



**KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET**

Statlig program for forurensningsovervåking
Rapportnr.1124/2012

**Tilførselsprogrammet 2011
Overvåking av forurensning av norske farvann**

TA
2936
2012

Tilførselsprogrammet utføres av:



Statens strålevern
Norwegian Radiation Protection Authority



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 2011. Overvåking av forsurening av norske farvann	Løpenr. (for bestilling) 6365-2012	11.05.2012
	Prosjektnr. 11309, 12309	Sider 65
Forfatter(e) Chierici, M*, Kai Sørensen**, Truls Johannessen***, Knut Yngve Børsheim*, Are Olsen*, Evgeniy Yakushev**, Abdirahman Omar***, Tomas Adler Blakseth** *Havforskningsinstituttet (IMR) **Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ***Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR)	Fagområde Marine miljøgifter, Oseanografi og fjernmåling	Distribusjon Fri
	Geografisk område Norskehavområdet	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif)	Oppdragsreferanse TA 2936/2012
--	-----------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av IMR, NIVA og BCCR i oppdrag fra Klif i 2011. Den er basert på målinger mellom Bergen-Kirknes og Tromsø-Longyearbyen utført av NIVA. Prøvetaking av vertikalen fra Torungen-Hirtshals, Svinøy-NW, Gimsøy-NW og Fugløya-Bjørnøya er utført av IMR. Resultatene fra Norskehavet viser en klar sesongvariasjon i øvre 100 m av vannsøylen, som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen. I tillegg påvirkes karboninnholdet av kystvannet som brer seg vestover i løpet av sommeren. Metningsgraden for aragonitt (Ω_{Ar}) er mellom 1.95 til 1.6 på 300 m dyp. I Norskehavet befinner $\Omega=1.6$ seg på 500 m dyp, og i Nordsjøen på ca 200 m. I Norskehavet er det undermetning fra like under 1500 meters dyp av aragonitt og overmetning av kalsitt i hele vannsøylen. I Barentshavet lå Ω_{Ar} mellom 1.07-2.62 med min. verdier i kystområdet mellom Kirkenes og Tromsø i januar (1.07-2.03), mens Ω_{Ar} var 1.49-2.52 i desember, og karakterisert av en stor variasjon fra 1.67 til 2.62 som skyldes en økt biologisk produksjon. Historiske data er sammenlignet på Havforskningens hydrografiske seksjoner i 2011 og CARINA databasen. Primært ble data fra 1997-2011 i nord-vestlig retning fra Gimsøy og Svinøy benyttet for å studere trender i Norskehavet, men analysen omfatter også data fra Barentshavet. Trender viser en økning av karbonkonsentrasjonene målt i 2011 relativt til historiske data. Dette gjenspeiler hovedsakelig havets opptak av menneskeskapt CO_2. Konklusjonen er at de fleste områder studert i denne rapporten er mettet i forhold til kalsitt, og undermetning av aragonitt viser seg på 1500 meters dyp i Norskehavet.</p>
--

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



Norman Green
Prosjektleder

Morten Schaaning
Forskningsleder



Kristoffer Næs
Forskningsdirektør

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. 5012006. Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av NIVA, IMR og BCCR. To andre rapporter fremstiller: undersøkelser av miljøgifter og radionuklider i Norskehavet i 2011 utført av NIVA, IMR, NIFES, NILU og NRPA, undersøkelser med hjelp av passive prøvetakere i 2011 utført av NIVA og NILU.

Vi takker sjefingeniør Gunnar Skotte, fra Klif, for god oppfølging og støtte under gjennomføringen av prosjektet.

Forsker Norman Green har vært leder for hele prosjektet. Forskningsleder Morten Schaaning har vært ansvarlig for faglig kvalitetssikring av rapporten.



Norman W. Green
Oslo, 14. mai 2012

INNHold

Sammendrag	3
Summary	4
1. Innledning	5
2. Metodikk og data	7
2.1 Prøvetaking og måling av total alkalinitet og totalt uorganisk karbon	7
2.2 Målinger av underveis pCO ₂	8
2.3 Historiske data fra Norskehavet	9
2.4 Beregning av pH og metningsgraden av kalsitt og aragonitt	11
3. Resultater	12
3.1 Vannsøyledata fra Torungen-Hirtshals	12
3.2 Vannsøyledata fra Svinøy-NW	15
3.3 Sesongvariasjon i vannsøylen fra Gimsøy-NW	18
3.4 Vannsøylen Fugløya-Bjørnøya	24
3.5 Overflatedata sommer Kirkenes-Bergen	26
3.6 Overflatedata Tromsø-Longyearbyen	29
3.7 Underveis pCO ₂ data i Norskehavet	31
4. Diskusjon og konklusjon	36
4.1 CO ₂ systemet i Norskehavet basert fra historiske data	36
4.2 Konklusjon og anbefalinger	46
5. Referanser	47
Vedlegg A. Datatabeller	49

Sammendrag

Havet er en nøkkelkomponent i det globale karbonkretsløpet og absorberer for tiden omtrent 25 % av de årlige menneskeskapt 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 Bergen-Kirkenes og Tromsø - Longyearbyen utført av NIVA i 2011, prøvetaking Torungen – Hirtshals, Svinøy-NW, Gimsøy-NW og Fugløya-Bjørnøya utført av Havforskningsinstituttet og analysert ved både Havforskningsinstituttet og BCCR i 2011. Analyse av historiske data er gjennomført av Havforskningsinstituttet og BCCR. Her sammenlignes data målt på Havforskningsinstituttets hydrografiske snitt i 2011 med historiske data fra CARINA databasen. Primært ble data innsamlet i 1997-2011 fra de faste snittene i nordvestlig retning fra Gimsøy og Svinøy for å studere trender i Norskehavet, men analysen omfatter også toktdata fra Barentshavet.

Norskehavet viser en klar sesongvis variasjon i øvre 100 m som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen gjennom året, men omfatter også saltholdighetsminking i overflaten på grunn av fortykning med brakkere vann fra kysten.

Vi ser også en tydelig innflytelse av Atlanterhavsvann langs snittet. 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 forårsaket av 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. Sammenligning med historiske data viser en økning av karbonkonsentrasjonene målt i 2011 relativt til historiske data. Dette gjenspeiler hovedsakelig havets opptak av menneskeskapt CO₂.

I Norskehavet er metningen av aragonitt (Ω_{Ar}) og kalsitt i overflaten hhv ca. 1.8 og 3 og minker med dypet. Ved 1500 meters dyp er $\Omega_{Ar} = 1$ og dypere ned ser vi undermetning fra like under 2000 meters dyp. I Barentshavet lå Ω_{Ar} mellom 1.07-2.62 med minimums verdier i kystområdet mellom Kirkenes og Tromsø i januar (1.07-2.03), mens Ω_{Ar} var 1.49-2.52 i desember, og karakterisert av en stor variasjon fra 1.67 til 2.62 i den varme perioden av året med maksimum verdier nær kysten som skyldes økt biologisk produksjon.

På andre steder varierer metningsgraden for aragonitt fra 1.6 til 2.5. Metningsgraden er noe lavere i arktiske farvann, men fremdeles over 1. Høyest metningsgrad 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). Undermetning viser seg på 1500 meters dyp i Norskehavet. Dette er vist ved at metningsgraden for de forskjellige kalkformer er mindre enn 1, også for den mest løselige 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 a key 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 level of hydrogen ions and reduces the availability of carbonate ions. The result is a decrease of the seawater pH and carbonate ion concentration. 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 Bergen and Kirkenes and Tromsø - Longyearbyen in 2011, samples from the IMR standard transect Torungen - Hirtshals, Svinøy-NW, Gimsøy-NW and Fugløya-Bjørnøya. For the IMR samples, determination of Total alkalinity (A_T) and total inorganic carbon (C_T) were performed at IMR and at the KJOS-labs at GFI/BCCR. IMR and BCCR used historical data to investigate trends in CO₂ system from IMR repeated transects and the CARINA database from 1997 to 2011, mainly focusing on the Norwegian Sea but the analysis also included measurements from the Barents Sea.

The results from Norwegian Sea show a clear seasonal variability in the upper 100 m mainly controlled by primary production and freshening from coastal water.

The warm and saline Atlantic water has also a clear influence on the temporal and spatial variability. Year-to-year variation is about the same as the seasonal variation, which makes it difficult to distinguish the anthropogenic influence on the changes in pH. This is discussed in the report and points towards a need to have a multivariate and long term monitoring programme at fixed stations, as well as high frequency measurements with new technology from remote platforms. When compared to historical data, the 2011-results shown an increase in carbon concentration. This reflects the uptake of CO₂, in the sea.

Saturation of aragonite (Ω_{Ar}) and calcite in surface waters of the Norwegian Sea is about 1.8 and 3, respectively, and decreases with depth. At 1500 m depth Ω_{Ar} is 1 and undersaturation ($\Omega < 1$) occurs below 2000 m depth. In the Barents Sea we found the saturation between 1.07 and 2.03 with low values in coastal areas between Tromsø and Kirkenes in January (1.07-2.03). Whereas Ω_{Ar} in December was 1.49-2.52 and during the warmer season was 1.67-2.62 with a high values near the coast because of primary production.

Aragonite varied from 1.6 to 2.5 in other regions. Saturation was lower in arctic waters, but over 1. The highest degree of saturation was observed when primary production was the high. pH varies from 7.95 to 8.4 correlates well with primary production.

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 (soluble) 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 will be made available covering more years.

1. Innledning

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 derfor er dette 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 til stede 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. Sett i forhold til havmiljøet, er det reduksjonen av tilgjengelige karbonationer som er det mest bekymringsverdige. 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 følge 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 organisme 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-, CARINA- 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. NIVAs interne satsninger vil fra 2013 inngå i ett flerårig strategisk institutt satsning (OASIS) som skal utvikle metodikk, måleplattformer, indikatorer, modellkompetanse og sosio-økonomiske kunnskap om havforsuring. I løpet av 2011 har IMR gjennomført en stor satsing på studier av havforsuring og har ansatt to marine kjemikere med ekspertise på havets karbonatsystem, samt innkjøp av instrumentering for målinger av total alkalinitet og total uorganisk karbon i Bergen og Tromsø. Fra IMRs side er det flere oppstartsprosjekter for havforsuring og data fra interne prosjekter som Norskehavsprosjektet som bidrar med data til denne rapporten. Som et eksempel kan

den hydrografiske seksjonen ved Svinøy nevnes, som er et av IMRs faste hydrografiske snitt. Dette er det andre 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. I denne rapporten har vi gjennomført en studie med historiske data i Norskehavet med data mellom 1997 og 2011 som er en oppfølging av studien i Norskehavet 2009 (Børsheim og Golmen, 2010). Sammenligningen mellom 1997 og 2011 viser tydelig reduksjon i pH og Ω_{Ar} (aragonitt-metning) i løpet av åtte år.

Delprogrammets målsetning er å overvåke karbonkjemi med fokus på pH og metningsgrad for kalsiumkarbonater i de norske forvaltningsområdene. Det vil imidlertid ta flere år før en kan estimere trender i utviklingen over tid fra delprogrammets målinger. Som et første trinn er historiske data for Norskehavet analysert i årsrapport 2009, med fortsettelse i dette notatet. Tilsvarende studie for Nordsjøen finnes i Børsheim og Golmen (2010). Dataene er tilgjengelig i de internasjonale databasene CARINA, og SOCAT som er tilgjengelig på <http://cdiac.ornl.gov/oceans/CARINA/> (www.socat.info).

2. Metodikk og data

Følgende tabell viser en oversikt over alle toktene fra sør til nord som ble gjennomført i 2011.

Snitt	Prøvetaking s måned	Type	Målte parametere	Utførende institusjon	Finansiering
Torungen-Hirtshals	januar	vannsøyle	A_T, C_T	IMR	Klif
Svinøy-NW	januar, november	vannsøyle	A_T, C_T	IMR	Klif
Gimsøy-NW	april, august	vannsøyle	A_T, C_T	IMR	Klif
Fugløya-Bjørnøya	januar	vannsøyle	A_T, C_T	IMR	Klif
Tromsø- NyÅlesund/Long- yearbyen	mai, august, september, oktober, desember	overflate	$A_T, C_T, \text{pH},$ nærings- salter	NIVA	Klif, Fram, NIVA
Bergen-Kirkenes (Hurtigruten)	januar juli	overflate	$A_T, C_T, \text{pH},$ nærings- salter, TOC/POC pCO_2	NIVA	Klif, Fram, NIVA
Norskehavet	Hele året	overflate	pCO_2	BCCR	

2.1 Prøvetaking og måling av total alkalinitet og totalt uorganisk karbon

Generelt følger prosjektet rutiner for vannprøvetaking og instrumentering i internasjonalt avtalte metoder publisert i *Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements*. Dette gjelder også de historiske data som er anvendt (http://cdiac.ornl.gov/oceans/Handbook_2007.html).

Fire parametere kan måles direkte for å studere karbonatsystemet. Disse er: total alkalinitet (A_T), total uorganisk karbon (C_T), pH, og partialtrykk av CO₂ (pCO_2). A_T er et mål på vannets kapasitet til å nøytralisere syre (bufferevne) og består av summen av basene i løsningen dannet fra svake syrer (se Eq1 skjematisk definisjon). I sjøvann består den største delen av basene av karbonater og hydrogenkarbonat. C_T defineres som summen av kullsyre og løst CO₂ i vann (CO₂*), karbonater, hydrogenkarbonater. pH er mål på surhetsgraden og konsentrasjonen (ie. aktiviteten) hydrogen-ioner (H^+) i sjøvannet.

$$A_T = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] + [\text{NH}_3] + [\text{HS}^-] - [\text{H}^+] - [\text{HSO}_4^-] + [\text{HF}^-] + [\text{H}_3\text{PO}_4] - \dots \quad \text{Eq. 1}$$

$$C_T = [\text{CO}_2^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$[\text{H}^+] \sim [\text{H}^+]_f + [\text{HSO}_4^-], \text{ der } [\text{H}^+]_f \text{ er den frie hydrogenkonsentrasjonen}$$

$$\text{pH} = -\log_{10}([\text{H}^+])$$

For definisjon av pCO_2 henvises til kapittel 2.2.

Prøvetaking av vannsøylen på faste snitt ble utført av IMR. Målinger av totalt uorganisk karbon (C_T) og total alkalinitet (A_T) utføres på vannsøyleprøver fra snittene Fugløya-Bjørnøya, Torungen-Hirtshals, Svinøy-NW og Gimsøy-NW. Prøver fra april og november ble analysert ved IMR (p) og de fra januar og februar ble analysert ved BCCR med VINDTA 3C instrumentering for total alkalinitet

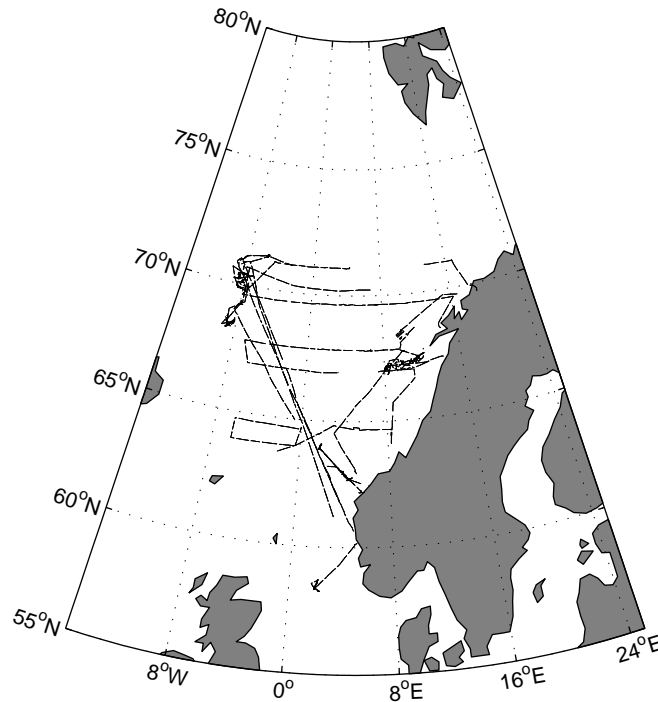
og totalt uorganisk karbon (marianda, Germany). Prøvetaking og analyser av overflate prøver langs Norskekysten mellom Bergen og Kirkenes og Tromsø – Longyearbyen er utført av NIVA. I 2011 gjennomførte NIVA 5 tokt mellom Tromsø-Longyearbyen og ett vintertokt Kirkenes- Tromsø og ett sommertokt Kirkenes-Bergen.

