



KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET

Statlig program for forurensningsovervåking
Rapportnr.1096/2011

Tilførselsprogrammet 2010
Overvåking av forurensning av norske farvann
med spesiell fokus på Nordsjøen

TA
2809
2011

Tilførselsprogrammet utføres av:



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Tilførselsprogrammet 2010. Overvåking av forsurening av norske farvann med spesiell fokus på Nordsjøen.	Løpenr. (for bestilling) 6186-2011	20.05.2011
	Prosjektnr. 10309, 11309	Sider 33
Forfatter(e) Truls Johannessen*, Kai Sørensen**, Knut Yngve Børshheim***, Are Olsen*, Evgeniy Yakushev**, Abdirahman Omar*, Tomas Adler Blakseth** *Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) **Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ***Havforskningsinstituttet (IMR)	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon Fri
	Geografisk område Nordsjøen	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif)	Oppdragsreferanse TA 2809/2011
--	-----------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av NIVA, IMR og BCCR i oppdrag fra Klif. Den er basert på målinger fra tokt mellom Oslo - Kiel og Tromsø - Longyearbyen utført av NIVA i 2010, prøvetaking Torungen – Hirtshals utført av Havforskningsinstituttet og analysert ved BCCR i 2010, og analyser av historiske data gjennomført av BCCR. De sistnevnte data er primært fra 2001-2007 samlet fra to transekt som krysser Nordsjøen i øst-vestlig og nord-sørlig retning, men omfatter også toktdata fra sør i Nordsjøen i 1987. Resultatene viser en klar sesongvis variasjon som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen gjennom året. Det er også funnet år-til-år endringer som er tilnærmet like store som sesongvariasjonene. Dette gjør det vanskelig å dokumentere endringene i pH som er ventet fra antropogen havforsuring. Vår nåværende evne til å observere dette signalet og generelt forstå dynamikken i observerte endringer er diskutert i rapporten. I den forbindelse blir det påpekt behov for multivariable, langsiktige måleprogram på faste stasjoner. De fleste områder studert i denne rapporten er mettet i forhold til kalsiumkarbonat.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Havforsuring Overvåking Nordsjøen Norske farvann 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Ocean acidification Monitoring North Sea Norwegian Seas
--	---



Norman Green
Prosjektleder



Torgeir Bakke
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Forord

I 2009 etablerte klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) tilførselsprogrammet som et langsiktig program for overvåking av tilførsler av miljøfarlige stoffer til forvaltningsplanområdene Barentshavet, Norskehavet og Nordsjøen. Tilførslene fordeles mellom bidrag fra 8 kilder og til 12 regioner.

Dette prosjektet er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i partnerskap med Havforskningsinstituttet (IMR), Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES), Norsk institutt for luftforskning (NILU), Statens strålevern (NRPA) og Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) ved Klif-kontrakt nr. 5011020. Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av NIVA, IMR og BCCR. Tre andre rapporter fremstiller:

- undersøkelser av miljøgifter og radionuklider i Nordsjøen i 2010 utført av NIVA, IMR, NIFES, NILU og NRPA,
- undersøkelser med hjelp av passive prøvetakere i 2010 utført av NIVA og NILU, og
- undersøkelser fra faste værstasjoner på Andøya i 2010 utført av NILU.

Vi takker senioringeniør Christine Daae Olseng og sjefingeniør Gunnar Skotte, begge fra Klif, for god oppfølging og støtte under gjennomføringen av prosjektet.

Forsker Norman Green har vært leder for hele prosjektet. Forskningsleder Torgeir Bakke har vært faglig kvalitetssikrer for rapporten.



Norman W. Green
Oslo, 20. mai 2011

INNHold

Sammendrag	5
Summary	6
1 INNLEDNING	7
2 METODIKK	9
2.1 Analyse av historiske data fra Nordsjøen	9
2.2 Vannsøyledata fra Torungen - Hirtshals 2010	10
2.3 Underveismålinger og overflatedata fra Skagerrak og Barentshavet	11
3 RESULTATER	14
3.1 Data fra nordøstlige Skagerrak og Barentshavet i 2010	14
3.2 Vannsøyledata fra Torungen - Hirtshals 2010	17
3.3 Analyse av historiske data fra Nordsjøen	19
4 DISKUSJON OG KONKLUSJON	21
5 REFERANSER	23
Vedlegg A Rådata og beregnende <i>in situ</i> verdier Torungen - Hirtshals	25
Vedlegg B Stasjonene som ble analysert på snittet Torungen - Hirtshals	27
Vedlegg C Data fra Barentshavet 2010	29
Vedlegg D Data fra Skagerrak 2010	31

Sammendrag

Havet er en nøkkelkomponent i det globale karbonkretsløpet og absorberer for tiden omtrent 25 % av de årlige menneskeskapte CO₂-utslippene. Dette opptaket av CO₂ øker konsentrasjonen av hydrogenioner og minker tilgjengeligheten av karbonationer i sjøvannet. Resultatet er en reduksjon av sjøvannets pH, og prosessen er derfor kjent som havforsuring.

Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring utført av NIVA, IMR og BCCR i oppdrag fra Klif. Den er basert på målinger fra tokt mellom Oslo - Kiel og Tromsø - Longyearbyen utført av NIVA i 2010, prøvetaking Torungen - Hirtshals utført av Havforskningsinstituttet og analysert ved BCCR i 2010, og analyser av historiske data gjennomført av BCCR. De sistnevnte data er primært fra 2001-2007 samlet fra to transekter som krysser Nordsjøen i øst-vestlig og nord-sørlig retning, men omfatter også toktdata fra sør i Nordsjøen i 1987.

Resultatene viser en klar sesongvis variasjon som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen gjennom året. Det er også funnet endringer fra år til år som er tilnærmet like store som sesongvariasjonene. Dette gjør det vanskelig å dokumentere endringene i pH som er ventet fra havforsuring pga. antropogene utslipp. Vår nåværende evne til å observere dette signalet og generelt forstå dynamikken i observerte endringer er diskutert i rapporten. I den forbindelse ble det påpekt behov for multivariable, langsiktige måleprogram på faste stasjoner.

Metningsgraden for aragonitt varierer fra 1.6 til 4. Metningsgraden er noe lavere i arktiske farvann, men fremdeles over 1. Høyest metning er observert når primærproduksjonen er på sitt sterkeste. pH varierer fra 7.95 til 8.4, hvor den høyeste pH-verdien også faller sammen med sterkeste primærproduksjon.

Hovedkonklusjonen er at de fleste områder studert i denne rapporten er mettet i forhold til kalsiumkarbonat (aragonitt og kalsitt). Dette er vist ved at metningsgraden for de forskjellige kalkformer er over 1, også for den mest sensitive formen aragonitt. Prognosene for når undermetning vil skje vil avhenge av hastigheten av havforsuringen. Dette kan ikke estimeres nøyaktig før målinger fra flere år foreligger.

Summary

The ocean plays an important role in the global carbon cycle and absorbs today about 25 percent of the anthropogenic emitted CO₂ to the atmosphere. This increase in CO₂ content particularly in the surface layer of the ocean increases the levels of hydrogen ions and reduces the availability of carbonate ions. The result is a decrease of the seawater pH. This phenomenon is known as ocean acidification.

This report focuses on ocean acidification, the responsible institutions are NIVA, IMR and BCCR/GFI and the client is Klif. The following datasets are included: measurements done by NIVA during two ocean transect surveys between Oslo - Kiel and Tromsø - Longyearbyen in 2010, samples from the IMR standard transect Torungen – Hirtshals. The variables defining the carbonate system have been analysed at the KJOS-labs at GFI/BCCR for data collected in 2010. Most of the historical data used have been generated by the KJOS-group at UiB and BCCR. These data cover mostly the period of time from 2001-2007, taken along two transects in the northern part of the North Sea, but also include data from the southern part of the North Sea and from 1987.

The results show a clear seasonal variability mainly controlled by primary production. The interannual variability is in some cases just as strong as the seasonal variability. This makes it difficult to document of the expected anthropogenic effects on ocean acidification. Our capability to observe anthropogenic effects is discussed in this report and is related to our understanding of the dynamics of the observed changes in the area. In this respect it is important to maintain a long-term multivariable measuring approach at repeated sections and stations.

Saturation of aragonite ranges from 1.6 to 4. Observed values in Arctic waters can be a little lower, but still over 1. The highest degree of saturation is observed during the summer when the primary production is high which causes low CO₂ dissolved gas concentration due to biological fixation of carbon through the photosynthesis. The variability in pH ranges from 7.95 to 8.4 where the high values are observed during peak primary production when photosynthesis is most active.

The main conclusion is that most areas studied in this report are saturated relative to all calcium carbonate species (aragonite and calcite). This is indicated when saturation is higher than 1, and this is true also for the most sensitive form aragonite. The prognosis for when undersaturation will occur will depend on the rate of acidification of the water column. This cannot be estimated precisely before more measurements available covering more years.

1 Innledning

Karbonatsystemet

Havet absorberer for tiden omtrent 25 % av de årlige menneskeskapt CO₂-utslippene (Takahashi *et al.*, 2009), og havforsuringen skjer trolig raskere enn noensinne gjennom de siste 55 millioner år. Det er ventet at havforsuringen vil påvirke strukturen og funksjonaliteten til marine økosystemer, og den kan få betydelige konsekvenser også for høstbare marine ressurser. På bakgrunn av dette er det viktig at graden av havforsuring overvåkes, og dette er derfor inkludert i tilførselsprogrammet som overvåker forurensningssituasjonen i norske havområder. De norske havområdene har et naturlig høyt innhold av uorganisk karbon fordi de lave havtemperaturene fører til høy CO₂-løselighet. Som en følge av dette er innholdet av karbonationer lavt, og vi venter at disse områdene er blant de første som vil bli undermettet med karbonat som følge av havforsuring; for eksempel vil polhavet bli undermettet i løpet av dette århundret dersom utslippene forsetter som i dag (Steinacher *et al.*, 2009).

Havet er en nøkkelkomponent i det globale karbonkretsløpet. Det inneholder oppløst karbonat (CO₃²⁻) og kan derfor absorbere store deler av utslippene av karbondioksid (CO₂) fra forbrenning av fossile brensler og avskoging. Opptaket av CO₂ starter med produksjon av karbonsyre som tilfører hydrogenioner (H⁺) til havvannet:



Noe av det tilførte H⁺ reagerer videre med karbonationer, som er naturlig tilstede i havvannet, og danner bikarbonat:



Havets opptak av CO₂ øker dermed konsentrasjonen av hydrogenioner og minker tilgjengeligheten av karbonationer i sjøvannet. Resultatet er en reduksjon av sjøvannets pH, og prosessen er derfor kjent som havforsuring. Men i forhold til havmiljøet er det reduksjonen av tilgjengelige karbonationer som er mest bekymringsverdig. Karbonat utgjør en viktig byggestein for mange marine organismer, først og fremst for dem med kalkskall:



For mange av dem fører den reduserte konsentrasjon som følger av CO₂-opptak til en betydelig svekket evne til å overleve. For eksempel en rekke kommersielle skalldyrarter (Talmange og Gobler, 2009) og de betydelige forekomstene av kaldtvannskoraller langs norskekysten (Mortensen *et al.*, 2001; Turley *et al.*, 2007). Ved tilstrekkelig grad av havforsuring vil vannet bli undermettet med kalk (CaCO₃) og skallet til enkelte organismer kan da regelrett gå i oppløsning (Orr *et al.*, 2005).

