 Assement Report, 1993. Statens Forurensningstilsyn. TA 991/1993.

Pettersson, L.P., 1994. Evaluering av programvare for bearbeiding av SeaWIFS data. NERSC. Spesial rapport no. 29. Bergen, Februar 1994.

Sørensen, K., T. Lindell, J. Nisell., 1989. The information content of AVHRR, MSS, TM and SPOT data in the Skagerrak Sea. Proceedings of the IGARSS'89 - 12th Canadian Symposium on Remote Sensing. Vancouver, Canada July 10-14 1989.

Sørensen, K., Aas, E., Faafeng, B., og Lindell T., 1993. Fjernmåling av vannkvalitet. Videre-utvikling av optisk satellittfjernmåling som metode for overvåkning av vannkvalitet. NIVA rapport nr 2860.

Sørensen, K. og Aas E., 1994. Remote sensing of coastal water quality. SPIEs International Conferance on Ocean Optics XII, Bergen 1994.

Norsk institutt for vannforskning
Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2607-9