Vannprøvene ble fiksert med mettet kvikksølvklorid løsning og oppbevart mørkt ved ca. +4 °C før de ble analysert. Total alkalinitet (A_T) ble analysert ved potensiometrisk titrering med 0.1 N saltsyre (HCl), og C_T med coulometrisk deteksjon av CO_2 ekstrahert fra surgjort prøve. Saltsyren for A_T titrering tilsettes NaCl for å bli sammenlignbar med ionestyrken til naturlig sjøvann på ca 0.7 M og pH-elektroden som benyttes av alle parter er tilpasset sjøvannsprøver/høy ionestyrke (Metrohm 6.0259.100). A_T titrer systemene benytter åpen titringscelle. NIVA bruker prøvevolum på 50 ml VINDA-instrumentene ved IMR og BCCR benytter 100 ml prøvevolum. Ekvivalenspunktene ble beregnet ved metode for kurvetilpasning anbefalt av Dickson *et al.* (2007). I overensstemmelse med internasjonalt konsensus anvendes sertifisert standardvann for kvalitetssikring og kontroll av riktighet av alle C_T og A_T data (Certified Reference Material, CRM, A. Dickson, SIO, USA). CRM prøver med kjent verdi analyseres 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. Anvendelsen av CRM er svært vært nyttig for å produsere internasjonalt sammenlignbare data som kan benyttes i syntesearbeid (Johannessen *et al.*, 2011). NIVAs metoder ble interkalibrert med BCCR i 2010 og NIVAs metoder er beskrevet i 2010 rapporten fra Tilførselsprogrammet.

Vannprøver fra overflaten innsamlet med Ferrybox nettverket er tatt fra ca. 3-4 meters dyp med hurtigruteskipet *MS Trollfjord* mellom Bergen og Kirkenes og mellom Tromsø og Longyearbyen med kontainerskipet *MS Norbjørn*. Data fra NIVA prosjektet AcidMar og Framsenter prosjektet AcidArtic er stilt til disposisjon og brukt i rapporten. Prøver er innsamlet manuelt med personell fra NIVA, og prøvetagning for C_T , A_T , pH og næringssalter ble foretatt. For toktet mellom Kirkenes og Bergen ble også totalt organisk karbon (TOC) og partikulært organisk karbon (POC) analysert som en del av NIVAs prosjekt AcidMar. Dette er bruk for å beregne oppløst organisk karbon (DOC) som en støttevariable. Data for temperatur og salinitet er tatt fra Ferrybox systemene. Målinger av pH, konservering for analyse av C_T og A_T er foretatt umiddelbart. pH er målt med den spektrofotometriske metoden i Total skala (pH-S(Tot)) og med potensiometriske metoden i NBS skala (pH-P(NBS)). Den spektrofotometriske pH metoden er beskrevet i tidligere (2010) rapporten fra Tilførselsprosjektet Johannsen *et al.*, 2011. Målingene av pH-S(Tot) er foretatt på en HACH DR-2800 felt spektrofotometer utstyrt med en 5 cm celle og som kan måle simultant på 4 bølgelengder. For den potensiometriske metoden ble Metrohm 680 pH-meter benyttet. pH er beregnet som funksjon av T, S, C_T , A_T , fosfat og silikat i total skala (pH-C(Tot)) sammen med metningsgrad for kalsitt og aragonitt (Ω_{kalsitt} og $\Omega_{\text{aragonitt}}$) ved hjelp av CO2SYS (Pierrot *et al.*, 2006) med Merbach konstanter. Resultatene av pH målinger for in-situ temperatur og trykk er gjengitt i tabeller i Vedlegg A.

2.2 Målinger av underveis pCO₂

Vi har benyttet underveismålinger av CO_2 -deltrykk (pCO₂) og havets overflatetemperatur innsamlet av Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) i 2011 ombord forskningsskipet R/V G.O.Sars (**Figur 1**). Dataene ble målt som en del av Tilførselsprogrammet i hht. til metoden til Pierrot *et al.* (2009). Instrumentet bruker en infrarød CO_2/H_2O -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 sjetten time med tre referansegasser som spenner over 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). Målinger gjort med slike instrumenter har en usikkerhet på 2 μatm for pCO₂ i sjøvann.



Figur 1. Kart over Norskehavet som viser hvor $p\text{CO}_2$ ble målt i 2011. Alle datapunktene som er vist her er målt om bord på R/V G.O.Sars.

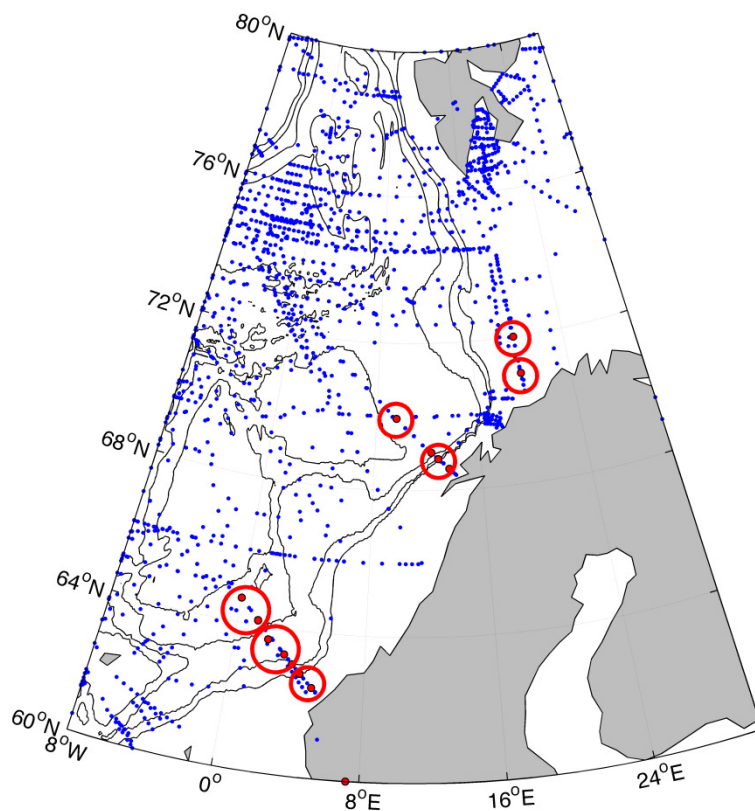
$p\text{CO}_2$ dataene fra 2011 har gjennomgått en primær kvalitetskontroll i hht. prosedyrer bestemt på en workshop om "Ocean Surface $p\text{CO}_2$ Data Integration and Database Development" i Tsukuba i 2004. Dataene har foreløpig ikke gjennomgått sekundær kvalitetskontroll, men dette vil skje i løpet av året når dataene blir sendt inn til SOCAT (www.socat.info). I forbindelse med den primære kvalitetskontrollen ble det oppdaget at i begynnelsen av 2011 oppsto det forholdsvis store forskjeller (2-3 hPa) i trykket målt i gasekvilibratoren og inne i gassanalysatoren. Disse forskjellene er betydelig større enn det som har vært vanlig for dette instrumentet tidligere år, så vi har gjort noen analyser for å undersøke hvor mye denne trykkforskjellen betyr for usikkerheten i målingene av $p\text{CO}_2$. Siden vi bruker trykket målt i ekvilibratoren til å korrigere for variasjoner i atmosfærisk trykk ved beregning av $p\text{CO}_2$ så brukes trykket målt inne i gassanalysatoren kun til den interne omregningen fra volt til gasskonsentrasjon (som er en femte-ordens polynomialligning), hvor spenningen er lineært avhengig av trykk og gasskonsentrasjonen er lineært avhengig av temperatur:

$$[\text{CO}_2] = \text{funksjon} \left(V \frac{P_0}{P} \right) \frac{T}{T_0}$$

Hvor $[\text{CO}_2]$ er gasskonsentrasjon, V er volt målt av gassanalysatoren, P_0 er referansetrykk, P er målt trykk inne i gassanalysatoren, T_0 er referansetemperatur og T er målt temperatur inne i gassanalysatoren. Analysene våre viser at selv om trykket målt inne i gassanalysatoren er 2-3 hPa feil så utgjør dette for lite i P_0/P leddet til at det har noen betydning for gasskonsentrasjonen.

2.3 Historiske data fra Norskehavet

Figur 2 viser lokalitetene for data som brukes i studien av trender mellom 1997 og 2011 (kapittel 4.1). Der sammenlikner vi dataene målt på Havforskningens hydrografiske seksjoner i 2011 med historiske data fra CARINA databasen (Olsen *et al.*, 2010). Lokalitetene ble valgt ut fordi de representerer hydrografisk avgrensede områder der det var tilgang på historiske data.



Figur 2. Posisjonen til karbondataene i CARINA databasen (Olsen et al., 2010) er vist i blå, mens prøvetakningsposisjonene i 2011 er vist som røde sirkler med svart ramme. De 7 områdene med profiler diskutert i kap.3. er indikert med røde sirkler.

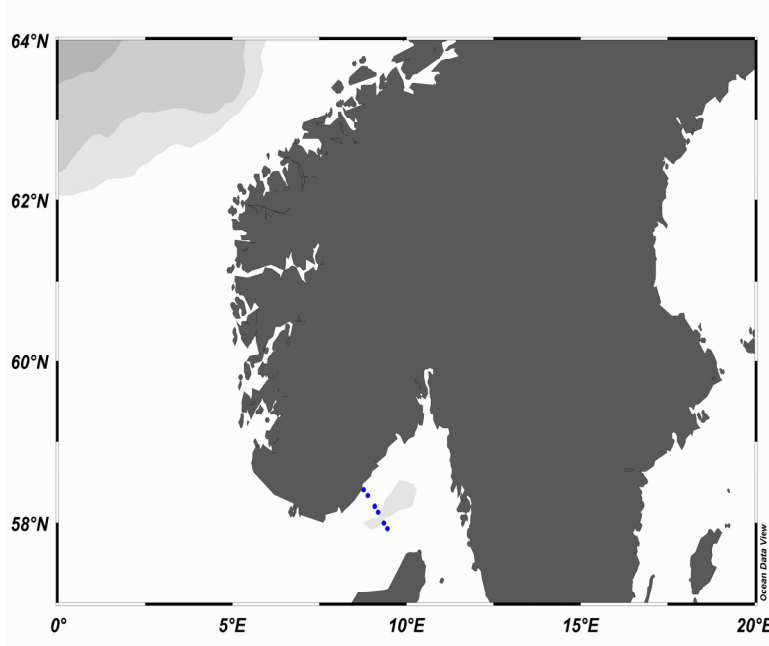
2.4 Beregning av pH og metningsgraden av kalsitt og aragonitt

Data på A_T og C_T anvendes sammen med temperatur, dybde (trykk), saltholdighet, fosfat og silikat i en kjemisk spesierings modell, CO2SYS (Pierrot *et al.*, 2006) for å beregne de andre CO2 system komponentene som *in situ* pH, og metningsgrad for kalsitt og aragonitt (Ω_{kalsitt} og $\Omega_{\text{aragonitt}}$). For disse beregningene ble det benyttet karbonsyrekonstanter fra Merbach *et al.* (1973), modifisert av Dickson og Millero (1987). Det ble benyttet totalskala for pH (pH_T) ved å benytte konstanten for HSO_4^- fra Dickson 1990. Kalsium konsentrasjonen ($[\text{Ca}^{2+}]$) ble antatt proporsjonal mot saltholdighet (Mucci, 1983), og korrigert for trykk i følge Ingle (1975). På IMRs faste snitt manglet data på fosfat og silikat. Dette introduserte en feil på ca 0.8% i beregnet metningsgrad av kalsitt og aragonitt. Oppdatering av disse verdier vil gjøres så snart fosfat og silikat data blir tilgjengelig.

3. Resultater

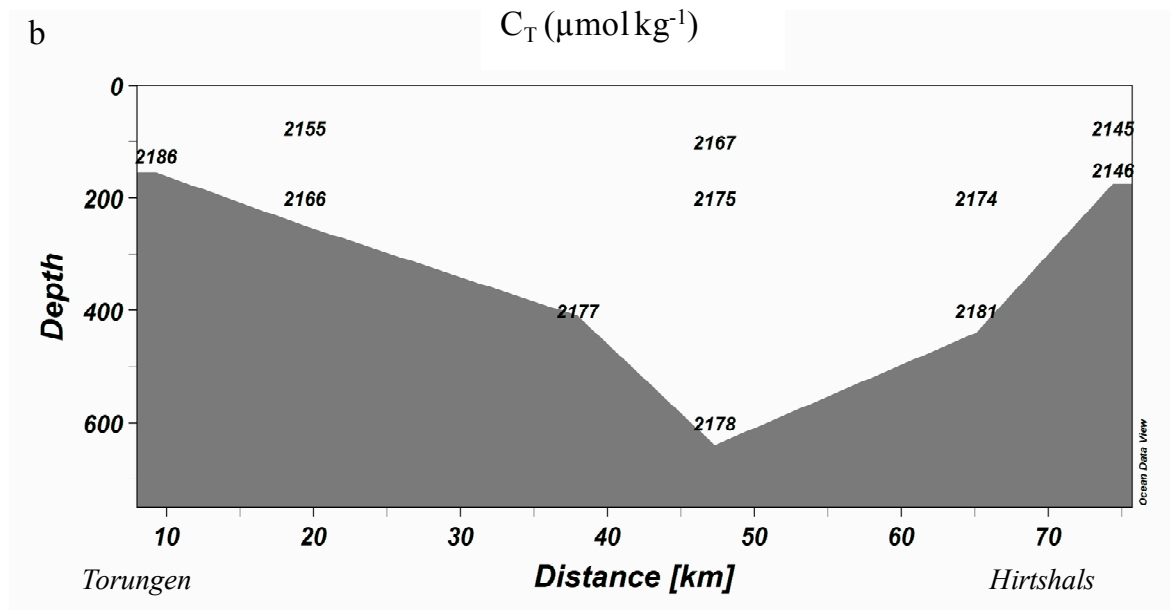
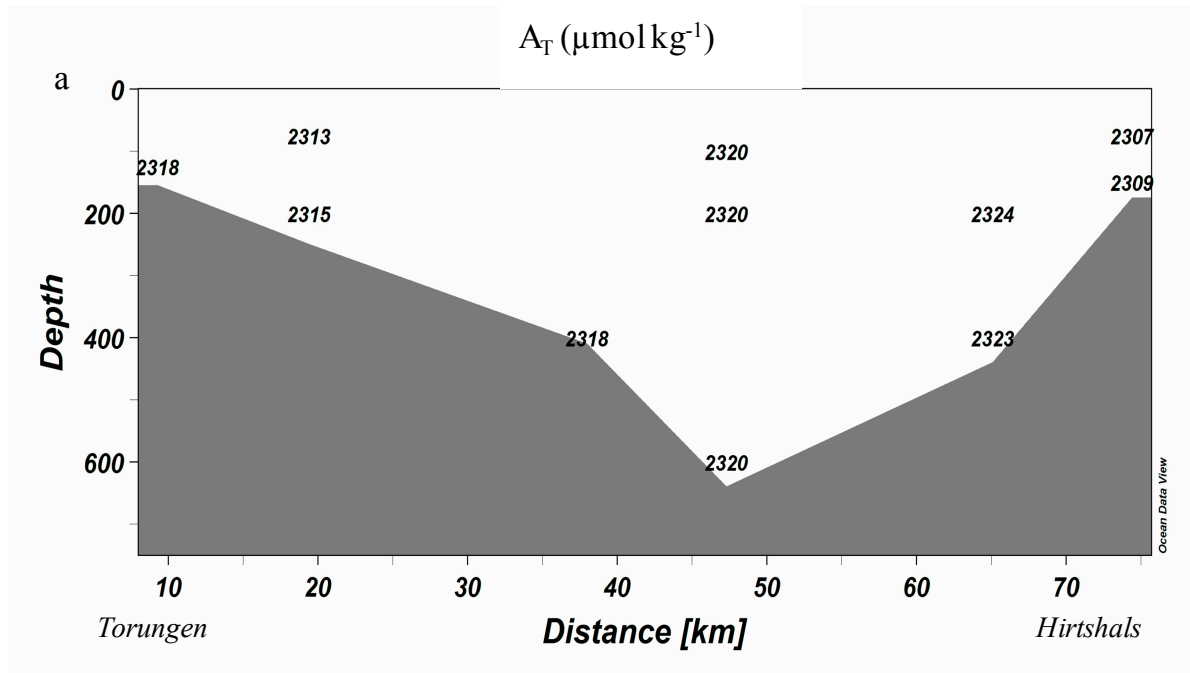
3.1 Vannsøyledata fra Torungen-Hirtshals