Mye av de historiske dataene og metodene som benyttes i denne rapporten er produsert i andre prosjekter og er arkivert i GLODAP- og SOCAT-databasene. BCCR/GFI sine data er stort sett produsert i det internasjonale prosjektet CARBOOCEAN, mens metodikken er utviklet gjennom IMCORP, CAVASSO og delvis i TRACTOR. Ellers har Bjerknes SFF og en rekke andre NFR-prosjekter som CARBON HEAT bidratt. NIVAs aktiviteter knyttet til havforsuring som AcidMAR og AutoPH er benyttet i arbeidet og dekker kostnader knyttet til metodeutviklingen på analyser (C_T, A_T og pH). Noen data fra disse programmene er inkludert for å styrke innholdet i rapporten. Fra IMRs side er det spesielt data fra interne prosjekter som Norskehavsprosjektet som bidrar med data til denne rapporten. Som et eksempel kan den hydrografiske seksjonen Torungen - Hirtshals nevnes, som er et av Havforskningsinstituttets faste hydrografiske snitt. Dette er første sett av data i det som skal etableres som en tidsserie. Det vil kreve flere års innsamling av data før trender i forsuringsutviklingen kan estimeres med rimelig grad av sikkerhet. Imidlertid har det vært forsket på havets opptak av CO₂ i flere tiår, og vi har derfor i dette notatet gjennomført en litteraturstudie som

oppsummerer status for kunnskap om Nordsjøen som er relevant for havforsuring. En tilsvarende analyse av utviklingen i Norskehavet ble utført for Klif høsten 2009 (Børsheim og Golmen, 2010).

Delprogrammets målsetning er å overvåke pH og metningsgrad for kalsiumkarbonater i de norske forvaltningsområdene. I tillegg til dette analytiske arbeidet vil resultatene bli vurdert i forhold til den globale utviklingen av havforsuring og forskningsfronten innen arbeidet med å forstå effektene av havforsuring. Som et første trinn er historiske data for Norskehavet analysert i forrige årsrapport, og tilsvarende for Nordsjøen i herværende rapport. Dataene er tilgjengelig i de internasjonale databasene GLODAP, og SOCAT-databasen vil bli frigjort i løpet av september 2011.

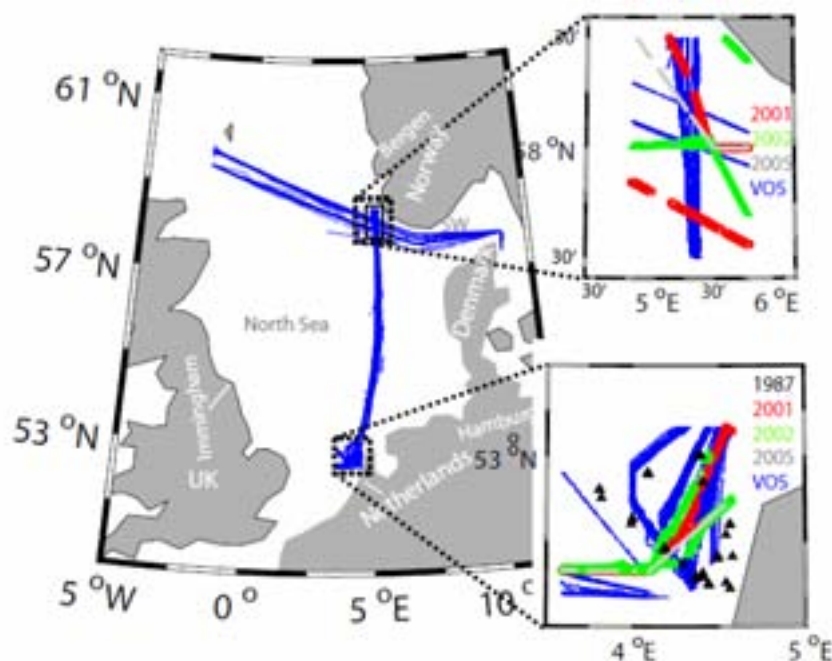
Delprogrammets mål er også å gjøre rede for konsekvenser og trender i norske regioner, og for de faste observasjonsseriene som ble etablert i 2010. Det vil imidlertid ta flere år før en kan estimere trender i utviklingen over tid fra delprogrammets målinger. Derfor er det i programmets første fase lagt vekt på å få oversikt over allerede tilgjengelige data og i hvilken grad disse kan benyttes til å belyse utviklingen.

2 Metodikk

Målingene fra toktene Oslo - Kiel og Tromsø - Longyearbyen er utført av NIVA, prøvetaking Torungen - Hirtshals er utført av IMR og analysene er utført ved BCCR. Stort sett er nesten alle målingene som er benyttet i den historiske dataanalysen utført av BCCR/GFI. I tid representerer dette en tidsperiode fra 2001 til 2007. Det ble også funnet data fra 1987 (Omar et al. 2010) (**Figur 1**). Det er et potensial å benytte data fra lenger sør i Nordsjøen, men de ble ikke inkludert i denne analysen. De analytiske metodene som er benyttet til måling av det uorganiske karbonkretsløpet følger internasjonale avtalte metoder publisert i *Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements* (http://cdiac.ornl.gov/oceans/Handbook_2007.html). Dersom annen metodikk er benyttet står det omtalt senere i denne rapporten.

2.1 Analyse av historiske data fra Nordsjøen

Figur 1 viser hvor historiske data er tatt som inngår i analysen av havforsuring i Nordsjøen presentert her:



Figur 1. Kart over Nordsjøen, med rutene (blå) til de to kontainerskip (Nuka Arctica og Trans Carrier) i perioden 2005-2007. Stiplede firkanter angir de to stedene hvor den mellomårlege variasjonen er undersøkt. Røde, grønne og grå streker viser hvor underveis $p\text{CO}_2$ -målinger ble utført i løpet av toktene i 2001, 2002, og 2005; svart betegner stasjoner besøkt under 1987-toktet. VOS er en forkortelse for Voluntary Observation Ship og benyttes for handelsskip utstyrt med underveis-måleinstrumentering.

Vi har benyttet underveismålinger av CO_2 -deltrykk ($p\text{CO}_2$) og havets overflatetemperatur innsamlet av Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) i perioden 2005-2007 ombord de to kontainerskipene *MS Trans Carrier* og *MV Nuka Arctica*. Dataene ble målt som en del av EU-prosjektet *CarboOcean* i hht. til metoden til Pierrot *et al.* (2009), og har blitt beskrevet av henholdsvis Omar *et al.* (2010) og Olsen *et al.* (2008). Instrumentet bruker en infrarød $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -gassanalysator (LI-COR 6262) til å måle CO_2 -konsentrasjonen i luft som er i likevekt med en kontinuerlig strøm av sjøvann. Analyser har blitt gjort hvert tredje minutt. Instrumentet ble kalibrert omtrent hver sjettede time med tre referansegasser som spenner området av naturlig forekommende CO_2 -deltrykk i området som er blitt undersøkt. Disse kalibreringsgassene er sporbare til referansegasser som er levert av *National Oceanic and Atmospheric Administration /Earth System Research Laboratory* (NOAA / ESRL).

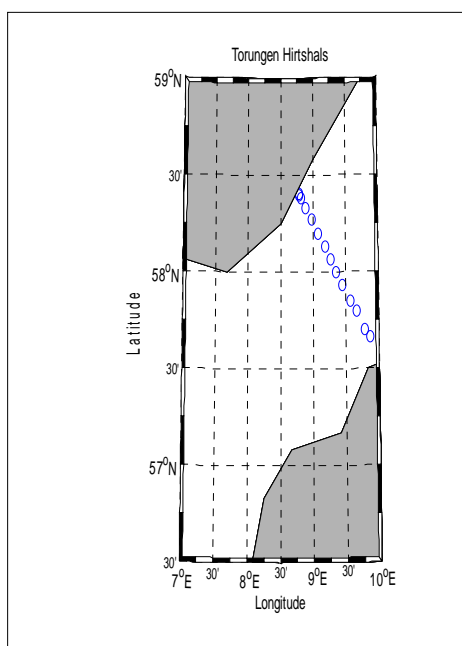
Det er også brukt karbondata fra fem tokt til Nordsjøen med forskningsskipet *RV Pelagia* (18/8-13/9 2001, 06/11-29/11 2001, 11/2-5/3 2002, 6/5-26/5 2002, og 17/8-6/9 2005). Disse dataene er blitt beskrevet i detalj av Thomas *et al.* (2007), Bozec *et al.* (2005) og Thomas *et al.* (2004). På hver tokt ble vannprøver samlet inn og analysert. Oppløst uorganisk karbon (C_T), totalalkalinitet (A_T), saltholdighet, og temperatur er noen av variablene som ble målt. Disse ble målt i flere dyp i vannsøylen, men her har vi kun benyttet resultatene fra overflatelaget (grunnere enn 15 m). I tillegg har vi benyttet underveis pCO_2 data fra disse toktene. Metoden er beskrevet av Körtzinger *et al.* (1996), og tilsvarer metoden til Pierrot *et al.* (2009).

Videre har vi benyttet data fra fem tokt fra 1987 (9/3-12/3, 13/4-16/4, 13/7-14/7, 3/8-4/8 og 23/11-25/11). Toktene i mars, april og november ble gjennomført med forskningsskipet *Aurelia*, mens forskningsfartøyet *Holland* ble benyttet på de to sommertoktene. På alle toktene ble det tatt prøver fra 2 meters dybde for bestemmelse av C_T og A_T i tillegg til salt og temperatur. En mer detaljert beskrivelse av undersøkelsene og målemetodene kan bli funnet i Hoppema (1990, 1991). Programmet CO2SYS (Lewis og Wallace, 1998) ble benyttet til å beregne pCO_2 fra C_T , A_T , salt og temperatur. For disse beregningene ble det benyttet karbonsyrekonstanter fra Mehrbach *et al.* (1973), modifisert av Dickson og Millero (1987).

Ut fra pCO_2 , temperatur, salt og alkalinitet (beregnet fra saltinnhold) Omar *et al.* (2010), ble det beregnet pH og metningsgrad for kalkmineralet aragonitt. Dette er den beste angrepsvinkelen ut fra eksisterende målinger, men ideelt sett skulle det ha vært målt C_T og A_T . Dette ville ha gitt oss den beste presisjonen på beregning av pH og kalkmetning. Denne erkjennelsen er rettet opp i Tilførselsprogrammet, og det måles nå rutinemessig C_T og A_T i tillegg til en rekke andre nødvendige variabler. I tillegg er det under utvikling nye metoder for å måle pH direkte i vann. I første omgang vil en overdeterminering av karbonatsystemet være nødvendig for å sikre best mulig kvalitet på dataene.

2.2 Vannsøyledata fra Torungen - Hirtshals 2010

I 2010 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannsøylen på vannprøver fra de faste stasjonene i det hydrografiske snittet mellom Torungen og Hirtshals (*Figur 2*). Prøvene ble hentet i april, september og oktober.



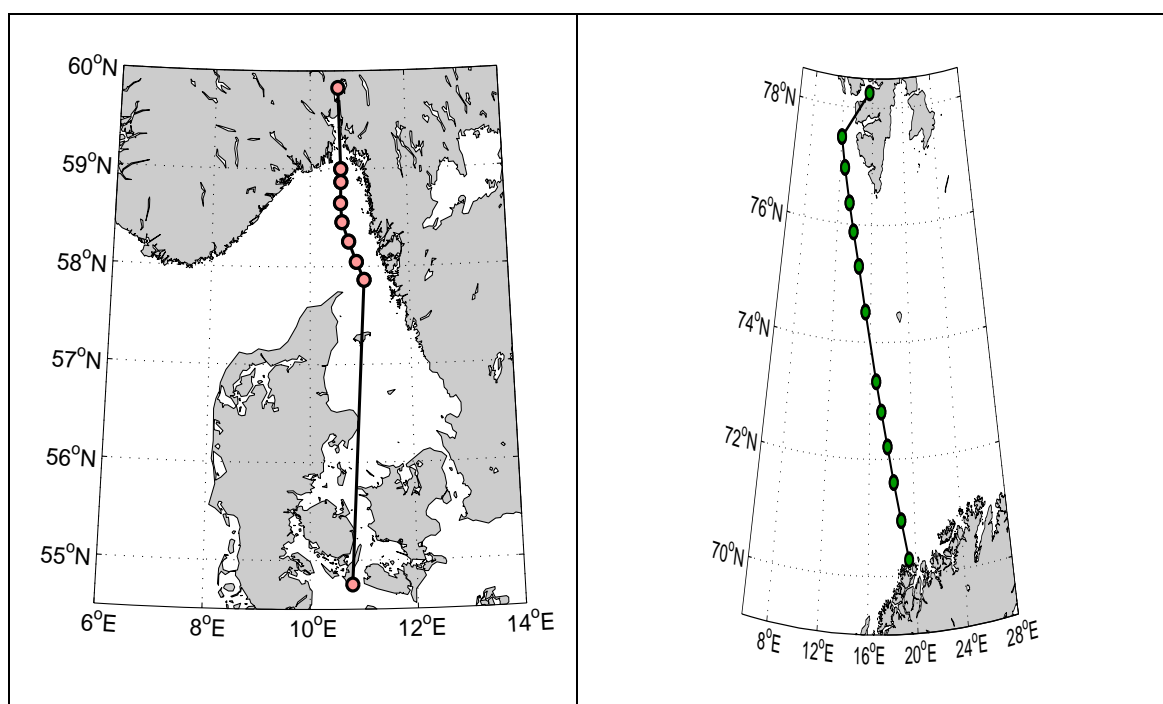
Figur 2. Posisjonene til stasjonene i Torungen - Hirtshalssnittet.

Prøvene ble fiksert med kvikksølvklorid og analysert ved BCCR for C_T og A_T . Salt, temperatur og næringssalter ble analysert for alle prøvene og datasettet ble benyttet til beregning av *in situ* pH (totalskala) samt metningsgrad for kalsitt og aragonitt (Ω_{kalsitt} og $\Omega_{\text{aragonitt}}$) ved hjelp av programvare beskrevet av Lewi og Wallace (1998).

2.3 Underveismålinger og overflatedata fra Skagerrak og Barentshavet

NIVAs ferryboxnettverk fra 2009 til 2010 er benyttet i denne havforsøringsdelen av Tilførselsprogrammet for overflatemålinger og prøvetagninger for karbonkjemi. Overflatevann fra ca. 3-4 meters dyp er innsamlet mellom Oslo og Kiel med bruk av *MS Color Fantasy*, og mellom Tromsø og Longyearbyen med kontainerskipet *MS Norbjørn*. Prøver er innsamlet manuelt med personell fra NIVA, og prøvetagning for C_T , A_T , pH og næringssalter ble foretatt. Målinger av pH, konservering for C_T og A_T analyser er foretatt umiddelbart.

Målingene (*Figur 3*) ble gjennomført på transektet Tromsø - Longyearbyen med cargo-fartøyet *MS Norbjørn* og om bord på fergen *MS Color Fantasy*. Et tokt er gjennomført med *G. M. Dannevig* samtidig med IMR sine målinger. Det er gjennomført noen testtokt både i Skagerrak og langs norskekysten med Hurtigruteskipet *MS Trollfjord* som en del av NIVAs egeninnsats (Kap. 3.1). Under testtoktene ble det bl.a. innsamlet prøver for parallelle målinger mellom NIVA og BCCR.



Figur 3. Stasjoner for Skagerrak og Barentshavet i 2010.

NIVA har utviklet sitt eget system som nå er interkalibrert med BCCR sitt system. Spesielt er anvendelsen av CMR (sertifisert standard vann) vært nyttig for å produsere internasjonalt sammenlignbare data. Strategien er at NIVAs allerede produserte alkalinitetsdata gjennom denne prosedyren kan benyttes i syntesearbeid. På sikt vil NIVA anskaffe seg internasjonalt godkjent instrumentering.

Hovedendringen er at titrantløsningen tilsettes NaCl for å bli sammenlignbar med ionestyrken til naturlig sjøvann. Titrantløsningen som benyttes er 0.1M HCl istedenfor 0.01M HCl. En sterkere løsning benyttes for å unngå unødig fortykning av prøven. pH-elektroden er tilpasset sjøvannsprøver/høy ionestyrke (Metrohm 6.0259.100). Det benyttes egen flaske, byrette (20 ml) og

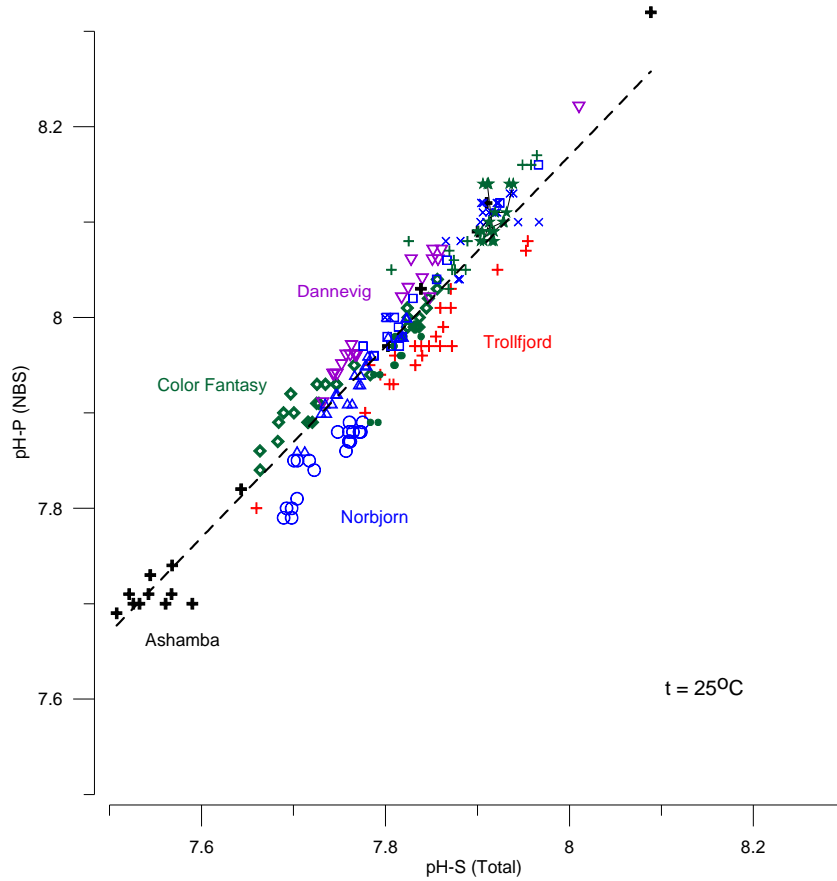
slanger til titranten, slik at dette er stabilt og likt hele tiden. Prøvevolumet er 50 ml og det benyttes en åpen titreringscelle (ca 70 ml). Det benyttes en overtitreringsmetode, slik at prøven overtitreres men A_T beregnes ved endepunkt pH 4.5. Det analyseres prøver med kjent verdi (samme referansemateriale som BCCR) i starten av kjøringen, i midten av kjøringen, og på slutten av kjøringen. Disse verdiene blir vurdert opp mot "sann" verdi og det regnes deretter ut en faktor som alle reelle prøver blir korrigert mot.

Etter omleggingen fikk man ett avvik på analyse av standardvannet på 1.5-2.5% som det korrigeres for i de reelle prøvene. Standardavviket på repeterte kjøringer av standardvannet er 0.2-0.35%.

For C_T ble NIVAs eksisterende metode benyttet i 2010 med unntak av korrigeringen mot referansematerialet. Avviket lå på ca. 5 % som da prøvene er korrigert for. For 2011 er metoden optimalisert ved å bruke NaCl i standarder og en optimalisering av standarder i forhold til forventet konsentrasjon. Avvik nå ligger på <1 %.

I 2010 startet NIVA målinger og utprøving av en ny spektrofotometrisk pH (**pH-S**) metode som er tenkt automatisert og implementert i Ferryboxsystemet. Metoden er benyttet i parallell med den tradisjonelle potensiometriske pH-metoden (**pH-P**) som har gjort at vi kan få et mål for sammenhengen og forskjellen mellom disse teknikkene. pH-P og pH-S opererer med ulike pH-skalaer: **NBS** (NIST, IUPAC) for pH-P og **Total** for pH-S. Den Totale skalaen definerer pH som summen av konsentrasjonene av frie hydrogenioner og HSO_4^- .

Målingene av pH-S er foretatt på en HACH DR-2800 felt spektrofotometer utstyrt med en 5 cm celle og som kan måle simultant på 4 bølgelengder. På basis av differansen mellom duplikate målinger av pH-S, var det mulig å etablere en repeterbarhet (*mål* for kortidsstandardavviket). Beregnet repeterbarhets $R=0.0043$, lå tett opp til estimatet på 0.003 som er anbefalt av Dickson *et al.* (2007). **Figur 4** viser sammenligningen av de 2 metodene for ulike områder. Forskjellen (ikke vist i figuren) er på 0.17 som er noe høyere enn den teoretiske på 0.13. Årsakene til denne forskjellen må forskes på nærmere, men siden de to skalaene viser samme variabilitet vil den relative endringen i pH bli riktige.



Figur 4. Sammenligning av NBS og Total skala for pH for målinger i ulike områder. Data fra Barentshavet er merket Norbjørn, Nordøstlige Skagerrak er merket Color Fantasy, sentrale Skagerrak merket G. M. Dannevig, kysten av Nordland/Troms er merket Trollfjord, mens Ashamba er data fra Svartehavet.