Målinger ble foretatt på de avmerkede stasjonene i det faste snittet Torungen-Hirtshals på prøver samlet i januar (*Figur 3*).

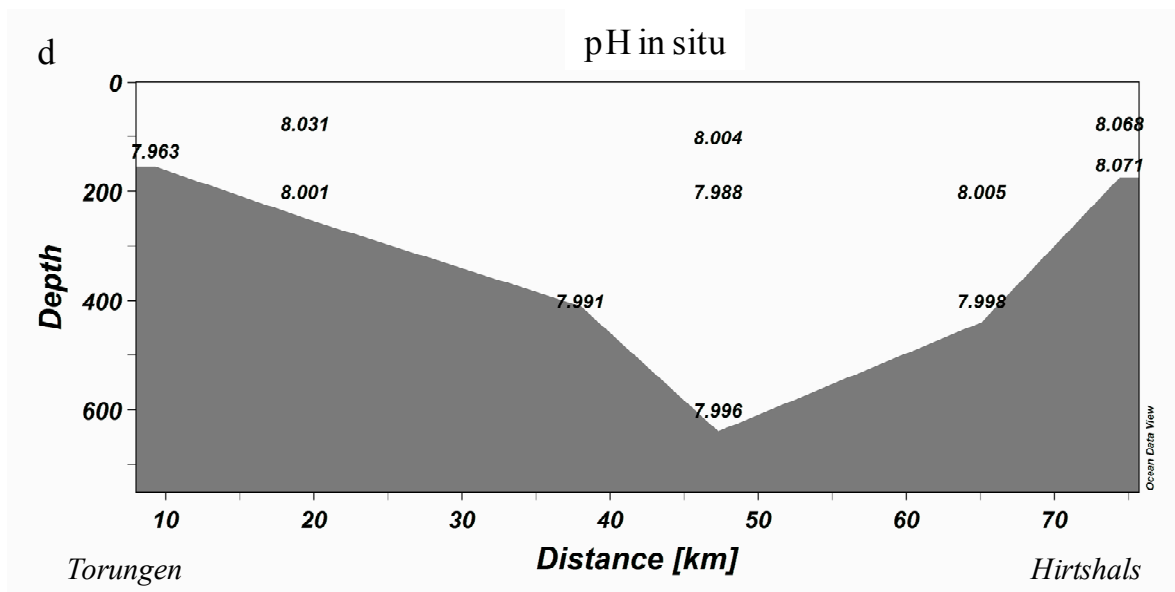
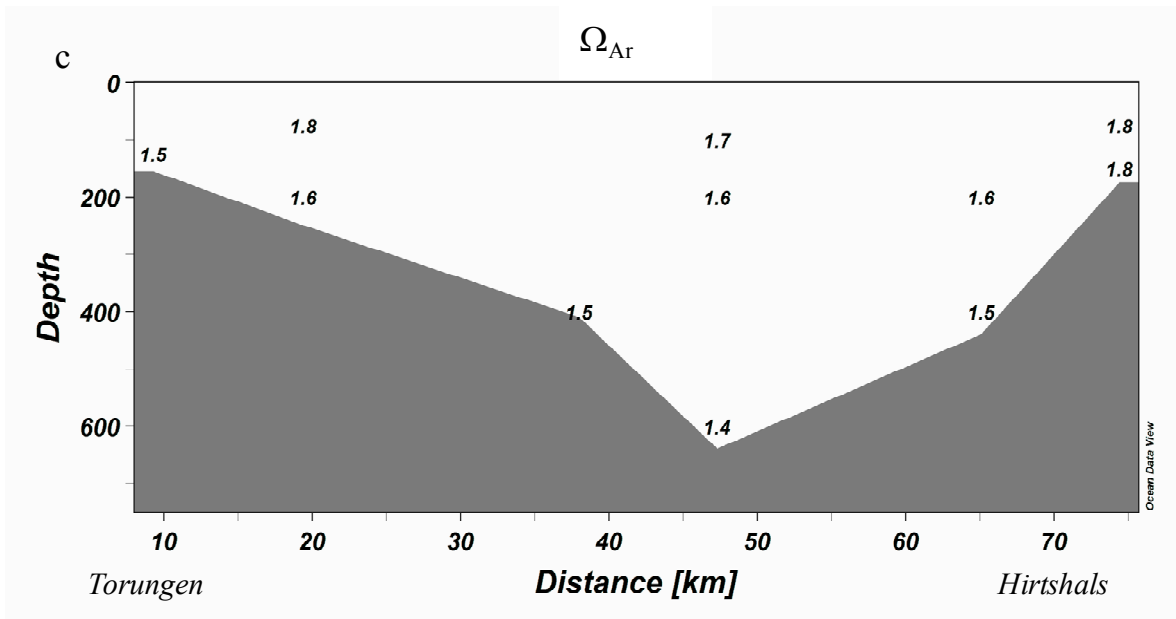


Figur 3. Stasjoner for Havforskningsinstituttets faste snitt Torungen-Hirtshals i 2011 (blå punkter).

Vinterdata fra januar 2011 viser generelt homogene A_T og C_T verdier bortsett fra oruten på den sørligste stasjonen der A_T og C_T har lavere konsentrasjoner som sannsynligvis viser påvirkning av innstrømmende vann fra Jyllandsstrømmen (*Figur 4*). pH *in situ* og Ω_{Ar} metningen var omvendt og viste høyere verdier sørover. Kalsitt og aragonitt er over metning. Middelerverdi for Ω_{Ar} var 1.6 ± 0.1 for hele området og alle dyp. I 2010 har Ω_{Ar} større variasjon og i september var Ω_{Ar} 2.6 på en av stasjonene i nord (Johannessen *et al.*, 2010), som var maksimum. Sammenligning av data fra 2010 og 2011 (januar) viser en tydelig sesongsyklus i Ω_{Ar} , mellom 1.4 og 2.2 (2.6 i nord) i overflaten. Størst forandring viser seg mellom april og september da Ω_{Ar} øker. Dette kan knyttes til biologisk karbonopptak i løpet av vår- og sommeroppblomstringen. I oktober viser det en markant Ω_{Ar} reduksjon på grunn av oppblanding av CO_2 fra remineralisert karbon som driver Ω_{Ar} og det er da vi ser de laveste verdier på cirka 1.6 i sør og 1.3 i nord (Johannessen *et al.*, 2010).



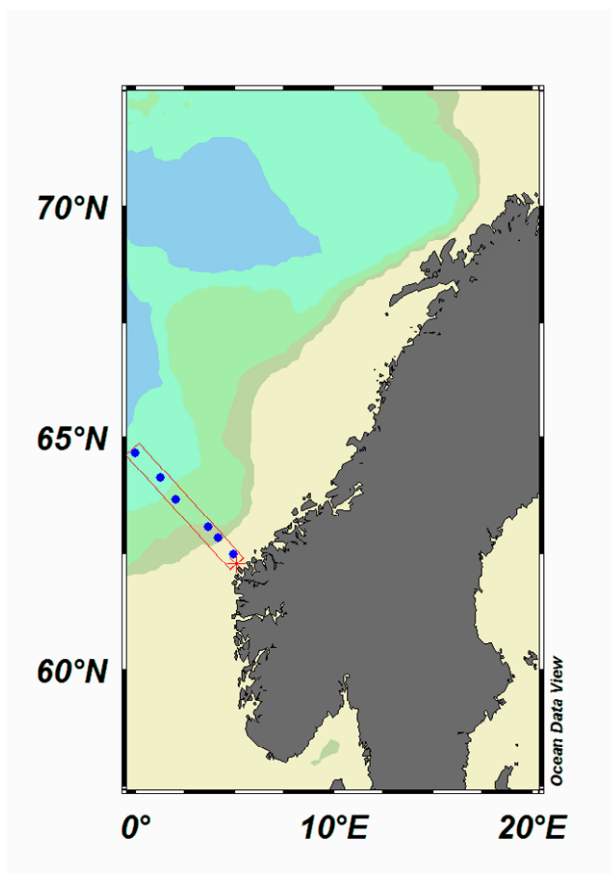
Figur 4. Januar data fra Torungen-Hirtshals på: a) total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$), b) Totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$), c) aragonitt metning (Ω) og, d) pH in situ.



Figur 5. Januar data fra Torungen-Hirtshals på: c) aragonitt metning (Ω) og, d) pH in situ.

3.2 Vannsøyledata fra Svinøy-NW

Snittene Svinøy og Gimsøy (kapittel 3.3) fanger opp kystvannet og viktige deler av Atlanterhavsvann i Norskehavet. Disse snittene har hydrografisk historie tilbake til henholdsvis 1935 og 1964. I 2011 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannsøylen på vannprøver fra de faste stasjonene i det hydrografiske snittet mellom Svinøy og 64°40'N, 0°0'V. Prøvene ble hentet i januar (6 stasjoner) og november (tre stasjoner) (*Figur 6*). I Tabell 5 finns detaljer om posisjon, stasjonsnummer og dyp.

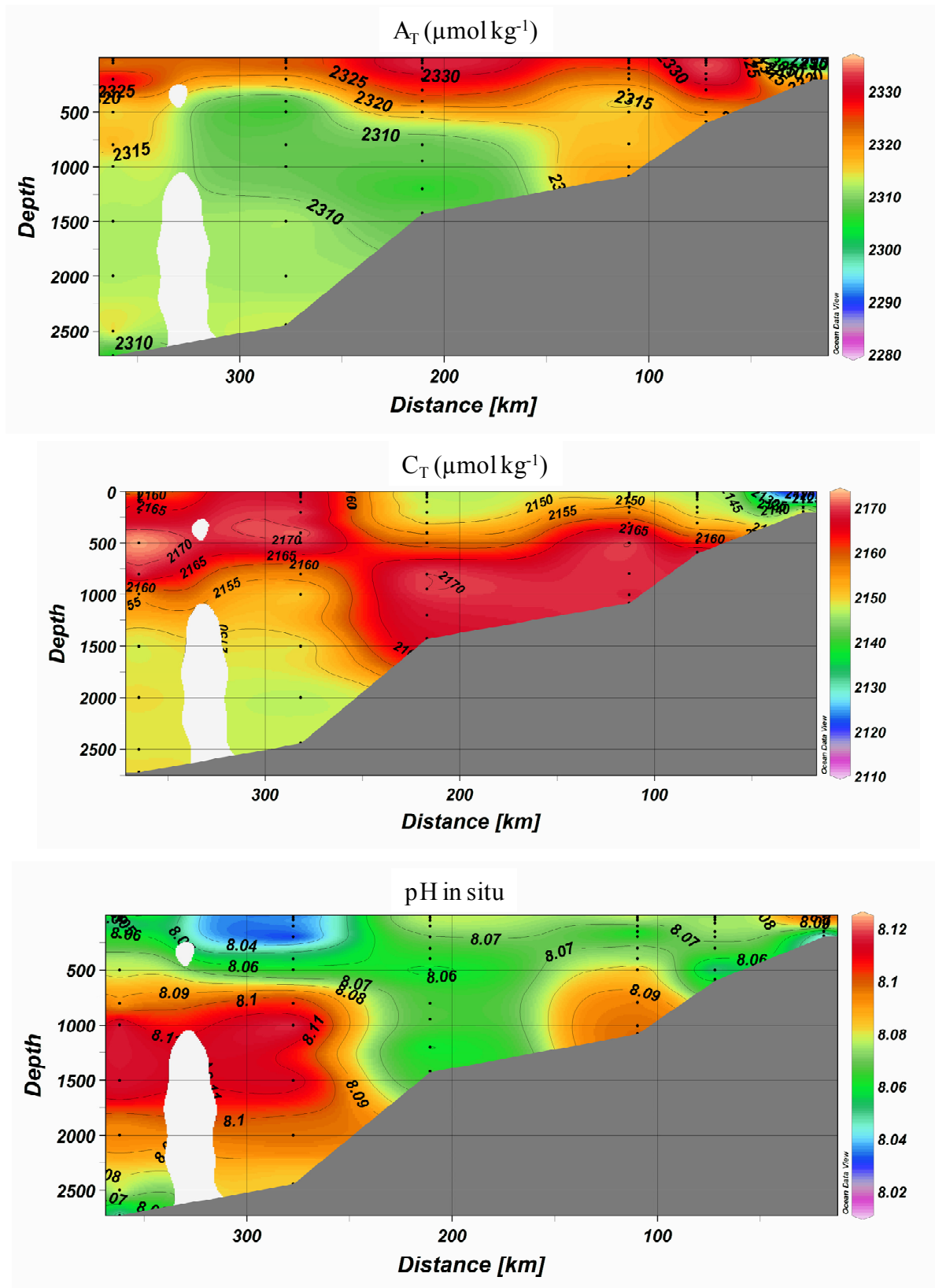


Figur 6. Kart over stasjoner på faste snitt Svinøy-N.