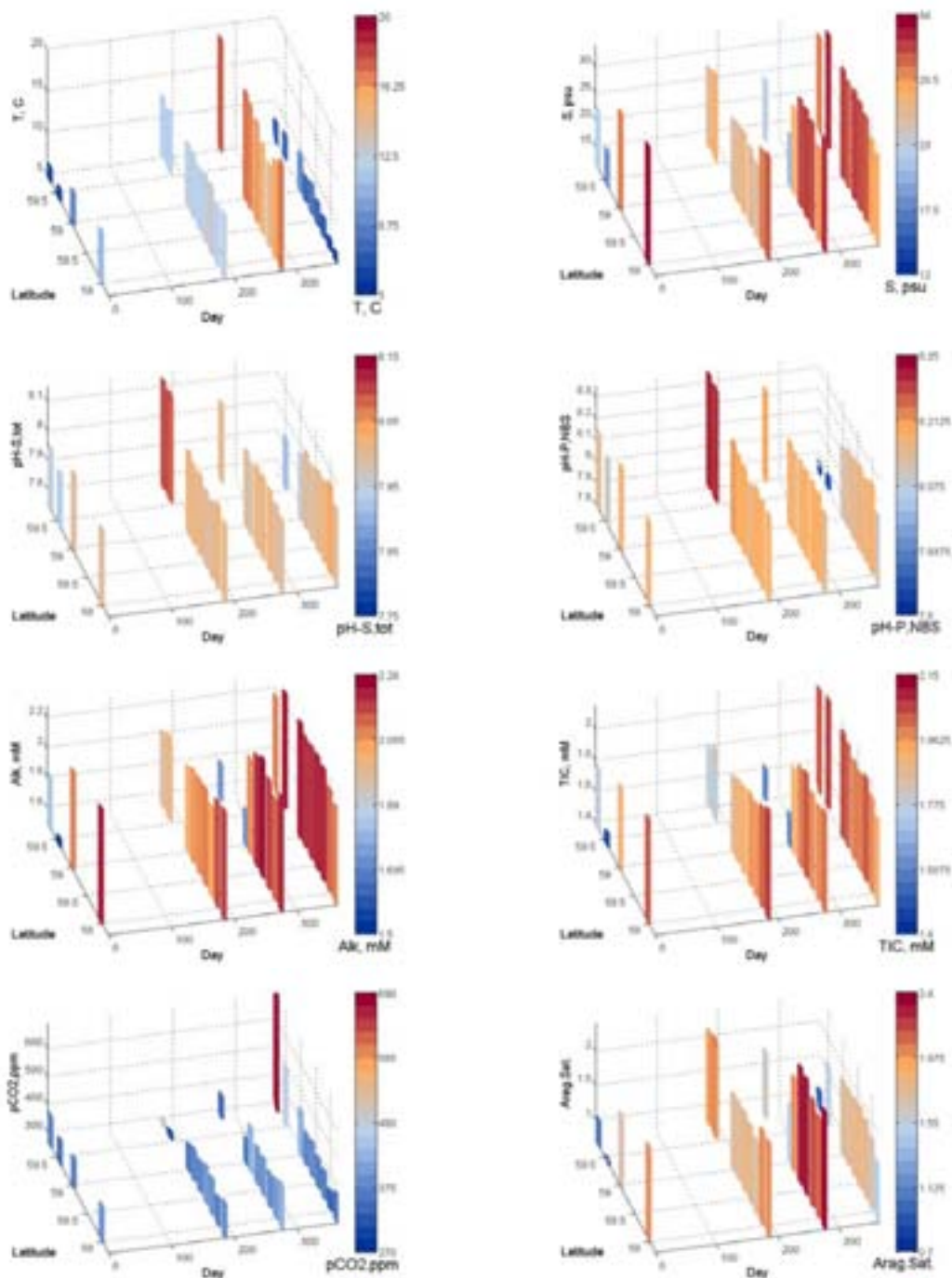
3 Resultater

3.1 Data fra nordøstlige Skagerrak og Barentshavet i 2010

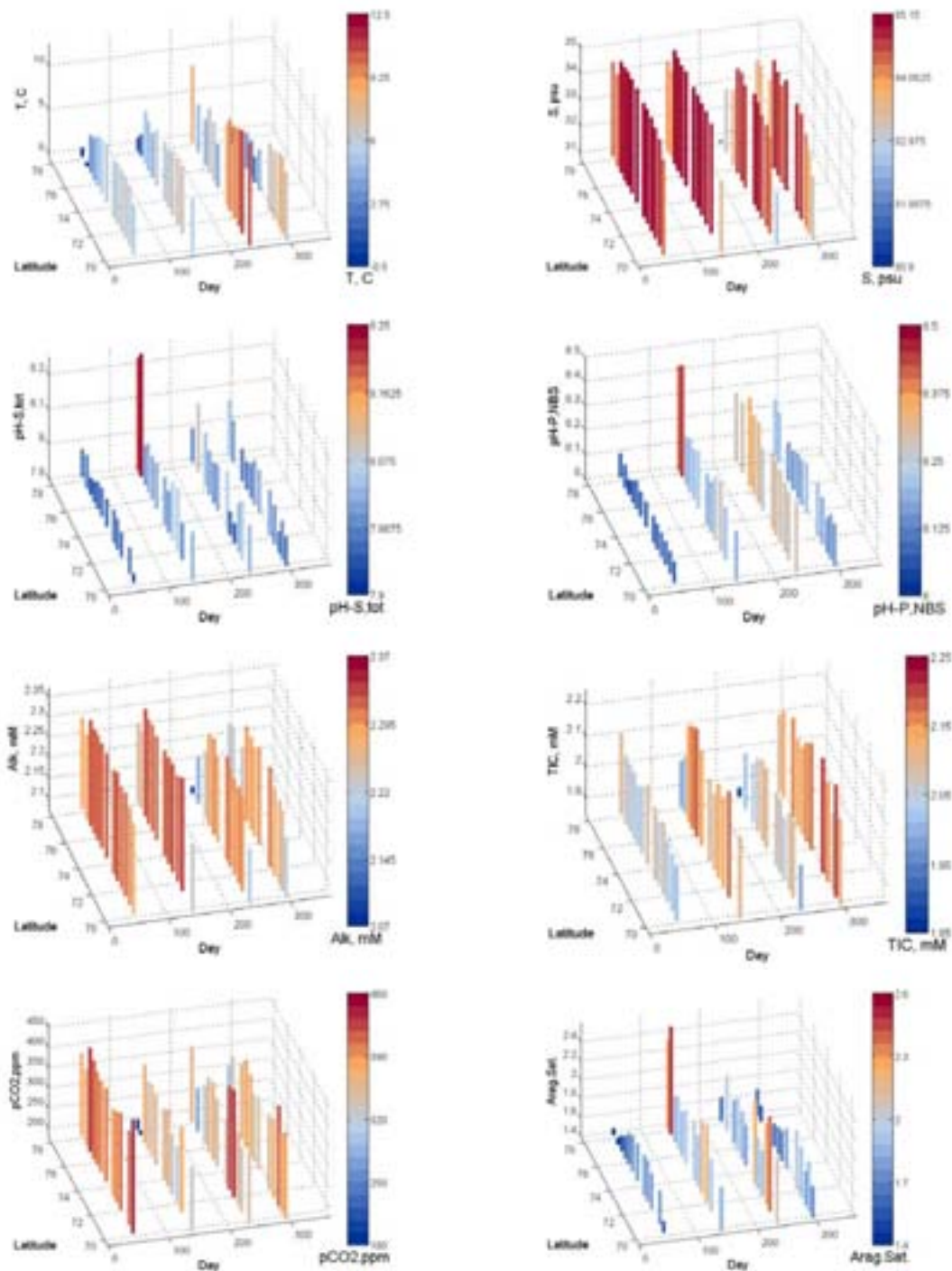
Resultatene fra transektet Oslo - Kiel og Longyearbyen - Tromsø er vist i **Figur 5** og **Figur 6**. I tillegg til de målte parameterne (T, S, pH, C_T og A_T) er de pCO_2 og omega for aragonitt beregnet ut fra Lewis og Wallace, 1998.

Figur 5 vises sesongvis utvikling i Skagerrak mht. de forskjellige variablene nevnt ovenfor. Overflatevannet her representerer et sluk av atmosfærisk CO_2 praktisk talt hele året. Årsaken er at om vinteren vil temperaturen styre undertrykket pCO_2 relativt til atmosfæren, og om sommeren vil fotosyntesen være den dominerende prosessen som leder til undertrykk i overflatevannet. Vannmassene i ytre Oslofjord/Skagerrak var karakterisert av laveste aragonittmetning (ca.1) under vinteren, mens Barentshavet hadde høyere aragonittmetning (1.4 – 2.5) gjennom hele året.

Figur 6 viser at variasjonen av pH basert på total skala beregnet for temperatur *in situ* (merk at pH verdier i Vedlegg C gjelder for 25°C) i Barentshavet er omkring ~0.2, i.e. 7.94-7.99 i februar og 8.04-8.16 i august. pCO_2 i de øvre vannlag varierer fra 180-340 ppm under våren til 390-460 ppm vinterstid. De laveste verdiene er observert nær Svalbard og reflekterer en sterk oppblomstring av primærprodusenter som fikserer karbon under fotosyntesen. Det er normalt å observere pCO_2 -verdier ned mot 200 ppm i arktiske områder. De høye verdiene opp mot 460 ppm kan ikke forklares ut fra nåværende forståelse av variasjonene i området. I arktiske områder er det normalt observert nær likevektsverdier med atmosfæren, dvs. 390 ppm. Dette kan reflektere et behov for å gå mer kritisk igjennom både måle- og beregningsteknikker. Dataene er generelt sett et viktig bidrag til oppretting av en baselinje hvis fremtidige forandringer i karbonsystemet kan relateres. Når det gjelder havforsuring, så vil det forventes en pH på 0.1 pH-enheter lavere enn hva som ville ha blitt observert pre-antropogent. Beregningen er gjort ved å benytte Lewis og Wallace (1998), med en preantropogen atmosfære verdi på 280 ppm.



Figur 5. Horisontalt vises antall dager i et år langs x-aksen, breddegrad langs y-aksen og målt variabel (temperatur, salinitet, pH (spectrofotometrisk, total skala), pH (potensiometrisk, NBS/NIST skala), A_T , C_T , pCO_2 eller metningsgrad av aragonitt) langs z-aksen for transektet Oslo - Kiel i 2010.

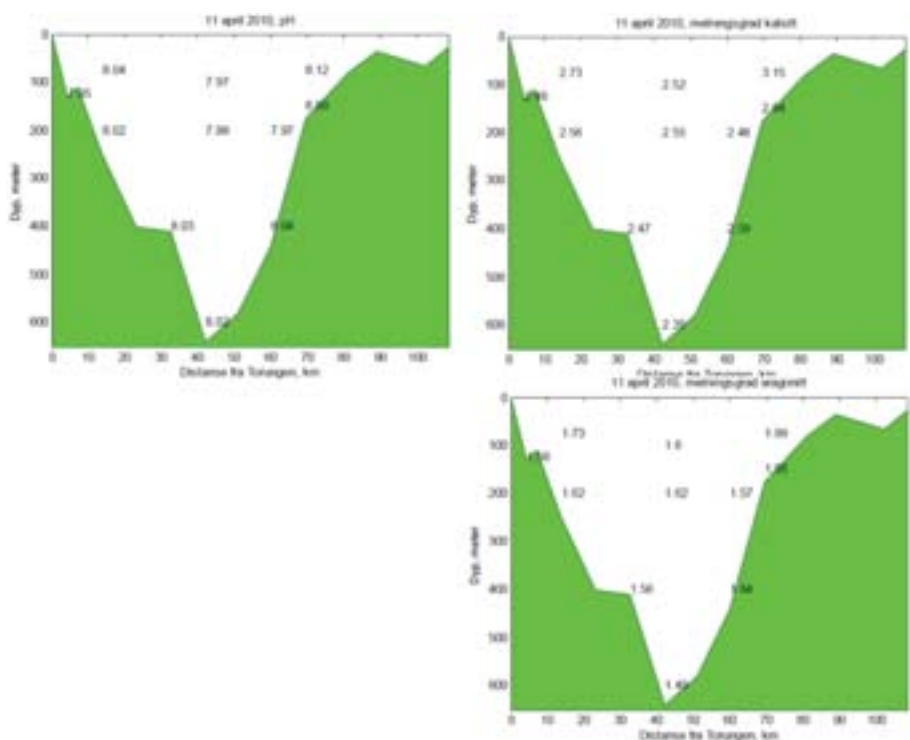


Figur 6. Horisontalt vises antall dager i et år langs x-aksen, breddegrad langs y-aksen og målt variabel (temperatur, salinitet, pH(spectrofotometrisk, totalskala), pH (potensiometrisk, NBS/NIST skala), A_T , C_T , pCO_2 eller metningsgrad av aragonitt) langs z-aksen for transektet Longyearbyen - Tromsø i 2010.

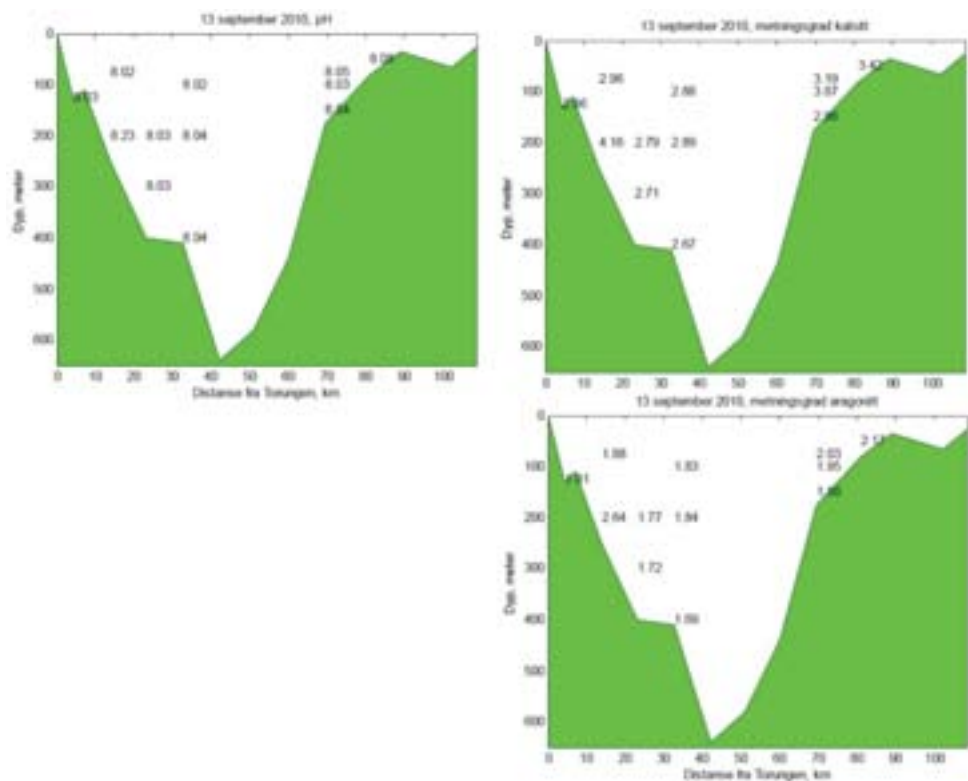
3.2 Vannsøyledata fra Torungen - Hirtshals 2010

pH-verdiene beregnet ved hjelp av kombinasjonen C_T og A_T etter Lewis og Wallace (1998), ligger på den pH-verdi som forventes ut fra graden av havforsuring, rundt 8 i pH-verdi (**Figur 7**). Omega for kalsitt og aragonitt er godt over metningsgraden, men på grunn av den raske økningen av fossilt CO_2 i atmosfæren, vil forsurening skje raskt og vil i første omgang få en effekt for aragonittproduserende organismer. Samtidig må det tas hensyn til at en generell oppvarming av havområdet vil virke dempende på havforsuring.

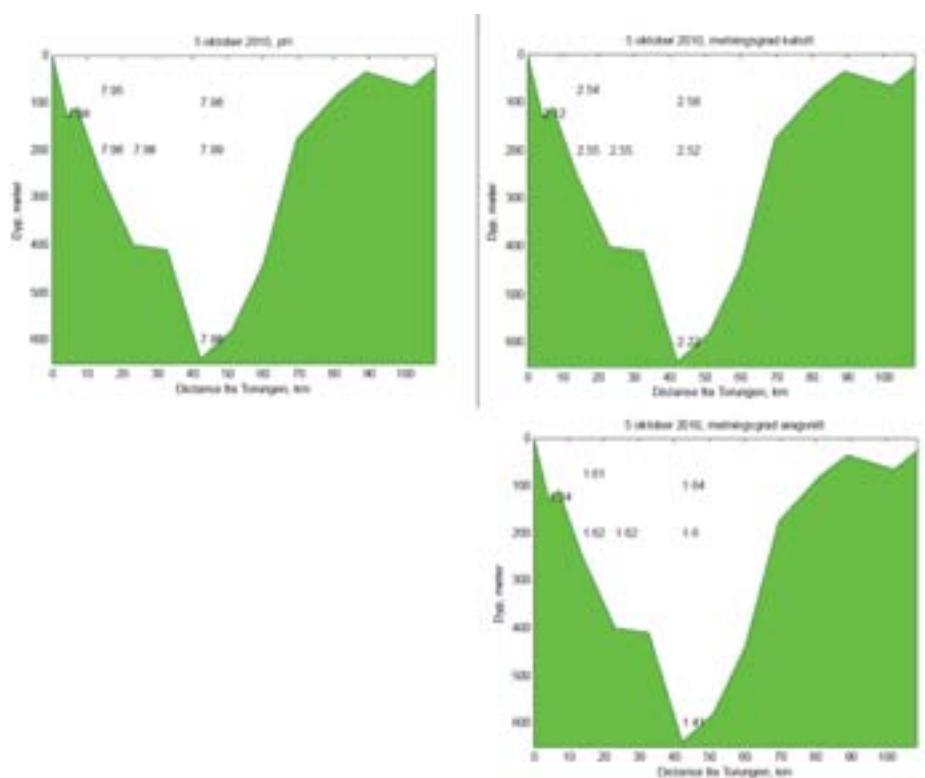
Målingene fra april og september viser noe høyere pH enn resultatene fra oktobertoktet (**Figur 7**, **Figur 8** og **Figur 9**). Det er en betydelig sesongsyklus i pH. Maksimumet i pH på forsommeren kan knyttes til biologisk karbonopptak i løpet av våroppblomstringen. Dette binder CO_2 i organisk materiale og driver likevekten i likning I (Kap. 1) til venstre. Utover sommeren øker temperaturen, dette fører til en termodynamisk drevet pH-reduksjon som overstiger effekten av biologisk drevet karbonopptak. I sør forsterkes denne termodynamiske pH-reduksjonen av oppblanding av remineralisert karbon som driver pH-en ytterligere ned. De laveste pH-verdiene forekommer derfor sør i Nordsjøen i tidsrommet juli og ut september. Det vil være viktig å etablere tidsserier for ekte vinterverdier, dette er iverksatt og i Nordsjøen vil vintermålingene foregå i januar.



Figur 7. Verdier for pH og metningsgrad for kalsitt og aragonitt for snittet Torungen - Hirtshals i april 2010.



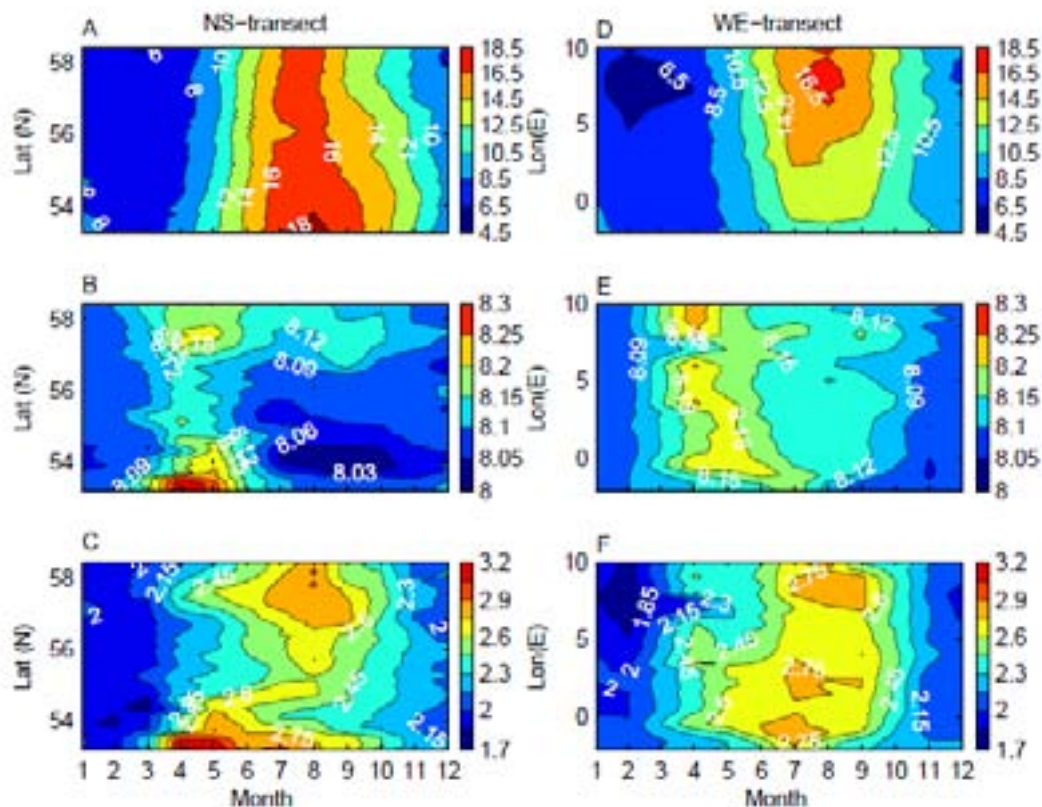
Figur 8. Verdier for pH og metningsgrad for kalsitt og aragonitt for snittet Torungen - Hirtshals i september 2010.



Figur 9. Verdier for pH og metningsgrad for kalsitt og aragonitt for snittet Torungen - Hirtshals i oktober 2010.

3.3 Analyse av historiske data fra Nordsjøen

Sesongsyklusen av overflatetemperatur, pH og metningsgrad for aragonitt (Ω_{Ar} , der >1 indikerer at vannet er overmettet) langs nord-sør og øst-vest transektene (*Figur 1*) i Nordsjøen er vist i *Figur 10*.

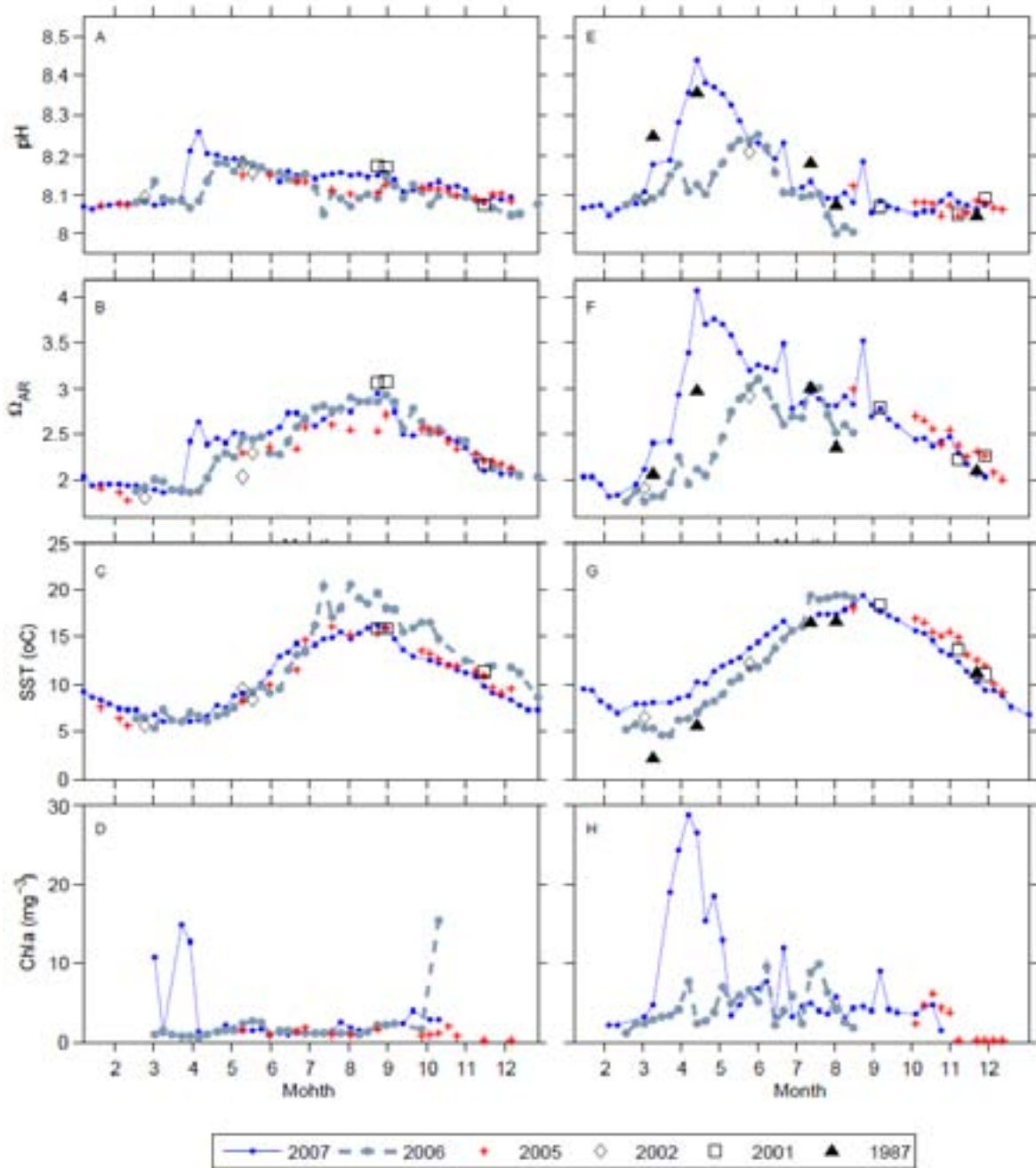


Figur 10. Sesongvariasjoner til temperatur, pH og Ω_{Ar} i overflatevannet i Nordsjøen basert på dataene samlet inn av BCCR ombord lastefartøyene Trans Carrier (Omar et al., 2010) og Nuka Arctica (Olsen et al., 2008). Del A-C viser temperatur, pH og Ω_{Ar} langs nord-sør transekten, og del D-F viser de samme parametrene langs øst-vest transekten vist i *Figur 1*.