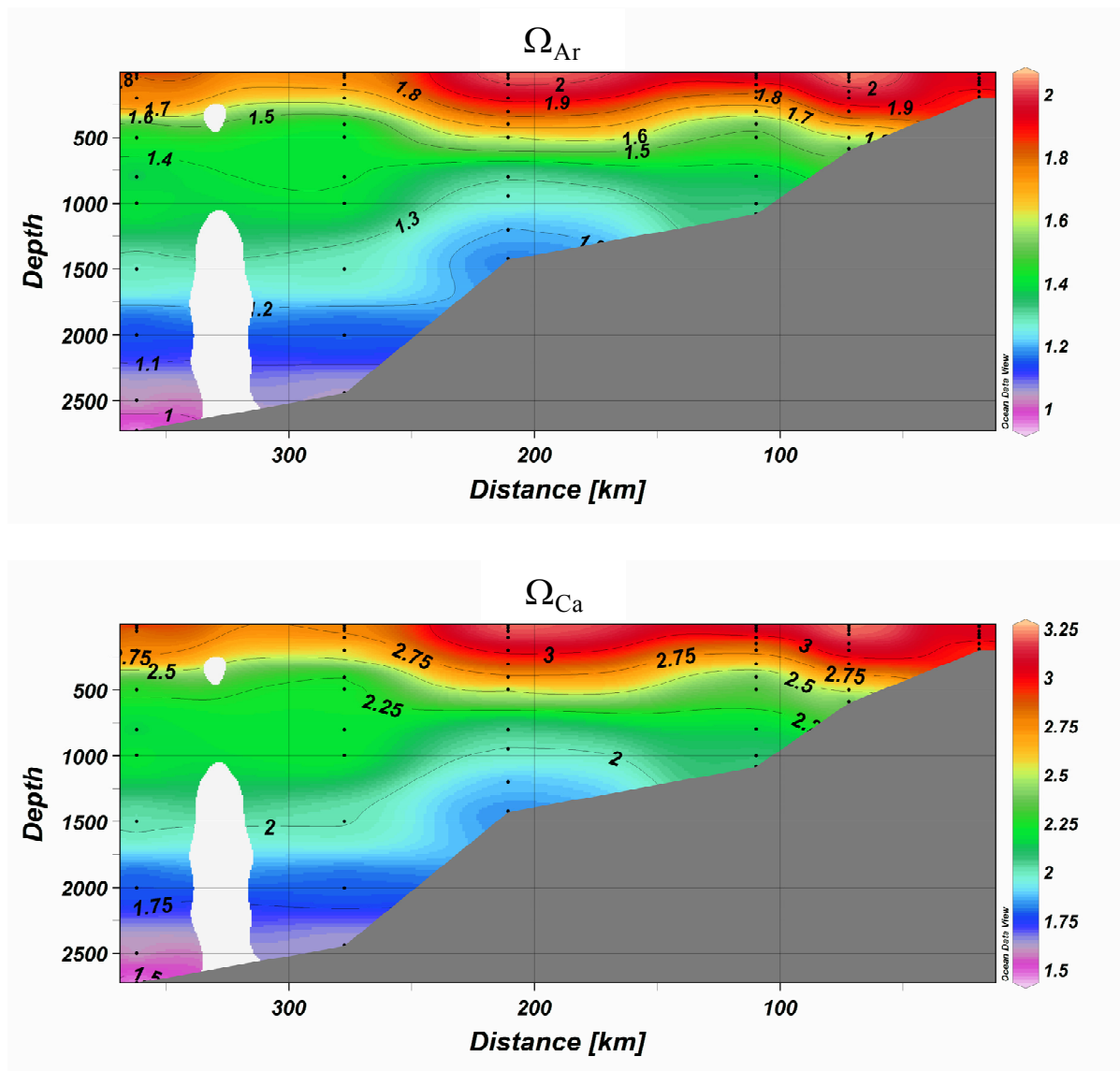
A_T og C_T i januar viser relativt liten endring over snittet (*Figur 7*). De høye A_T verdier mellom 50 km og 250 km ut fra kysten fra overflaten ned til ca. 500 meters dyp viser påvirkning av Atlanterhavsvannet. Denne vannmassen viser C_T verdier på ca. 2150 $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

pH in situ er lavest i overflaten fra ca. 250 km fra kysten med pH som varierer mellom 7.99 og 8.03. Fra kysten til 250 km er pH verdiene relativt homogene i dypet med pH verdier på cirka 8.075. Høyest verdier finnes i dypvannet fra 250 km ut fra kysten. Dette korrelerer med høye A_T verdier og relativt lave C_T verdier i samme området og dyp.

Beregnet aragonitt metning viser verdier nær 1 i dypvannet (laveste verdi: 1.1) og høyere verdier i overflaten på ca. 2 (*Figur 8*). Kalsitt metningen var 1.7 i dypet og 3.2 i overflaten (*Figur 8*).



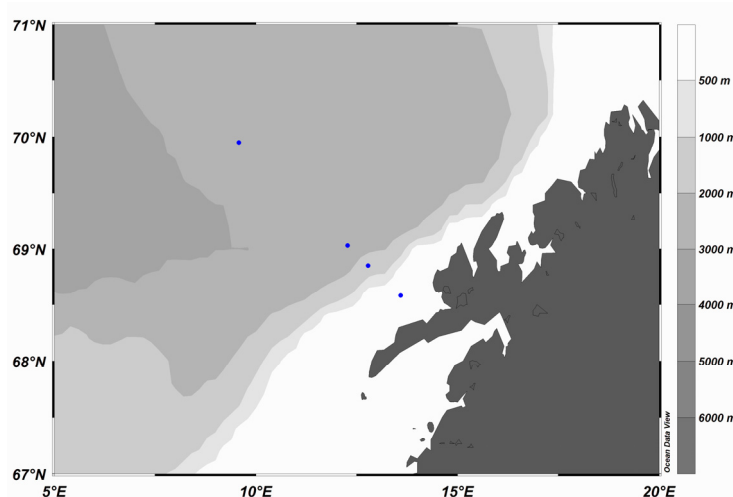
Figur 7. Januar data fra det faste snittet Svinøy-NW. Fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$), b) Totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$), c) og pH in situ.



Figur 8. Aragonitt (Ω_{Ar}) og kalsitt (Ω_{Ca}) metning i januar langs det faste snittet Svinøy-NW.

3.3 Sesongvariasjon i vannsøylen fra Gimsøy-NW

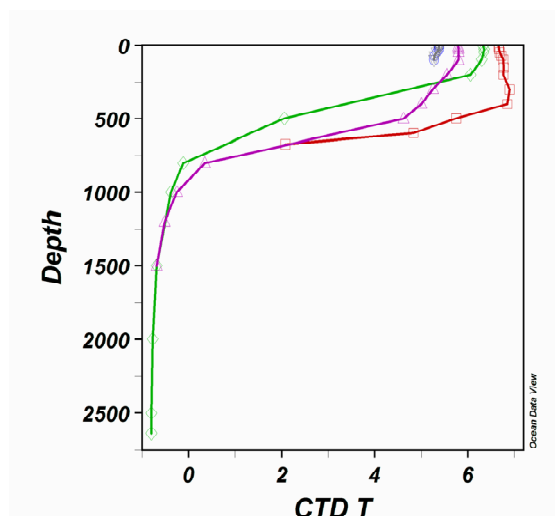
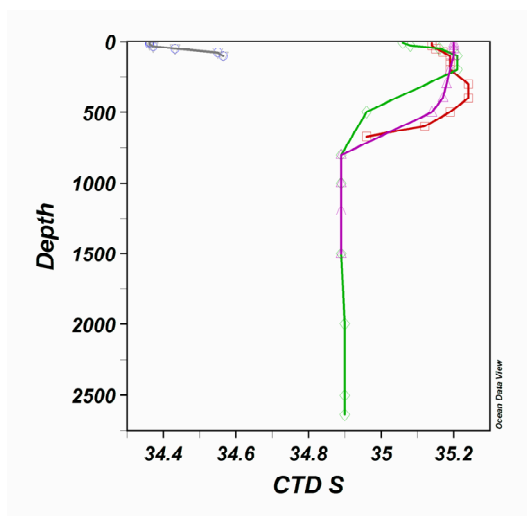
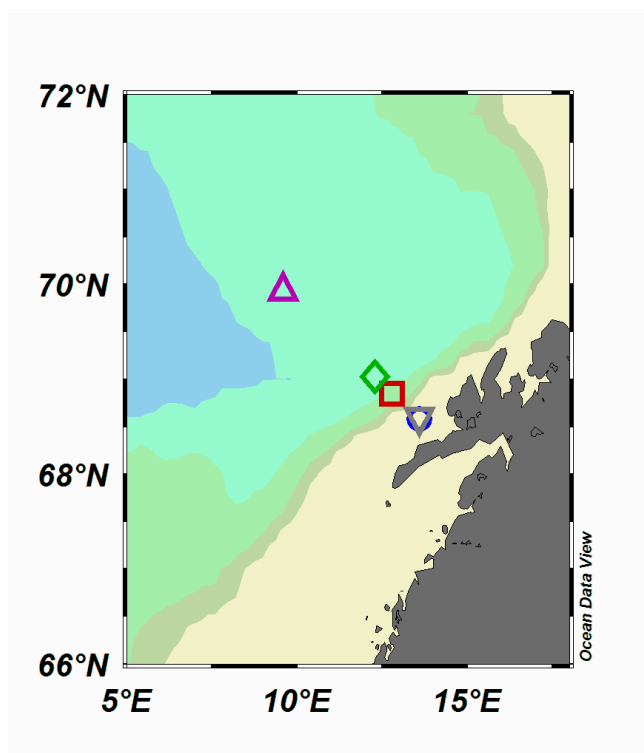
I 2011 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannsøylen på vannprøver fra de faste stasjonene i det hydrografiske snittet nordvest fra Gimsøy. Prøvene ble hentet i april, og august (**Figur 9**). I Tabell 6 viser posisjoner, dyp og stasjonsnummer for alle tokt.

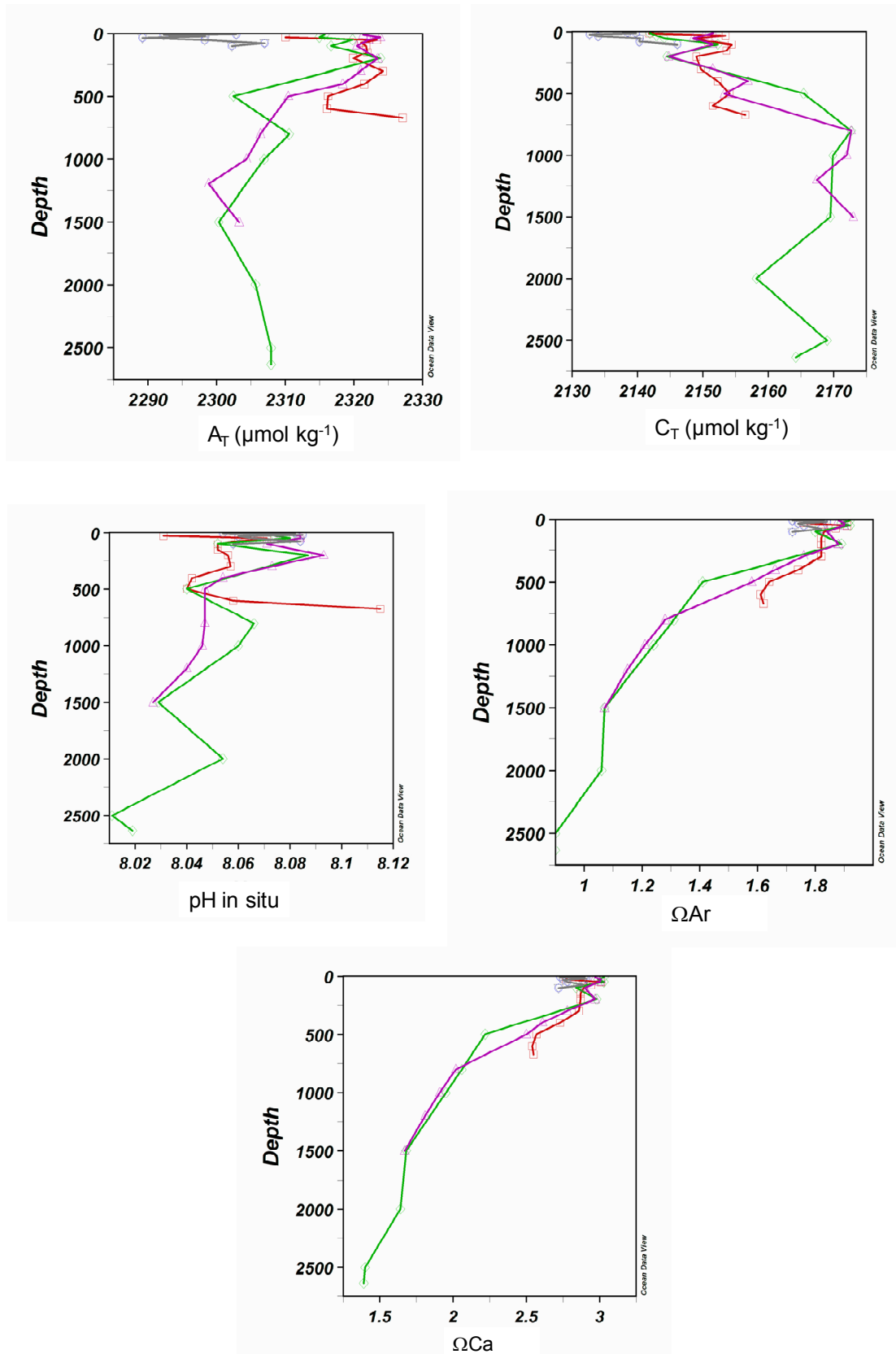


Figur 9. Kart over stasjoner på faste snitt Gimsøy-NW (blå prikker).

I Norskehavet langs Gimsøy NW ser man tydelig innflytelsen av Atlanterhavsvann fra overflaten til 500 meters dyp, med høyeste temperatur og saltholdighet på 500 m. I april viser aragonitt og kalsitt metningen ca. 1.8 og 3 i overflaten og minker med dypet. Ved 1500 meters dyp er $\Omega_{Ar}=1$ og dypere ned ser vi undermetning fra like under 2000 meters dyp (**Figur 10**). Kalsitt viser overmetning i hele vannsøylen, laveste verdi er 1.3 ved 2500 meters dyp (**Figur 11**). **Figur 12** viser sammenligning mellom april og august ved den ytre stasjonen (lilla pyramide på kartet i **Figur 10** kart) for å undersøke sesongvariasjon (**Figur 12**). Her ser vi ingen tydelig sesongvariasjon under 100 meters dyp. I overflaten har A_T og C_T sunket. C_T minket fra 2150 $\mu\text{mol/kg}$ i april til 2065 $\mu\text{mol/kg}$ i august på 10 meters dyp. Dette sammenfaller med en 1psu saltholdighetsminking i overflaten på grunn av fortykning fra kysten. A_T og C_T minskningen skyldes delvis på dette ferskere vannet i august. En del av minskningen skyldes antagelig også på primærproduksjon der vi ser det tydeligst i $p\text{CO}_2$ verdien (ikke vist) som minket med 50 μatm i de øvre 10 meterne. Dette bidrar til en netto økning av aragonittmetningen på ca 0.6 enheter fra april til august i overflaten. Det er ingen tydelig variasjon av Ω_{Ar} dypere ned i vannsøylen.

(Figur 10, figurtekst på neste side.)

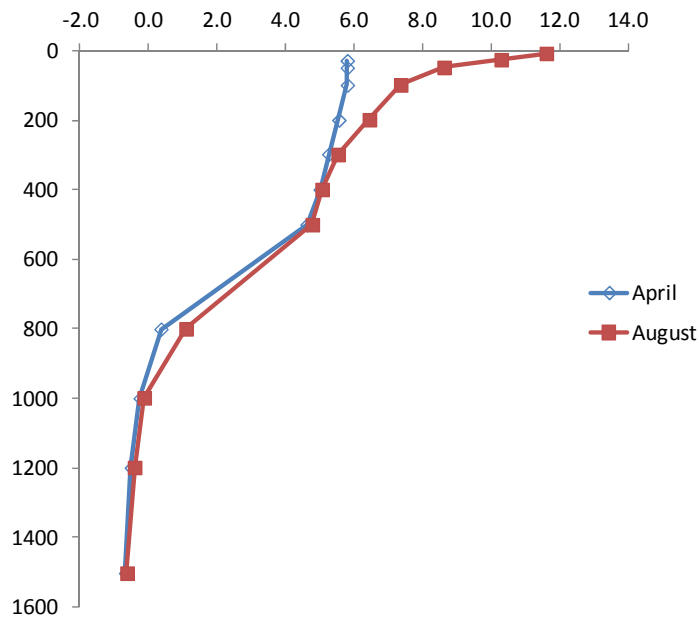




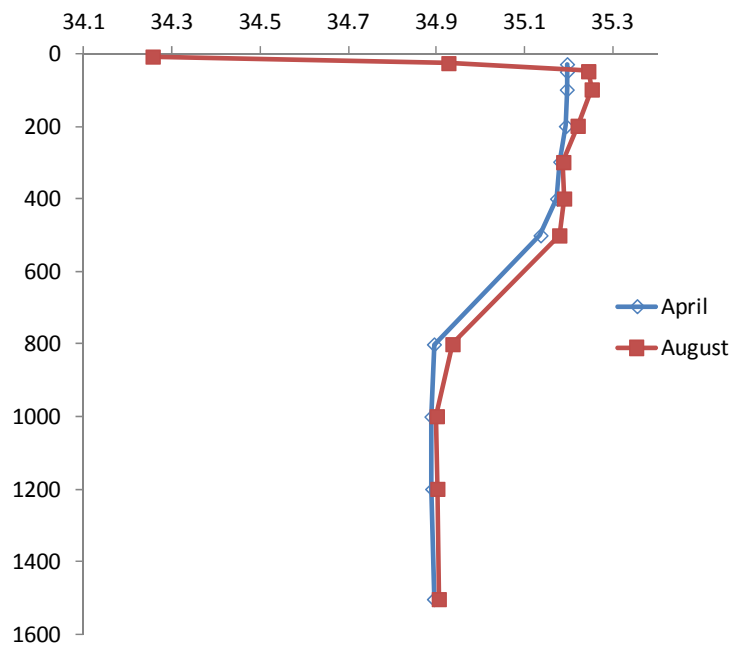
Figur 10. Vannsøyle data fra april 2011 Gimsøy-NW. Kart viser de fire stasjonene og deres fargekode: kyststasjon grå triangel og lengst ut lilla triangel. Fra venstre til øvre rad: temperatur og saltholdighet, mellom rad 1: A_T ($\mu\text{mol kg}^{-1}$), C_T ($\mu\text{mol kg}^{-1}$), : mellom rad 2: pH in situ og Ω_{Ar} og nederste rad Ω_{Ca} . Stasjoner er markerte med ulike farger som vises i kartet.

I august tas det prøve fra to stasjoner, den nærmest kysten og den lengst i NW. Nedre rad i **Error! Reference source not found.** viser sammenligning mellom april og august ved den ytre stasjonen.

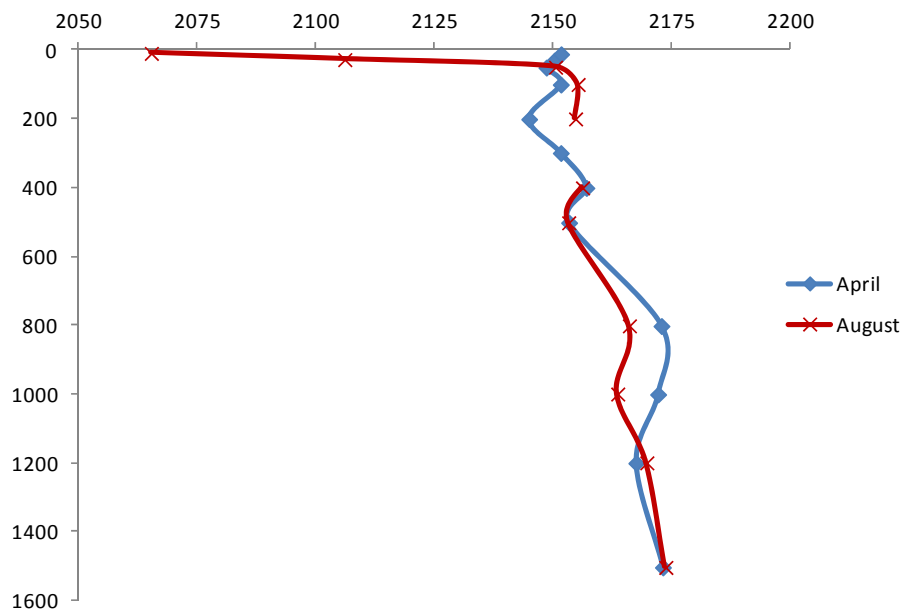
Figur 11 a Temperatur (se figurtekst på neste side).



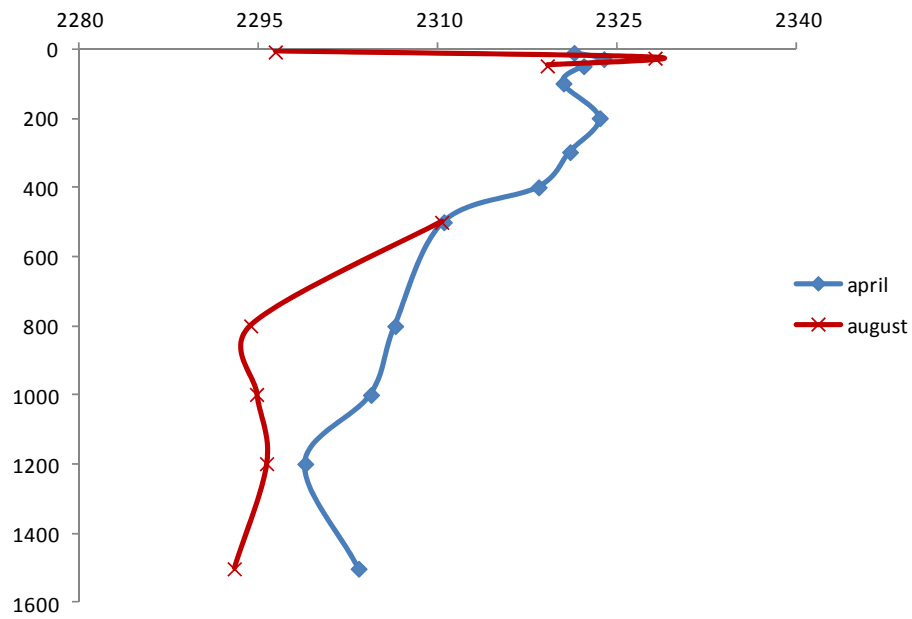
Figur 11 b Saltholdighet



Figur 11 c CT

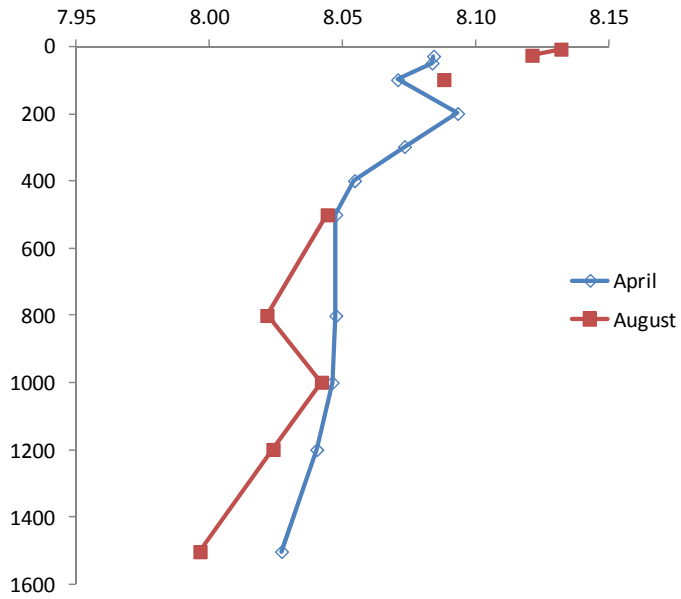


Figur 11 d AT

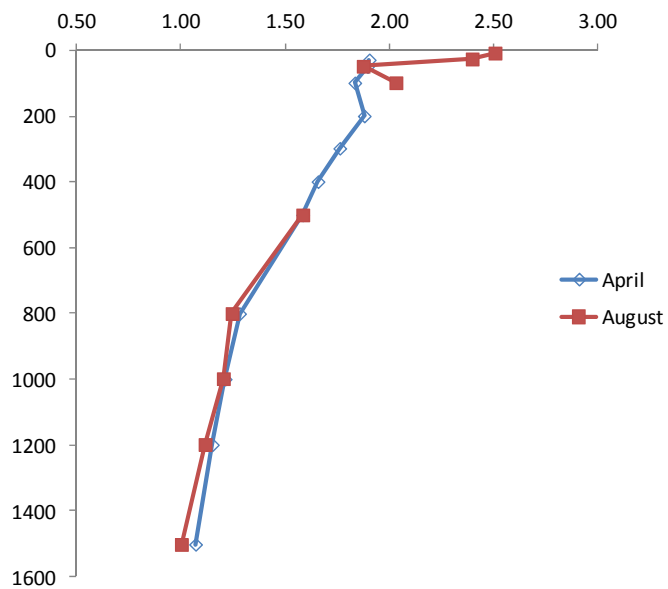


Figur 11. Sammenligning av data fra april (blå) og august (brun) a) S, b) T, c) C_T , d) A_T vid stasjon nummer 271/584 Gimsøy-NW.