Som nevnt og forklart (se Kap. 3.2) er det en betydelig sesongsyklus i pH. Den varierer fra typisk mellom 8.06 og 8.09 om vinteren til et maksimum på opp mot 8.2 i den sørlige delen av Nordsjøen i april og mai.

Metningsgraden av aragonitt, Ω_{Ar} , har også en betydelig sesongvariasjon. Det er to faktorer som driver dette: (i) reduserte konsentrasjoner av uorganisk karbon etter våroppblomstringen driver opp konsentrasjonen av CO_3^{2-} (likevekten i likning II (Kap. 1) drives til venstre) og (ii) Ω_{Ar} øker med stigende temperatur, slik at oppvarmingen utover sommeren faktisk forsterker økningen av Ω_{Ar} drevet av biologisk karbonopptak. Dette gjør at Ω_{Ar} er på sitt høyeste midt- til sensommers, etter at pH har blitt drevet ned igjen etter våroppblomstringen. Den ulike responsen til temperaturforandringer gjør at det altså ikke er en 1:1 korrespondanse mellom sesongsyklusene i pH og metningsgrad av kalk, og dette viser med all tydelighet at pH alene ikke er et tilstrekkelig mål på havforsuring.

For å få et innblikk i tilstanden m.h.p. havforsuring i Nordsjøen, sammenlignes tilgjengelige data fra 1987 og frem til 2007 i *Figur 11*.



Figur 11. Sesongsyklus for pH, Ω_{AR} , temperatur og klorofyll a (Chl a) i overflatevannet i (A-D) nordlige (57.5 - 58.5°N, 4.8-5.8°Ø) og (E til H) sørlige Nordsjøen (52.5 -53.1°N, 3.6-4.6°Ø) i årene 1987, 2001, 2002, 2005, 2006 og 2007.

Fra disse dataene er det ikke mulig å avdekke systematisk forsurening i løpet av disse årene. I stedet fremkommer det en sterk mellomårlig variasjon i pH og Ω_{AR} som er av samme størrelsesorden som sesongforandringene. For begge områdene er de mellomårlige variasjonene i pH og Ω_{AR} størst om våren og sommeren, og både sesong- og mellomårlige variasjoner er større i det sørlige området (Figur 11 E-F) enn i det nordlige (Figur 11 A-D). Variasjonene om våren kan knyttes opp mot variasjon i tidspunkt for og styrke av våroppblomstringen, dette bekreftes av den sterke variabiliteten i chl a om våren (Figur 11 D). Klorofylldataene indikerer en svært markant våroppblomstring i 2007, og denne forklarer de ualmennelig høye pH- og Ω_{AR} -verdiene som forekom i april-mai dette året. År til år variasjoner i temperatur om sommeren (Figur 11 C og Figur 11 G) kan forklare mellomårlige variasjoner i pH utover sommeren, Nordsjøen var ualmennelig varm sommeren 2006, og da var også pH-verdiene relativt lave. Ω_{AR} synes å ha vært mindre sensitiv for dette temperatursignalet.

4 Diskusjon og konklusjon

De historiske data som ble presentert i forrige kapittel etablerer et grunnlag som fremtidige forandringer kan skaleres opp mot. Historiske data for årsvariabilitet i pH (*Figur 10*) viser en klar sesongvis endring som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen gjennom året. Mellomårlig variabilitet (*Figur 11*) viser at år til år endringene kan være tilnærmet like store som sesongvariasjonene. Siden den naturlige variabiliteten mellom år er så stor, er det vanskelig å dokumentere endringer i pH som et resultat av havforsuring på grunn av de antropogene utslipp. Siden den industrielle revolusjon er det forventet en pH-endring på ca. 0.1 (Caldera and Wickett, 2003). Sett i forhold til pH-endring gjennom en sesongsyklus er dette lite, men betydelig. Tatt i betraktning av at atmosfærens CO₂-innhold øker med mer enn 3 prosent på 2000-tallet i forhold til 1 prosent på 1990-tallet (*Global Carbon Project (GCP) report 2011*), vil havforsuring framover i tid bli viktig å monitoren. Til sammenligning har vi ingen naturlige systemer som har forårsaket slike raske endringer som nå observeres i CO₂-systemet, og de akselererende endringene i CO₂-systemet forventes å lede til tilsvarende endring mht. havforsuring.

Et annet interessant poeng som kan trekkes ut av *Figur 11* er at den ikke viser noen langtidstrend i beregnet pH selv om vinteren, spesielt i februar når den biologiske pumpen er på sitt minst aktive nivå og derfor mellomårlig variabilitet liten. Det skulle forventes at vinterverdier for pH ble lavere ettersom tiden går. Det er to mulige årsaker til at det ikke er observert noen trend. Enten er omregningsprosedyren vi har benyttet for upresis til å dokumentere de små endringene i pH, eller så kan det være at andre prosesser (som kalkoppløsning osv.) kan kompensere/bufre forsuringen. I våre beregninger av pH har vi benyttet en relasjon/blandingslinje mellom salt og alkalinitet, og dette øker unøyaktigheten til beregnet pH. Styrken ved tilførselsprogrammet er at det måler alkalinitet direkte sammen med C_T og av den grunn vil redusere usikkerhetene ved beregning av både pH og Ω for de forskjellige karbonattypene (aragonitt og kalsitt).

Hvis vi sammenligner årssyklusen mellom pH og Ω for aragonitt vist i *Figur 11*, ser vi klart at pH går mot surere verdier fra våren samtidig som Ω for aragonitt indikerer større stabilitet. Dette er tilsynelatende motsatt av hva som skal forventes, men kalk er som kjent mer stabilt i varmt vann enn kaldt vann. Oppvarmingen i vannsøylen mot sommeren kan derfor forklare dette fenomenet og kan være en analog til virkningen av global oppvarming som er en funksjon av økt drivhuseffekt. Med andre ord, drivhuseffekten vil i enkelte områder kunne oppheve virkningen av havforsuring. Balansegangen her er meget delikat. På den ene side kan det være at organismer som blir eksponert for lavere pH vil få problemer på grunn av adaptive begrensninger, på den andre siden kan den uorganiske karbonkjemien som antas å påvirke kalkskalldannelsen bli mer stabil på grunn av global oppvarming..

Konklusjoner og anbefalinger:

Et viktig overvåkingsprogram er nå kommet i gang. Vi har nå analysert og produsert nye data som vil inngå til etablering av en baselinje, som fremtidige endringer kan skaleres opp mot.

Det er viktig spesielt i starten å utføre et multivariabelt målesystem for å overdeterminere karbonsystemet. Dette spesielt for å fange opp endring i viktige prosesser som kalsifisering, som kun kan belyses ved måling av A_T.

De nye dataene som nå produseres vil derfor bli et viktig bidrag til forståelsen av havforsuring i nordområdene, og danne grunnlaget for å opprette et referansenivå/baselinje hvor framtidige endringer i karbonsystemet kan relateres. Disse endringene kan være både fysisk eller biologisk relatert.

Fremdeles er det mye arbeid som gjenstår med etableringen av en baselinje, og om vi med mer kritisk analyse kan løse opp endringer i karbonsystemet direkte kan relateres til havforsuring.

På grunn av de nåværende sterke økningene i globale utslipp av CO₂ på mer enn 3 prosent vil fremtidige forandringer lettere kunne relateres til havforsuring. I dag presser vi måleteknikken ned mot deteksjonsgrensen i forhold til den naturlige variabiliteten i systemet. En multivariabel tilnærming er til stor hjelp for å forstå dynamikken i endringene. Det er derfor viktig å opprette et langsiktig måleprogram på faste stasjoner i tilførselsprogrammet. Det vil være viktig med høyfrekvente målinger for å se betydningen av den biologiske pumpen og å sikre kontinuitet. Dette vil bli knyttet opp mot den internasjonale aktiviteten på området som foregår i organisasjoner som IOCCP, SOLAS, IMBER og GCP. Tilførselsprogrammet er koordinert med disse internasjonale prosessene og bidrar sterkt til at norske forskere kan bidra her. Dette blir spesielt viktig i framtiden. Konkret vil dataene inngå i globale synteser av flukser av CO₂, (Takahashi et al. 2009), forståelse av variabilitet, (Watson et al. 2009) og synteser av havforsuring og når det evt. nåes kritiske verdier som kan være skadelig for økosystemer.

5 Referanser

- Bozec, Y., H. Thomas, K. Elkalay, & H. De Baar, The continental shelf pump in the North Sea - evidence from summer observations. *Mar. Chem.* 93, 131-147, 2005.
- Dickson, A. G. & F. J. Millero, A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. *Deep-Sea Res.* 34, 1733-1743, 1987.
- Dickson, A. G., Sabine, C. L., Christian, J. R. Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3. IOCCP Report No. 8. 2007
- GCP. 2010. Ten Years of Advancing Knowledge on the Global Carbon Cycle and its Management (Authors: Lavinia Poruschi, Shobhakar Dhakal and Josep Canadell). Tsukuba: Global Carbon Project.
- Hoppema, J. M. J., The seasonal behaviour of carbon dioxide and oxygen in the coastal North Atlantic along the Netherlands. *Neth. J. Sea Res.* 28, 167-179, 1991.
- Hoppema, J. M. J., The distribution and seasonal variation of alkalinity in the Southern Bight of the North Sea and in the western Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 26, 11-23, 1990.
- Körtzinger, A., H. Thomas, B. Schneider, N. Gronau, L. Mintrop & J. C. Duinker, At-sea comparison of two newly designed pCO₂ instruments - encouraging results. *Mar. Chem.* 52, 133-145, 1996.
- Lewis, E. & D. W. R. Wallace, Program developed for CO₂ calculations. *Rep. ORNL/CDIAC-105*, Carbon Dioxide Information Analysis Centre, Oak Ridge, Tennessee, 1998.
- Merbach, C., C. H. Culbertson, E. J. Hawley, & R. M. Pytkowicz, Measurements of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure. *Limnol. Oceanogr.* 18, 897-907, 1973.
- Mortensen, P. B., M. T. Hovland, J. H. Fosså, & D. M. Furevik, Distribution, abundance and size of *Lopheliapertusa* coral reefs in mid-Norway in relation to seabed characteristics. *J. Mar. Biol. Asso. U.K.* 81, 581-597, 2001.
- Olsen, A., K. R. Brown, M. Chierici, T. Johannessen, & C. Neill, Sea surface CO₂ fugacity in the subpolar North Atlantic, *Biogeosciences* 5, 535-547, 2008.
- Omar, A. M., A. Olsen, T. Johannessen, M. Hoppema, H. Thomas & A. V. Borges, Spatiotemporal variations of pCO₂ in the North Sea. *Ocean Sci.* 6, 77-89, 2010.
- Orr, J. C., V. J. Fabry, O. Aumont *et al.*, Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437, 681-686, 2005.
- Pierrot, D., C. Neill, K. Sullivan, R. Castle, R. Wanninkhof, H. Lüger, T. Johannessen, A. Olsen, R. A. Feely, and C. E. Cosca, Recommendations for autonomous underway pCO₂ measuring systems and data reduction routines. *Deep-Sea Res. II* 56, 512-522, 2009.
- Steinacher, M., F. Joos, T. L. Frölicher, G.-K. Plattner & S. C. Doney, Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences* 6, 515-533, 2009.
- Takahashi, T., S. C. Sutherland, R. Wanninkhof *et al.*, Climatological mean and decadal change in the surface ocean pCO₂ and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. *Deep-Sea Res. II* 56, 554-577, 2009.
- Talmange, S. C., & C. J. Gobler, The effects of elevated carbon dioxide concentrations on the metamorphosis, size, and survival of larval hard clams (*Mercenaria mercenaria*), bay scallops (*Argopecten irradians*) and Eastern oysters (*Crassostrea virginica*). *Limnol. Oceanogr.* 54, 2072-2080, 2009.
- Thomas, H., A. E. F. Prowe, S. Van Heuven *et al.*, Rapid decline of the CO₂ buffering capacity in the North Sea and implications for the North Atlantic Ocean, *Global Biogeochem. Cyc.* 21, GB 4001, doi:10.1029/2006GB002825, 2007.
- Thomas, H., Y. Bozec, K. Elkalay, & H. De Baar, Enhanced open ocean storage of CO₂ from shelf sea pumping. *Science* 304, 1005-1008, 2004.
- Turley, C. M., J. M. Roberts & J. M. Guinotte, Corals in deep-water: will the unseen hand of ocean acidification destroy cold-water ecosystems? *Coral Reefs* 26, 445-448, 2007.
- Watson, A.J., Schuster, U., Bakker, D.C.E., Bates, N.R., Corbiere, A., Gonzalez-Davila, M., Friedrich, T., Hauck, J., Heinze, C., Johannessen, T., Körtzinger, A., Metzl, N., Olafsson, J., Olsen, A., Oschlies, A., Padin, X.A., Pfeil, B., Santana-Casiano, J.M., Steinhoff, T., Telszewski, M., Rios, A.F., Wallace, D.W.R., Wanninkhof, R., 2009. Tracking the Variable North Atlantic Sink for Atmospheric CO₂. *Science* 326 (5958), 1391-1393.