Figur 12 e pH in situ



Figur 12 f Ω_{Ar}

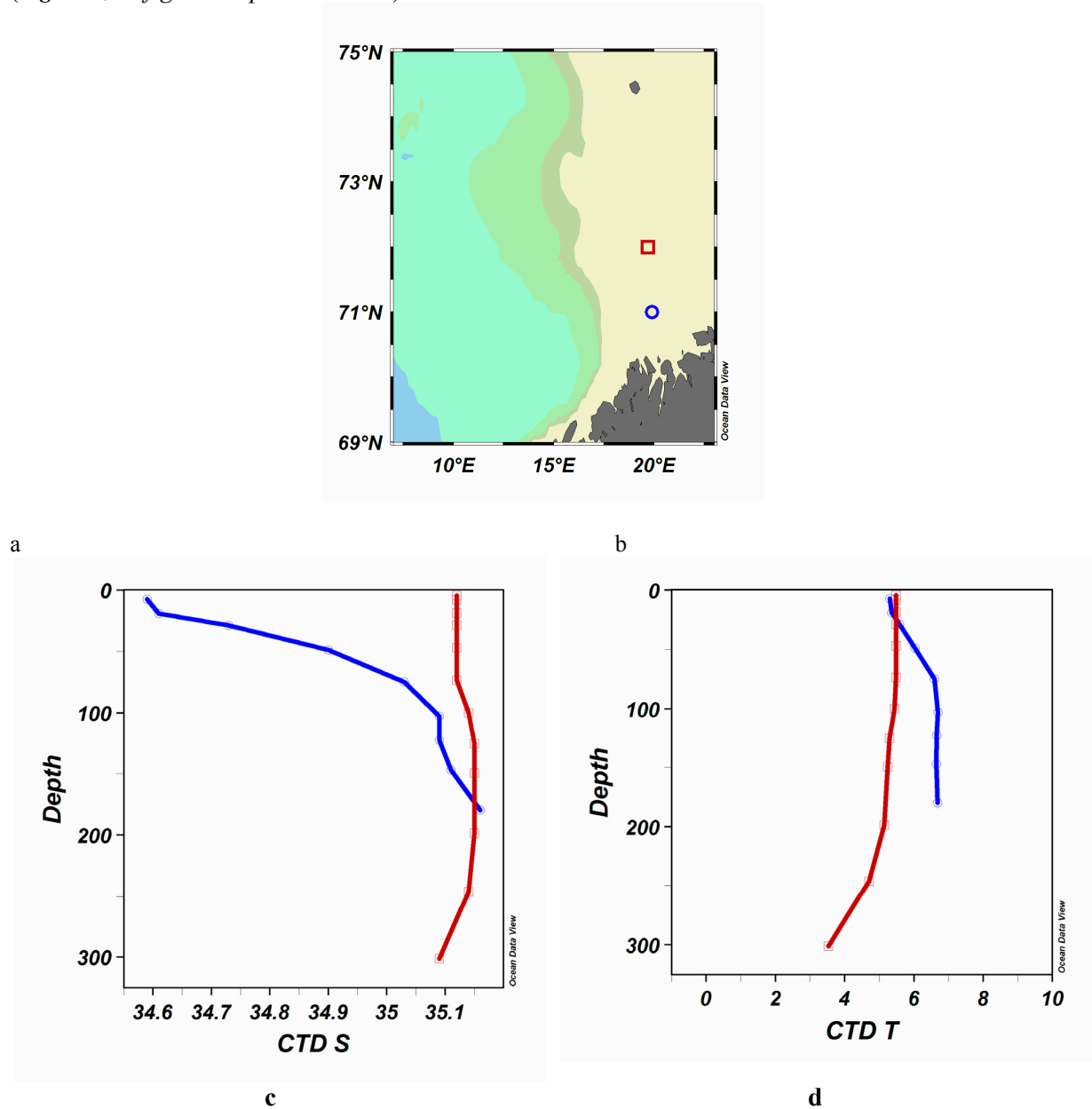


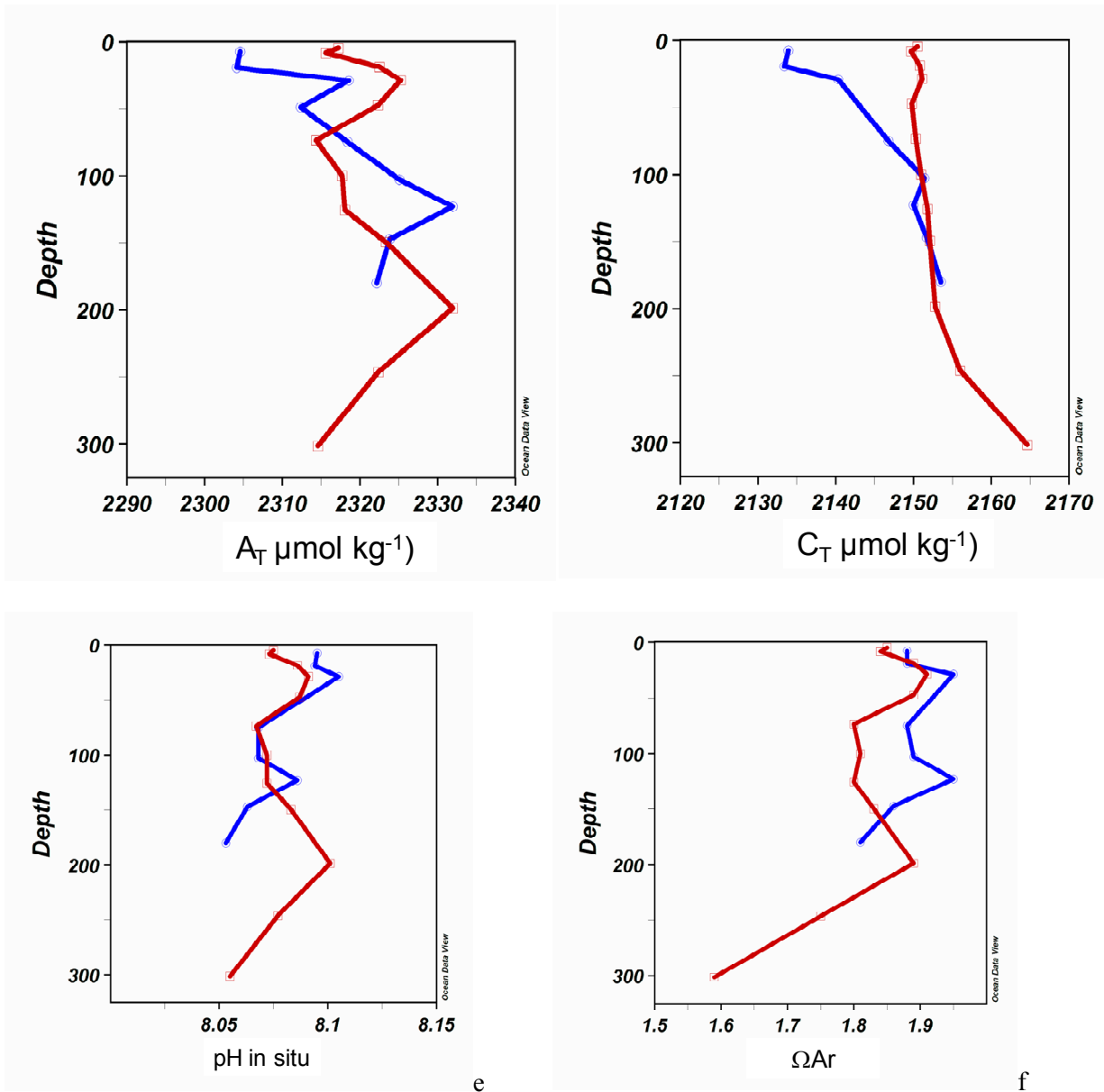
Figur 12 Sammenligning av data fra april (blå) og august (brun) e) pH in situ, og f) Ω_{Ar} ved stasjon nummer 271/584 Gimsøy-NW.

3.4 Vannsøylen Fugløya-Bjørnøya

I 2011 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannsøylen på vannprøver fra de faste stasjonene i det hydrografiske snittet mellom Fugløya-Bjørnøya (*Figur 13*). Prøvene ble hentet i januar.

(*Figur 13*, se figurtekst på neste side.)





Figur 13. Januar data fra to stasjoner i det sørlige Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya (kart), fra venstre øverst til høyre: a) saltholdighet, b) temperatur, c) A_T , d) C_T , e) pH in situ og f) Ω_{Ar} .

I det sørlige Barentshavet ser vi tydelig skille i C_T og A_T mellom den mer kystnære stasjonene (**Figur 13**, blå) med relativt ferskt vann i overflaten, og den ytre stasjonen (**Figur 13**, rød), der C_T og A_T er lavest i den kystnære stasjonen i øvre 100 m, grunnet av ferskvannsinnehold. Vid stasjonen i nord er C_T relativt homogen og er ca 2155 $\mu\text{mol/kg}$ fra overflaten ned till 250 meters dyp og øker til ca 2165 $\mu\text{mol/kg}$. A_T viser større variasjon med høye verdier i overflaten og i dypet på stasjonen i nord, på grunn av større påvirkning av salinitet og avrenning fra elver ved kysten. Dette medfører at Ω_{Ar} er lavt i nord og metningen er mellom 1.95 till 1.6 på 300 meters dyp. I Norskehavet befinner $\Omega=1.6$ seg på 300 meters dyp, og i Nordsjøen på ca 200 meters djup.

3.5 Overflatedata sommer Kirkenes-Bergen

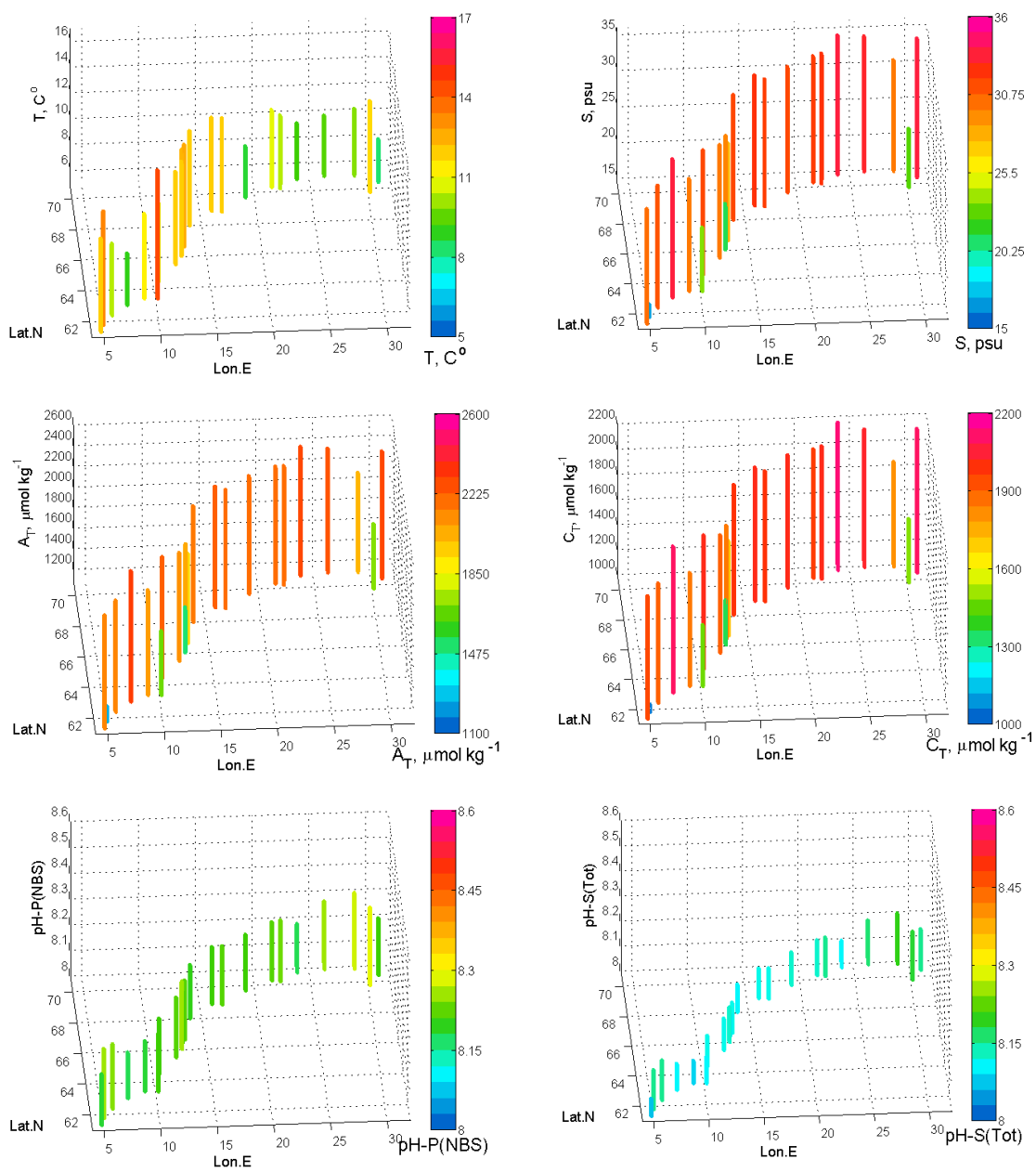
Målingene mellom Kirkenes og Bergen (**Figur 16**) er utført av NIVA med *MS Trollfjord* i 2011. Det er målt A_T , C_T , pH med spektrofotometrisk metode (pH-S(Tot)) og pH med potensiometrisk metode (pH-P(NBS)). I tillegg er pH beregnet ((pH-C(Tot)) som funksjon av T, S, C_T , og A_T . I figurer og tabeller presenteres alle pH-verdier for in situ temperatur og trykk. pH-C (Tot) er beregnet med samme metode som IMR som gjør våre data sammenlignbare med de øvrige data i denne rapporten

Den generelle gjennomsnittlige forskjell mellom pH-P(NBS) og pH-S(Tot) var omtrent 0.10-0.14 som tilsvarer de eksisterende estimater (Zeebe, Wolf-Gladrow, 2001). Større forskjeller mellom målt og beregnet pH skyldes usikkerheter i metoden f.eks. en kort kyvettelengde, avvik fra den anbefalte temperaturen på grunn av bruk av et vannbad, men også på grunn av dissosiasjonskonstant for sjøvann ved beregninger for vann med lav saltholdighet.

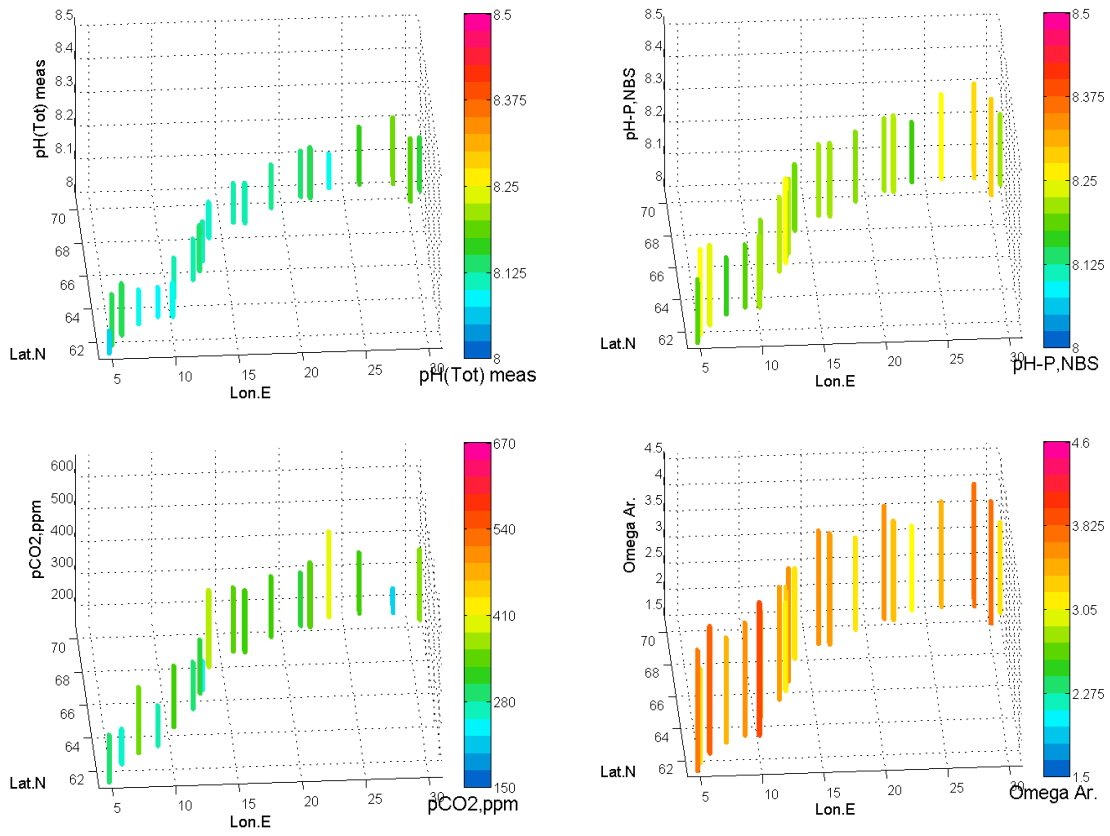
I 2011 ble det utført målinger på ett sommertokt langs Norskekysten mellom Bergen og Kirkenes. Fordelingen av havforsurelingsvariablene under dette sommertoktet i juli er vist i **Figur 14** og **Figur 15**. Variasjonen av alle parametere reflekterer påvirkningen av kystvann med lav salinitet på enkelte stasjoner. Man bør legge spesiell merke til forskjellen mellom målt pH(Tot) og beregnet pH(Tot) ved 62°N og 5°E. Saliniteten er nær 16.4 psu og målt A_T og C_T er hhv 1227 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ og 1043 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Beregningen med CO2SYS pH-C(Tot) var 8.501, som er signifikant høyere enn de observerte på hhv 8.147 (Tot) og 8.259 (NBS).

Beregnet metningen for kalsitt (Ω_{Ca}) og aragonitt (Ω_{Ar}) lå i området 3-4.2 og 1.9-2.5 langs kysten. Lave verdier reflekterer påvirkningen av kystvann med lav salinitet. (**Figur 14** og **Figur 15**).

På toktet ble også TOC og POC målt og resultatene er vist i tabellene i vedlegg. Beregnet DOC (TOC-POC) lå i området 100-300 $\mu\text{mol L}^{-1}$ og POC var 9-30 $\mu\text{mol L}^{-1}$ med høyre konsentrasjoner i nord.



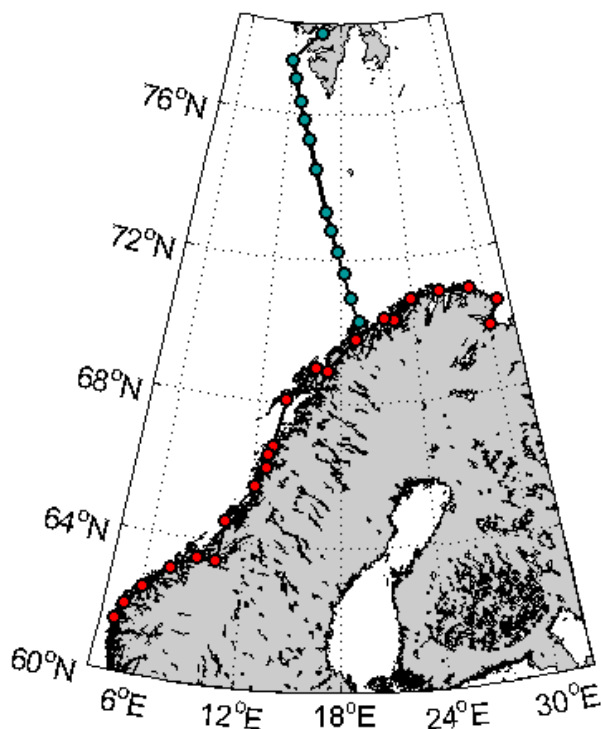
Figur 14. Transektet Bergen-Kirkenes av målt temperatur, salinitet, A_T , C_T , pH-P(NBS) og pH-S(Tot) i juli 2011 (dybde nivå 3-4 m).



Figur 15. . Transektet Bergen-Kirkenes av beregnet pH-C(Tot), pCO₂, Ω_{Ca} og Ω_{Ar} i juli 2011 (dybde nivå 3-4 m).

3.6 Overflatedata Tromsø-Longyearbyen

Målingene (**Figur 16**) ble gjennomført på transektet Tromsø - Longyearbyen med cargo-fartøyet *MS Norbjørn*. Det er gjennomført ett vintertokt langs norskekysten med Hurtigruteskipet *MS Trollfjord* mellom Kirkenes og Tromsø og ett sommertokt. Disse data er kombinert med data fra Svalbardsnittet for stasjoner >69.5 °N (**Figur 17** og **Figur 18**)



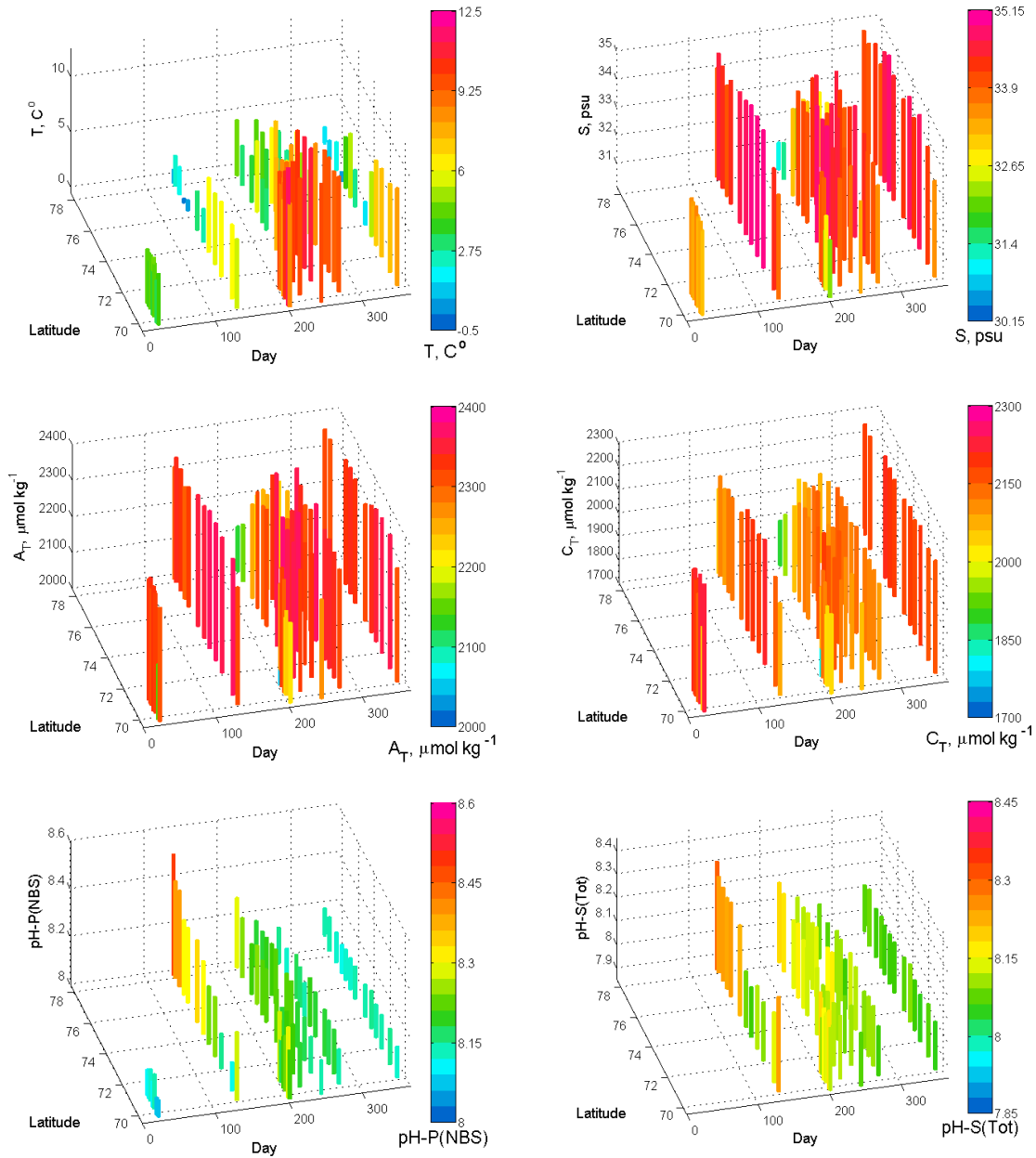
Figur 16. Stasjoner for Barentshavet og Kirkenes-Bergen i 2011.

Resultatene av målt temperatur, salinitet, A_T , C_T , pH-S(Tot) og pH-P(NBS) er vist i **Figur 17**. Beregnet pH-C(Tot) og målt pH-S(Tot) viser god overenstemmelse.

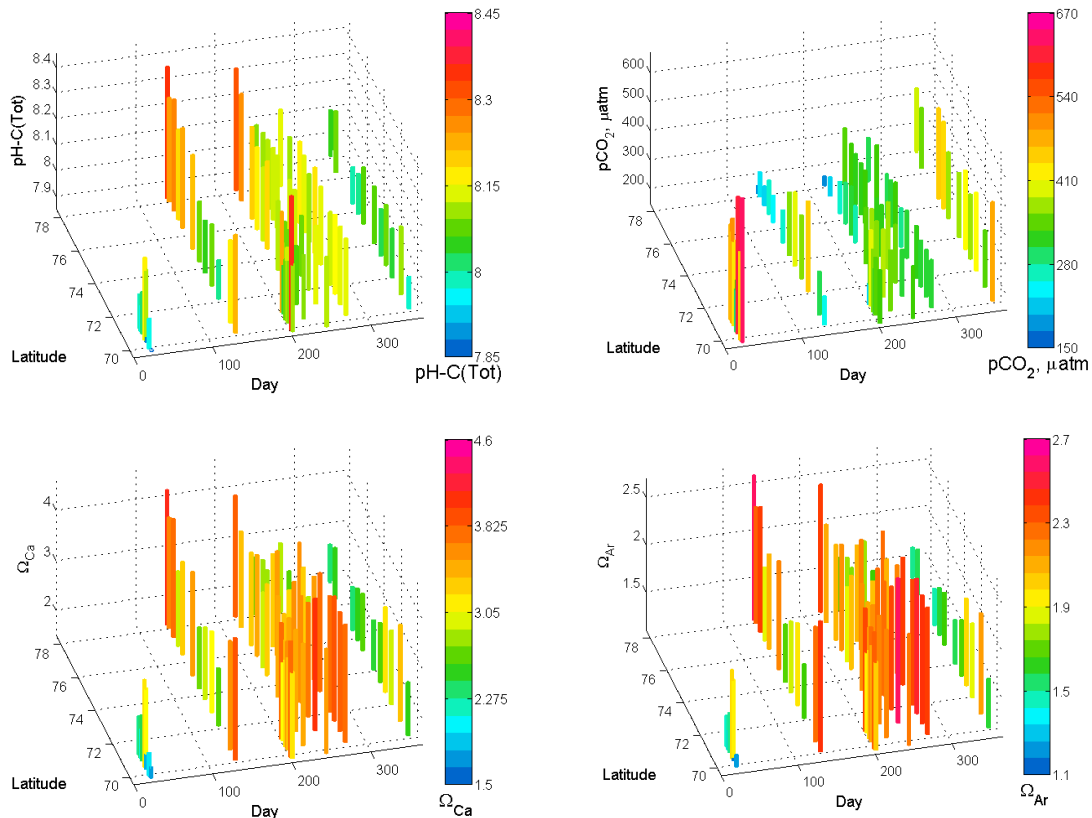
Observasjonene bekrefter målingene fra 2010. Vinterverdiene (Desember 2010) av pH var karakterisert med omtrent en homogen fordeling langs hele transektet. Under våren, var pH verdiene høyere som kan forklares med en større biologisk aktivitet og det var signifikante variasjoner langs transektet. Dette kan selvsagt forklares av at målingene gjøres dels både under dag og natt, og at det er ulike vannmasser. Som i 2010 ble maksimumsverdiene observert i Svalbardområdet i mai (opp mot 8.5), sammenlignet med 8.10-8.20 i de sentrale områder langs Barentshavsåpningen. Dette kan forklares med oppblomstring av planteplankton som er svært intensiv ved Svalbard i denne perioden. I desember var pH-S(Tot) omtrent 8 som også var tilfelle i januar for kysten (**Figur 17**).

Metningen til Aragonitt (Ω_{Ar}) lå mellom 1.07-2.62 med minimums verdier i kystområdet mellom Kirkenes og Tromsø i januar (1.07-2.03), mens Ω_{Ar} var 1.49-2.52 i desember, og karakterisert av en stor variasjon fra 1.67 til 2.62 i den varme perioden av året med maksimums verdier nær kysten som skyldes en økt biologisk produksjon.

Den sesongmessige variasjonen av karbonat systemparametere gjenspeiler det som ble observert i 2010 (Yakushev, Sørensen, 2012).



Figur 17. Transektet Tromsø-Svalbard kombinert med ett januar kysttokt mellom Tromsø og Kirkenes. Målt temperatur, salinitet, A_T , C_T , $pH-P(NBS)$ og $pH-S(Tot)$ i 2011 (dybde nivå 3-4 m)..



Figur 18. Transektet Tromsø-Svalbard kombinert med ett januar kysttokt mellom Tromsø og Kirkenes. Beregnet $pH-C$ (Tot), pCO_2 , Ω_{Ca} og Ω_{Ar} i 2011 (dybde nivå 3-4 m).

3.7 Underveis pCO_2 data i Norskehavet

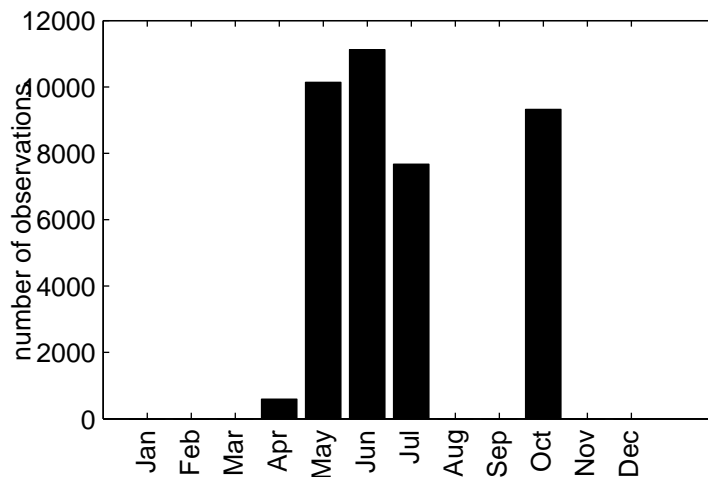
I 2011 ble det målt pCO_2 på R/V G.O.Sars hovedsakelig i mai, juni, juli og oktober (**Figur 19**). Alle disse månedene er sommermånedene med til dels sterk biologisk aktivitet, men siden målingene stort sett er gjort etter våroppblomstringen i Norskehavet så er det ikke særlig stor variabilitet mellom månedene – og noe høyere pCO_2 i oktober og noe lavere i juni (ikke vist). Det er derimot til dels stor romlig variabilitet i disse dataene (**Figur 20**). Dette skyldes at de forskjellige vannmassene i Norskehavet ikke bare er forskjellige i temperatur og saltholdighet, men er også kjemisk forskjellige. Det er for eksempel generelt sett høyere pCO_2 i det varme vannet som kommer fra Nord-Atlanteren enn i de mer kystnære vannmassene. Dette kommer av at det varme vannet stammer fra tropene hvor vann med naturlig høyt CO_2 innhold (pga. remineralisering) kommer opp fra dyphavet og tar opp betydelige mengder antropogent karbon før det transporteres nordover med Golfstrømsystemet (se f. eks. Anderson & Olsen, 2002 for en detaljert beskrivelse). Kystvannet derimot inneholder mye ferskvann som generelt har lavere CO_2 innhold. Det er også høyere pCO_2 sør i Norskehavet enn lenger nord. Til dels er dette fordi det varme CO_2 holdige vannet som kommer fra Nord-Atlanteren blir utvannet av mindre CO_2 holdig kystvann på vei nordover. Hovedgrunnen er derimot temperaturendringen. Vannet blir betydelig avkjølt på vei nordover, noe som reduserer pCO_2 slik at havet kan ta opp mer CO_2 fra atmosfæren. Dette vannet tar derimot ikke opp betydelige mengder CO_2 fra atmosfæren i Norskehavet, mest sannsynlig fordi dette vannet (fra Nord-Atlanteren) transporteres igjennom Norskehavet og Barentshavet til Arktis på svært kort tid. Merk spesielt at området rett nord for Færøyene har høy pCO_2 , rundt 370 μatm . Dette vannet har samme pCO_2 signal som vann i Den Nordatlantiske subpolare virvelen sør for Island (ikke vist). Målingene lengst vest i Norskehavet har

betydelig lavere $p\text{CO}_2$, noe som tyder på at her er en del innflytelse av Arktiske vannmasser fra Grønlandshavet.

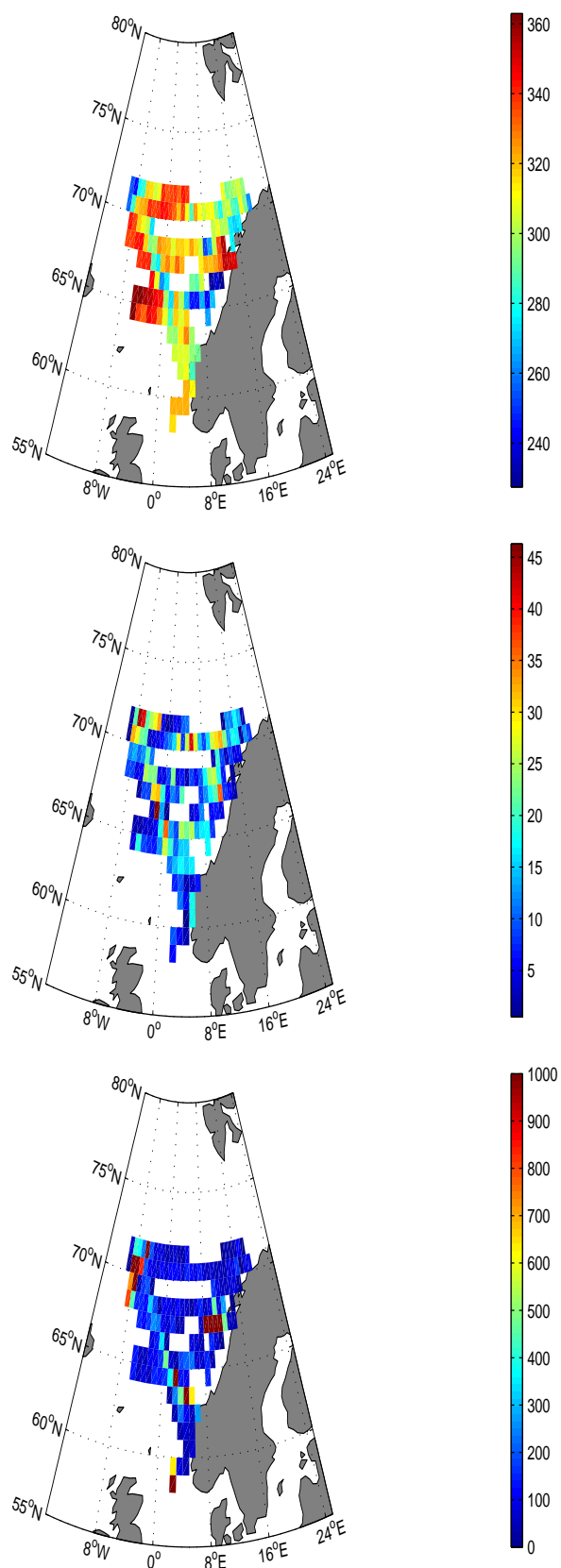
Figur 20 viser $p\text{CO}_2$ i Norskehavet i 2011. Det er blitt tatt gjennomsnitt av alle data i $1^\circ \times 1^\circ$ celler. Øverst er gjennomsnitt av $p\text{CO}_2$, i midten er standardavviket og nederst er antall data punkt i hver celle. De aller fleste $1^\circ \times 1^\circ$ celler har mindre enn 300 data punkt.