Vedlegg A Rådata og beregnende *in situ* verdier Torungen - Hirtshals

10 april 2010

Nm	Dyp	Sal	Temp	Silikat	Fosfat	A _T	C _T	pH (total)	Ω _{cal}	Ω _{ara}
0	125	35.064	7.72	9.51	1.02	2368.00	2233.00	7.95	2.46	1.56
5	75	34.848	5.342	3.94	0.64	2362.00	2208.00	8.04	2.73	1.73
5	200	34.927	4.939	4.86	0.67	2362.00	2215.00	8.02	2.56	1.62
15	400	34.929	4.376	4.88	0.67	2357.00	2208.00	8.03	2.47	1.56
20	100	35.017	7.148	5.39	0.81	2359.00	2220.00	7.97	2.52	1.60
20	200	35.106	6.745	6.26	0.88	2369.00	2224.00	7.99	2.55	1.62
20	600	34.951	4.222	5.96	0.70	2360.00	2212.00	8.02	2.35	1.49
30	200	35.154	6.682	7.05	0.90	2365.00	2225.00	7.97	2.48	1.57
30	400	34.996	4.833	3.17	0.60	2368.00	2210.00	8.04	2.59	1.64
35	75	34.829	4.737	0.71	0.34	2367.00	2183.00	8.12	3.15	1.99
35	150	34.935	4.694	0.78	0.40	2358.00	2185.00	8.09	2.94	1.86

13 september 2010

Nm	Dyp	Sal	Temp	Silikat	Fosfat	A _T	C _T	pH (total)	Ω _{cal}	Ω _{ara}
1	125	34.62	7.39	11.45	0.88	2385.00	2222.00	8.03	2.86	1.81
5	75	35.05	8.19	4.68	0.68	2388.00	2220.00	8.02	2.96	1.88
5	200	35.18	6.97	4.99	0.82	2389.00	2129.00	8.23	4.16	2.64
10	300	35.13	6.09	5.29	0.81	2380.00	2218.00	8.03	2.71	1.72
10	200	35.19	6.67	5.42	0.84	2384.00	2221.00	8.03	2.79	1.77
15	400	35.06	5.37	5.51	0.78	2385.00	2222.00	8.04	2.67	1.69
15	200	35.20	6.92	4.91	0.82	2393.00	2223.00	8.04	2.89	1.84
15	100	35.20	7.41	4.43	0.78	2390.00	2226.00	8.02	2.88	1.83
35	75	35.31	8.91	3.86	0.80	2394.00	2210.00	8.05	3.19	2.03
35	150	35.24	7.58	4.55	0.80	2394.00	2222.00	8.04	2.96	1.88
35	100	35.34	8.60	4.09	0.80	2395.00	2218.00	8.03	3.07	1.95
41	50	34.62	7.39	11.45	0.88	2378.00	2180.00	8.08	3.42	2.17

5 oktober 2010

Nm	Dyp	Sal	Temp	Silikat	Fosfat	A _T	C _T	pH (total)	Ω _{cal}	Ω _{ara}
1	125	34.63	6.77	11.68	0.96	2379.00	2272.00	7.88	2.12	1.34
5	75	34.98	7.42	4.75	0.67	2375.00	2237.00	7.95	2.54	1.61
5	200	35.19	6.62	5.39	0.83	2378.00	2233.00	7.98	2.55	1.62
5	200	35.19	6.62	5.39	0.83	2376.00	2231.00	7.98	2.55	1.62
20	600	34.98	4.61	7.19	0.79	2374.00	2238.00	7.98	2.22	1.41
20	200	35.12	5.97	5.19	0.79	2376.00	2233.00	7.99	2.52	1.60
20	100	35.09	6.23	4.90	0.79	2376.00	2233.00	7.98	2.58	1.64

Vedlegg B

Stasjonene som ble analysert på snittet Torungen - Hirthals

Stasjonsnavn	Nr	Posisjon N	Posisjon Ø	Dyp
Ærødyppet	1	58.400	8.767	110 (125 m)
5 nm	3	58.333	8.883	250 (75, 200 m)
20 nm	6	58.133	9.183	640 (100, 200, 600 m)
35 nm	8	57.933	9.450	175 (75, 150 m)
52 nm	11	57.633	9.783	65

Vedlegg C

Data fra Barentshavet 2010

Område	Dato	Tid (UTC)	Latitude	Longitude	Temperatur	Salinitet	Alkalinitet, At (µmol/l)	TIC, Ct (µmol/l)	pH-S, (Total, 25C)	pH-P, (NBS, 25C)	SiO2-Sj (µg SiO2/l)	NO2-N (µg N/l)	PO4-P Sj (µg P/l)	Finansiert
--------	------	-----------	----------	-----------	------------	-----------	--------------------------	------------------	--------------------	------------------	---------------------	----------------	-------------------	------------

Barentshavet

Tokt februar

Barentshavet	21.02.2010	05:15	70.2696	19.4389	5.11	34.377	2351.53	2077.03	7.702	7.850				Klif
Barentshavet	21.02.2010	08:58	70.9441	18.8367	6.19	34.833	2368.83	2084.53	7.761	7.870				Klif
Barentshavet	21.02.2010	12:40	71.6023	18.2296	6.41	34.970	2385.17	2099.53		7.880				Klif
Barentshavet	21.02.2010	16:08	72.213	17.6845	6.39	35.080	2381.32	2137.02	7.760	7.880				Klif
Barentshavet	21.02.2010	19:40	72.8132	17.1209	6.22	35.112	2396.70	2107.03	7.773	7.880				Klif
Barentshavet	21.02.2010	22:49	73.3279	16.6096	5.82	35.124	2385.17	2137.02	7.774	7.880				Klif
Barentshavet	22.02.2010	06:05	74.5169	15.4404	6.08	35.112	2389.01	2152.02	7.765	7.880				Klif
Barentshavet	22.02.2010	10:20	75.2932	14.6265	5.51	35.115	2388.05	2114.53	7.761	7.870				Klif
Barentshavet	22.02.2010	13:30	75.8737	13.9101	5.04	35.101	2390.93	2092.03	7.748	7.880				Klif
Barentshavet	22.02.2010	16:00	76.3603	13.3151	4.18	35.051	2389.01	2114.53	7.723	7.840				Klif
Barentshavet	22.02.2010	19:00	76.9563	12.5913	3.65	35.000	2392.86	2114.53	7.704	7.810				Klif
Barentshavet	22.02.2010	22:00	77.4746	12.017	-0.13	34.288	2339.04	2122.02	7.698	7.790				Klif
Svalbard	23.02.2010	07:00	78.2596	15.5269	0.39	34.371	2353.46	2159.52	7.692	7.800				Klif

Tokt Mai

Tromsø	21.05.2010	18:50	69.7794	19.1822	5.56	33.541	2294.29	2168.07	7.815	7.970	152	25	10	Klif
Norskekysten	22.05.2010	04:55	71.4127	19.0794	6.99	34.943	2409.05	2242.83	7.801	8.000	206	75	18	Klif
Barentshavet	22.05.2010	09:00	72.1425	18.4351	6.81	35.055	2390.02	2192.99	7.867	8.060	240	60	12	Klif
Barentshavet	22.05.2010	13:10	72.8561	17.765	6.67	35.046	2396.30	2201.30	7.855	8.040	256	81	15	Klif
Barentshavet	22.05.2010	17:00	73.4495	16.9847	6.07	35.084	2392.25	2143.15	7.802	7.980	262	114	18	Klif
Barentshavet	22.05.2010	21:00	74.0651	16.1664	6.10	35.093	2390.23	2168.07	7.818	7.980	263	108	19	Klif
Barentshavet	23.05.2010	04:20	75.2961	14.3273	5.75	35.107	2385.77	2209.60	7.810	8.000	272	119	19	Klif
Barentshavet	23.05.2010	08:20	75.9563	13.3341	4.44	35.053	2392.66	2251.14	7.787	7.960	277	132	23	Klif
Barentshavet	23.05.2010	12:35	76.5488	12.3893	4.93	35.062	2387.39	2234.53	7.806	7.970	257	138	23	Klif
Barentshavet	23.05.2010	16:20	77.0973	11.4923	5.33	35.093	2394.68	2209.60	7.788	7.960	274	130	23	Klif
Barentshavet	23.05.2010	20:20	77.7243	11.2679	1.87	34.010	2317.16	2076.70	7.966	8.160	76	4	8	Klif
Svalbard	24.05.2010	03:30	78.167	14.466	0.77	34.149	2322.22	2043.47	7.924	8.120	42	3	4	Klif

Tokt August

Svalbard	04.08.2010	13:50	78.2438	15.1746	8.14	30.837	2135.46	1921.66	7.808	8.080	74	4	4	Klif
Svalbard	04.08.2010	20:40	77.4494	13.2746	4.80	33.157	2240.77	2073.57	7.861	8.040	53	<1	6	Klif
Barentshavet	05.08.2010	04:40	76.3778	15.8979	4.59	33.627	2290.38	2088.76	7.816	8.110	26	<1	10	Klif
Barentshavet	05.08.2010	09:10	75.7479	16.9628	6.73	34.727	2355.19	2134.34	7.816	8.100	92	<1	9	Klif
Barentshavet	05.08.2010	13:40	75.104	17.8027	6.10	34.881	2367.34	2157.12	7.799	8.100	78	4	10	Klif
Barentshavet	05.08.2010	17:40	74.5299	18.6255	4.33	34.679	2342.02	2157.12	7.791	8.000	196	14	23	Klif
Barentshavet	06.08.2010	05:20	73.1648	18.8481	8.51	34.986	2383.54	2134.34	7.876	8.110	99	7	10	Klif
Barentshavet	06.08.2010	09:00	72.6473	18.9961	9.78	34.890	2371.39	2134.34	7.799	8.120	59	3	9	Klif
Barentshavet	06.08.2010	13:10	72.0241	19.3613	9.86	34.705	2364.30	2103.95	7.791	8.120	65	<1	9	Klif
Barentshavet	06.08.2010	17:10	71.3678	19.3877	10.41	34.625	2365.31	2149.53	7.877	8.110	39	<1	3	Klif
Norskekysten	06.08.2010	20:50	70.8054	19.9839	11.08	34.444	2360.25	2149.53	7.910	8.110	53	1	2	Klif
Tromsø	07.08.2010	04:45	69.7929	19.3151	10.97	32.782	2256.97	2043.19	7.878	8.130	41	2	5	Klif

Tokt Oktober

Svalbard	27.10.2010	16:00	78.2633	15.4034	0.64	33.707	2286.27	2149.57	7.772	7.930	68	29	13	Niva
Svalbard	27.10.2010	20:15	77.7911	13.0643	1.07	33.721	2292.23	2181.89	7.738	7.910	97	34	12	Niva
Barentshavet	28.10.2010	05:00	76.3901	15.9485	0.76	33.825	2286.89	2222.30	7.708	7.860	111	29	15	Klif
Barentshavet	28.10.2010	09:00	75.7103	16.9997	3.41	34.882	2364.89	2181.89	7.733	7.900	208	108	20	Klif
Barentshavet	28.10.2010	12:30	75.1079	17.8688	3.39	34.719	2355.86	2181.89	7.747	7.920	186	89	19	Klif
Barentshavet	28.10.2010	15:55	74.5514	18.6313	2.31	34.477	2347.85	2222.30	7.762	7.910	118	40	14	Klif
Barentshavet	28.10.2010	20:10	73.9507	19.0562	3.93	34.939	2369.20	2246.54	7.779	7.950	163	94	24	Klif
Barentshavet	29.10.2010	05:00	72.263	19.2383	6.98	34.847	2373.31	2270.78	7.823	8.000	137	77	16	Klif
Barentshavet	29.10.2010	08:35	71.577	19.2987	7.21	34.792	2343.34	2222.30	7.809	7.980	131	78	15	Klif
Norskekysten	29.10.2010	12:00	70.9095	19.3558	7.82	34.321	2333.69	2149.57	7.770	7.940	122	63	16	Klif
Norskekysten	29.10.2010	14:45	70.4128	19.3975	7.97	33.920	2321.78	2262.70	7.818	7.980	127	54	17	Niva
Tromsø	29.10.2010	17:45	69.8958	19.8366	7.09	33.190	2272.11	2173.81	7.783	7.960	155	52	14	Niva

Vedlegg D Data fra Skagerrak 2010

Område	Dato	Tid (UTC)	Latitude	Longitude	Temperatur	Salinitet	Alkalinitet, At (µmol/l)	TIC, Ct (µmol/l)	pH-S, (Total, 25C)	pH-P, (NBS, 25C)	SiO2-Sj (µg SiO2/l)	NO3+ NO2-N (µg N/l)	PO4-P Sj (µg P/l)	Finansiert
--------	------	-----------	----------	-----------	------------	-----------	--------------------------	------------------	--------------------	------------------	---------------------	---------------------	-------------------	------------

Nordsjøen-Skagerrak

Tokt Mai

Oslofjorden	27.05.2010	12:32	59.8265	10.5904	11.94	26.371	2020.87	1802.57	7.965	8.170	225	2	2	Klif
Oslofjorden	27.05.2010	13:12	59.6336	10.6252	11.67	27.522	2077.94	1877.33	7.958	8.160	228	30	3	Klif
Oslofjorden	27.05.2010	13:19	59.5945	10.6308	11.95	27.413	2042.93	1810.88	7.949	8.160	298	103	3	Klif
Oslofjorden	27.05.2010	15:06	59.0039	10.6152	12.37	25.416	2097.98	1910.56	7.889	8.080	94	3	2	Klif
Skagerrak	27.05.2010	15:34	58.849	10.5907	12.29	26.196	2142.30	1952.09	7.874	8.060	21	3	2	Klif
Skagerrak	27.05.2010	16:08	58.6533	10.5894	11.99	26.795	2159.70	1977.01	7.876	8.050	19	2	2	Klif
Skagerrak	27.05.2010	16:44	58.4504	10.6364	12.78	26.142	2173.06	2010.24	7.869	8.030	30	2	2	Klif
Skagerrak	27.05.2010	17:21	58.2517	10.7718	12.87	25.264	2125.10	2010.24	7.869	8.070	22	1	2	Klif
Skagerrak	27.05.2010	17:58	58.0548	10.9352	11.90	29.918	2243.29	2076.70	7.887	8.050	16	2	3	Klif
Skagerrak	27.05.2010	18:35	57.8525	11.0994	12.41	31.079	2265.55	2134.84	7.873	8.050	13	2	3	Klif
Kattegat	28.05.2010	05:52	54.6035	10.5993	11.50	12.309	1827.18	1769.35	7.806	8.050	268	2	2	Klif
Kattegat	28.05.2010	13:36	54.6047	10.615	12.34	12.349	1834.06	1777.65	7.825	8.080	231	2	2	Klif

Tokt August

Oslofjorden	27.08.2010	12:58	59.8257	10.5887	18.06	22.820	1756.79	1615.94	7.937	8.140	108	1	5	Niva
Oslofjorden	27.08.2010	15:24	58.998	10.6354	17.59	21.109	1751.72	1615.94	7.926	8.110	151	19	6	Klif
Skagerrak	27.08.2010	15:50	58.8651	10.6349	17.07	27.730	2165.32	1967.24	7.903	8.090	56	2	6	Klif
Skagerrak	27.08.2010	16:23	58.6494	10.6247	16.62	31.626	2268.72	2060.91	7.929	8.100	33	1	6	Klif
Skagerrak	27.08.2010	16:57	58.4542	10.652	15.22	31.813	2327.51	2099.95	7.916	8.090	35	1	6	Klif
Skagerrak	27.08.2010	17:33	58.2549	10.7827	14.42	31.472	2262.63	2037.49	7.905	8.080	35	2	5	Klif
Skagerrak	27.08.2010	18:09	58.0467	10.9364	16.18	28.968	2206.88	2029.69	7.913	8.100	41	1	6	Klif
Skagerrak	27.08.2010	18:44	57.8621	11.0865	17.51	32.666	2296.09	2068.72	7.917	8.080	32	1	11	Klif
Kattegat	28.08.2010	14:24	54.7522	10.7941	16.68	14.636	1875.39	1748.65	7.911	8.140	256	1	8	Niva

Tokt November

Oslofjorden	23.11.2010	13:30	59.8205	10.582	7.28	29.610	2178.09	2098.77	7.570	7.650	817	204	32	Niva
Oslofjorden	23.11.2010	15:49	59.0166	10.6435	9.14	31.906	2313.64	2114.61	7.791	7.940	326	71	18	Niva
Skagerrak	23.11.2010	16:15	58.8579	10.6302	7.64	31.277	2273.59	2090.85	7.810	7.950	230	36	16	Klif
Skagerrak	23.11.2010	16:49	58.6504	10.6217	8.28	31.843	2286.94	2059.17	7.809	7.970	242	47	15	Klif
Skagerrak	23.11.2010	17:21	58.4583	10.6367	7.58	31.678	2301.31	2051.25	7.819	7.980	256	25	14	Klif
Skagerrak	23.11.2010	17:55	58.2619	10.7734	7.08	31.141	2291.05	2098.77	7.817	7.960	193	24	17	Klif
Skagerrak	23.11.2010	18:31	58.0709	10.9286	5.99	28.696	2218.13	2035.41	7.830	7.980	209	25	14	Klif
Skagerrak	23.11.2010	19:07	57.8719	11.0822	5.82	28.005	2176.03	1964.13	7.788	7.890	156	23	13	Klif
Kattegat	24.11.2010	14:10	54.5054	10.3874	7.24	17.455	1953.19	1829.49			461	23	19	Niva
Oslofjorden	25.11.2010	08:05	59.5623	10.6302	7.62	32.828	2307.48	2130.45			557	134	24	Niva

Tilførsler til norske havområder


**KLIMA- OG
FORUREININGS-
DIREKTORATET**

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif)
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo – Besøksadresse: Strømsveien 96
Telefon: 22 87 34 00 - Telefax: 22 67 67 06
E-post: postmottak@klif.no – Internett: www.klif.no

Utførende institusjon Norsk institutt for vannforskning		ISBN-number 978-82-577-5921-6	
Prosjektleder Norman W. Green		Klifs kontaktperson Christine Daae Olseng	
		TA-number 2809/2011	
		År 2011	Sider 33
		Klif's kontrakt nummer 5011020	
Utgiver Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 6186-2011		Prosjektet finansiert av Klima- og forurensningsdirektoratet, Klif	
Forfattere Truls Johannessen*, Kai Sørensen**, Knut Yngve Børsheim***, Are Olsen*, Evgeniy Yakushev**, Abdirahman Omar*, Tomas Adler Blakseth**		*Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) **Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ***Havforskningsinstituttet (IMR)	
Tittel Tilførselsprogrammet 2010. Overvåking av forsurening av norske farvann med spesiell fokus på Nordsjøen.			
Sammendrag Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av NIVA, IMR og BCCR i oppdrag fra Klif. Den er basert på målinger fra tokt mellom Oslo - Kiel og Tromsø - Longyearbyen utført av NIVA i 2010, prøvetaking Torungen – Hirtshals utført av Havforskningsinstituttet og analysert ved BCCR i 2010, og analyser av historiske data gjennomført av BCCR. De sistnevnte data er primært fra 2001-2007 samlet fra to transekt som krysser Nordsjøen i øst-vestlig og nord-sørlig retning, men omfatter også toktdata fra sør i Nordsjøen i 1987. Resultatene viser en klar sesongvis variasjon som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen gjennom året. Det er også funnet år-til-år endringer som er tilnærmet like store som sesongvariasjonene. Dette gjør det vanskelig å dokumentere endringene i pH som er ventet fra antropogen havforsuring. Vår nåværende evne til å observere dette signalet og generelt forstå dynamikken i observerte endringer er diskutert i rapporten. I den forbindelse blir det påpekt behov for multivariable, langsiktige måleprogram på faste stasjoner. De fleste områder studert i denne rapporten er mettet i forhold til kalsiumkarbonat			
4 emneord Havforsuring Overvåking Nordsjøen Norske farvann		4 subject words Ocean acidification Monitoring North Sea Norwegian Seas	

Klima- og forurensningsdirektoratet

Postboks 8100 Dep,
0032 Oslo
Besøksadresse: Strømsveien 96

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

Om Statlig program for forurensningsovervåking

Statlig program for forurensningsovervåking omfatter overvåking av forurensningsforholdene i luft og nedbør, skog, vassdrag, fjorder og havområder. Overvåkingsprogrammet dekker langsiktige undersøkelser av:

- overgjødsling
- forsurening (sur nedbør)
- ozon (ved bakken og i stratosfæren)
- klimagasser
- miljøgifter

Overvåkingsprogrammet skal gi informasjon om tilstanden og utviklingen av forurensningssituasjonen, og påvise eventuell uheldig utvikling på et tidlig tidspunkt. Programmet skal dekke myndighetenes informasjonsbehov om forurensningsforholdene, registrere virkningen av iverksatte tiltak for å redusere forurensningen, og danne grunnlag for vurdering av nye tiltak. Klima- og forurensningsdirektoratet er ansvarlig for gjennomføringen av overvåkingsprogrammet.

SPFO-rapport 1096/2011
TA 2809/2011