Som det fremgår av **Figur 20** så er $p\text{CO}_2$ i Norskehavet stort sett mellom 300 og 340 μatm om sommeren, med vanlig standardavvik på 10-20 μatm . Standardavviket er noe høyere i celler med lite data.

Undermetningen i Norskehavet er stor nok til å indikere at området er et betydelig karbonsluk på sommeren, gitt tilstrekkelig turbulens i grenselaget mellom hav og atmosfære. Derimot viser både direkte målinger av CO_2 flukser (Lauvset *et al.*, 2011) og publiserte karbonbudsjett at opptaket fra atmosfæren er beskjedent, og at det betydelige innholdet av antropogent CO_2 i De Nordiske havene for det meste er fraktet inn med havstrømmene (se f.eks Jeansson *et al.* 2011).



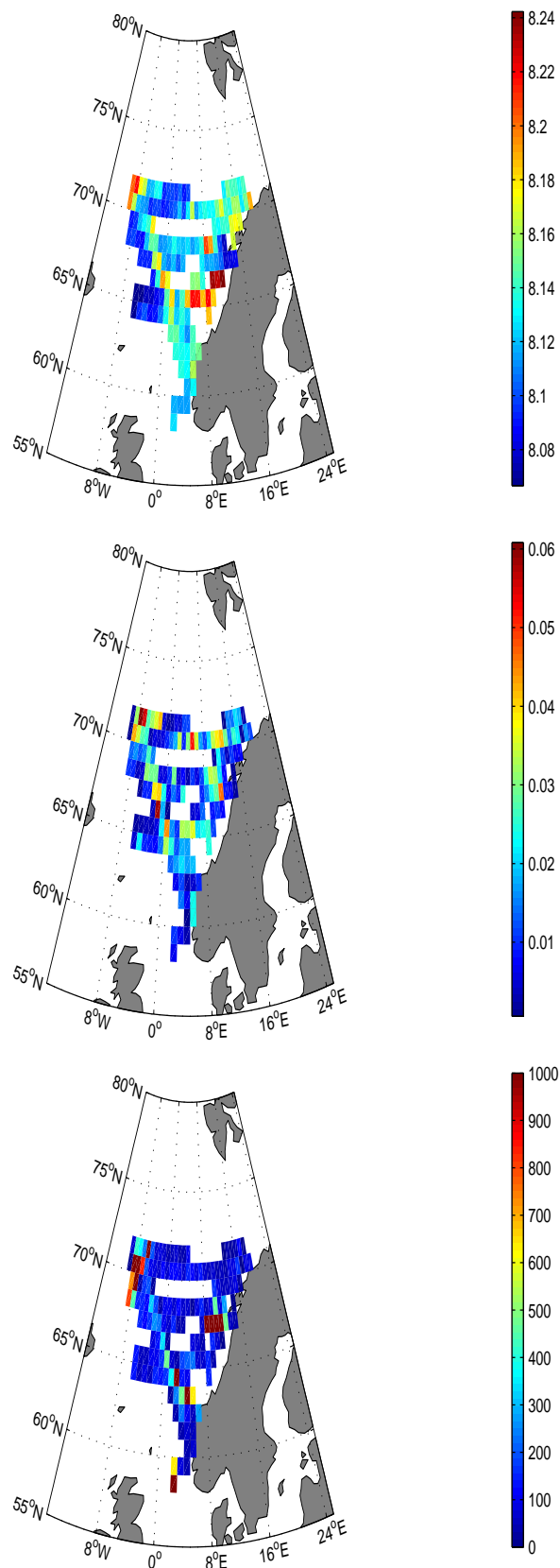
Figur 19. Figuren viser hvor mange data punkt det finnes i hver måned av 2011.



Figur 20. Figuren viser gjennomsnittlig pCO₂ i 1° x 1° celler i Norskehavet i 2011. Øverst er gjennomsnitt av pCO₂, i midten er standardavviket, og nederst er antall data punkt i hver celle.

pCO₂ er bare en parameter av flere som kan måles for å overvåke endringer i karbonsystemet i havet. Vi har brukt våre observerte pCO₂ verdier fra 2011 til å beregne pH i 2011 (**Figur 21**). pH er blitt beregnet på samme måte som beskrevet i seksjon 2.4, bortsett fra at vi har brukt pCO₂ og A_T. A_T er i dette tilfellet estimert ut fra et lineært forhold mellom A_T og overflate saltholdighet (SSS) (Nondal *et al.*, 2009). Denne metoden er ikke like nøyaktig som direkte målinger, men siden vi foreløpig ikke har systemer for direktemålinger av pH på samme frekvens som pCO₂ så gir beregnet pH et overblikk over pH nivået i Norskehavet på sommeren i 2011. Det har aldri tidligere blitt publisert figurer som viser pH i Norskehavet, så **Figur 21** er med på å øke vår kunnskap om pH i Norskehavet om våren/sommeren.

pH er lav der pCO₂ er høy slik at kystnære områder har høyere pH enn det åpne Norskehavet. Det må legges til at med unntak av området rundt Vestfjorden i Lofoten så er alle de kystnære områdene observert i mai, mens de åpne havområdene er observert senere på sommeren (Vestfjorden er kun observert i oktober). Dette har en viss innvirkning på pH nivået (pga. biologisk aktivitet). Det er høyest standardavvik i de cellene som har mest data, noe som tyder på at det er til dels stor variabilitet i pH over små områder og korte tidsrom (**Figur 21**). Vi har her kun ett år med observasjoner og kan derfor ikke si noe om endringer av havforsuring med tiden i Norskehavet, kun gi et inntrykk av status per 2011.



Figur 21. Figuren viser gjennomsnittlig pH i $1^\circ \times 1^\circ$ celler i Norskehavet i 2011. Øverst er gjennomsnitt av pH, i midten er standardavviket, og underst er antall data punkt i hver celle. De aller fleste $1^\circ \times 1^\circ$ celler har mindre enn 300 data punkt.

4. Diskusjon og konklusjon

4.1 CO₂ systemet i Norskehavet basert fra historiske data

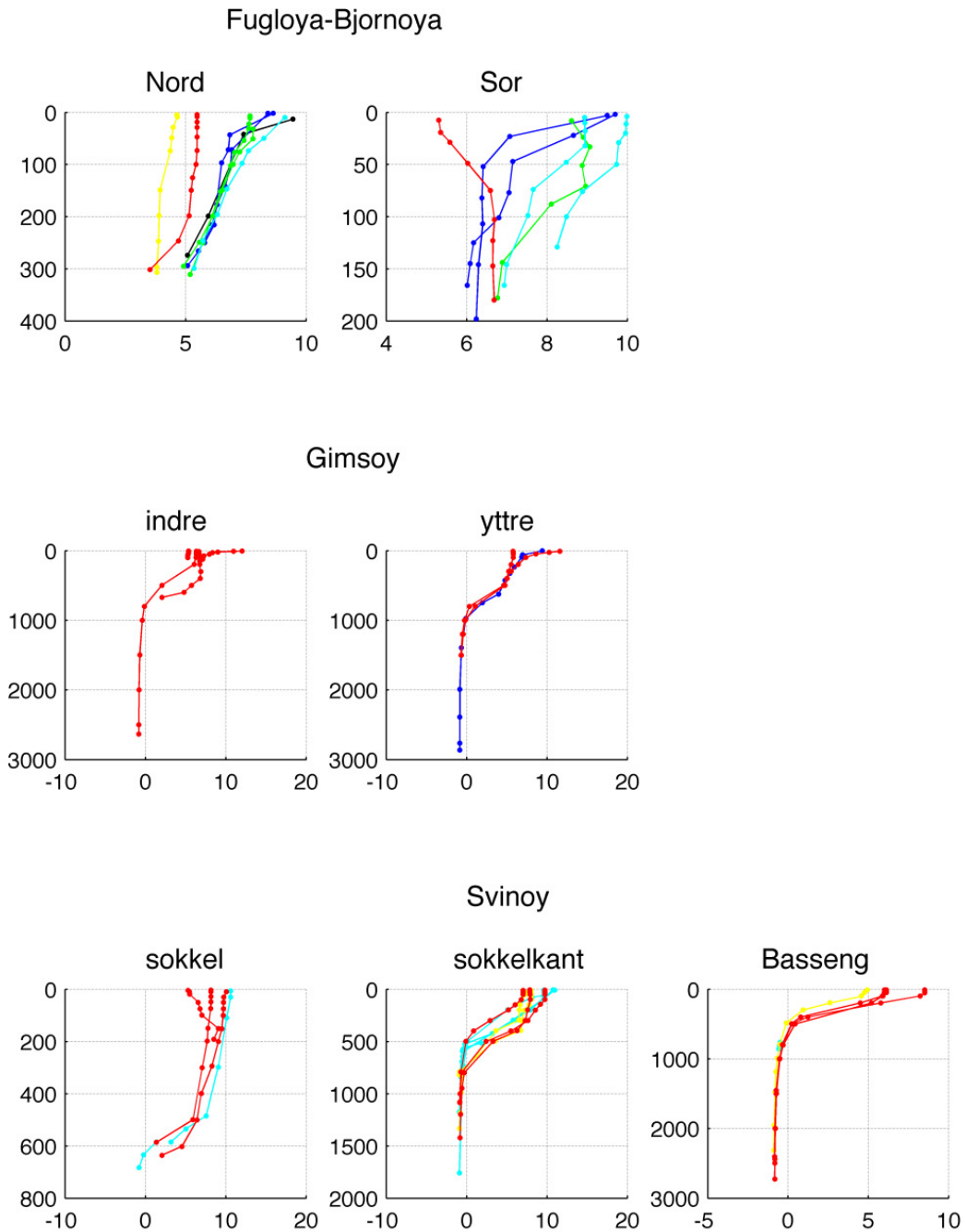
I *Figur 22* til *Figur 30* sammenlikner vi dataene målt på Havforskningens hydrografiske seksjoner i 2011 med historiske data fra CARINA databasen (Olsen *et al.*, 2009). Lokalitetene ble valgt ut fordi de representerer hydrografisk avgrensede områder der det er tilgang på historiske data.

Data (hhv: temperatur, salt, C_T , A_T , pH, Ω_{Ar} , og Ω_{Ca}) samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan). C_T og A_T dataene er målte, mens pH og Ω_{Ca} og Ω_{Ar} er beregnet fra disse, ved hjelp av likevektskonstantene fra Merbach (1973), tilpasset av Dickson og Millero (1987).

Tabell viser måned da sammenligningen er gjort for de ulike årene.

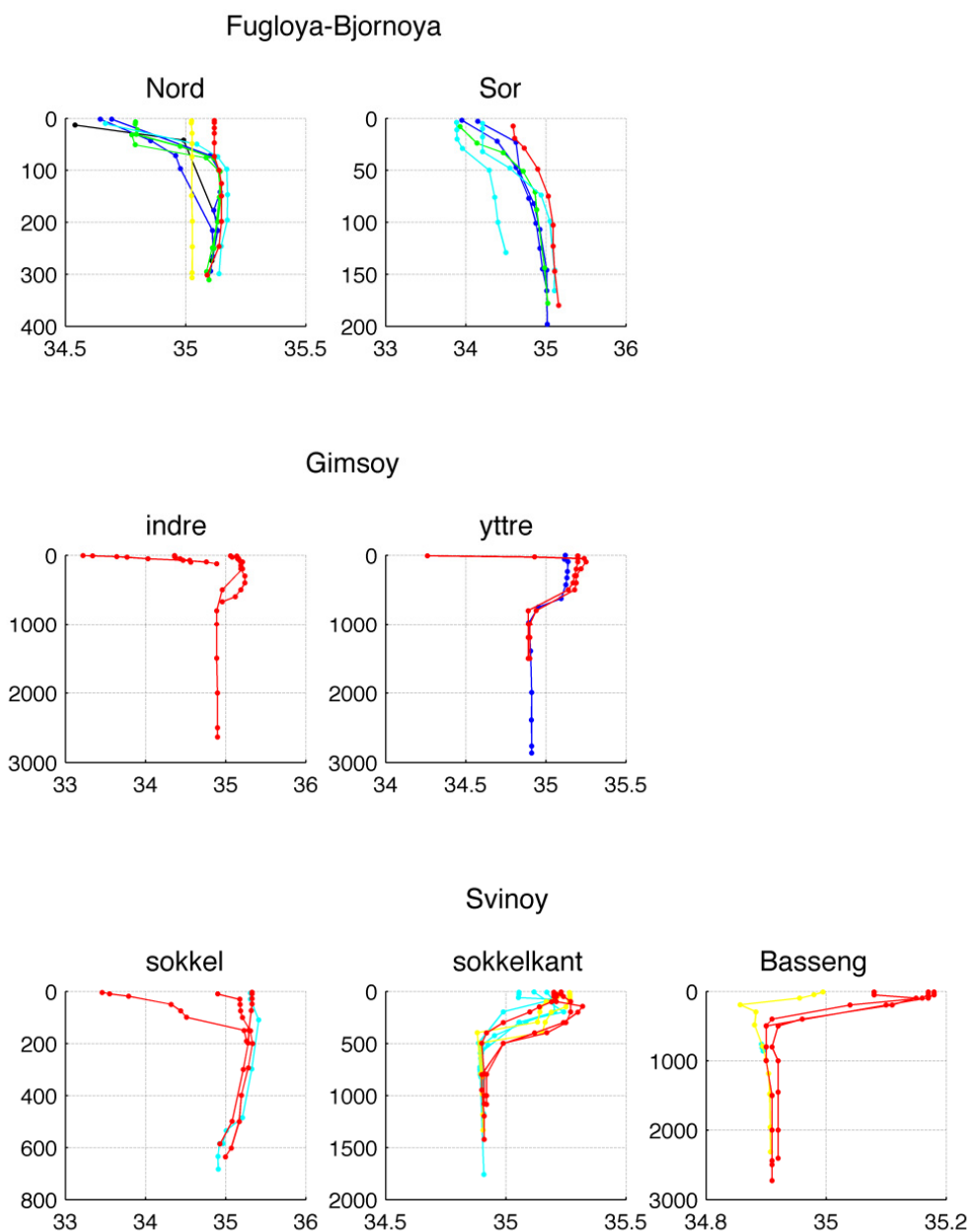
År	Fugløy	Svinøy	Gimsøy
1997	mai	april	
1999	oktober		
2001	august	mai	
2002	juni		juni
2003	september	oktober	
2011	januar	januar, november	april, august

Temperatur



Figur 22. Temperaturdata samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

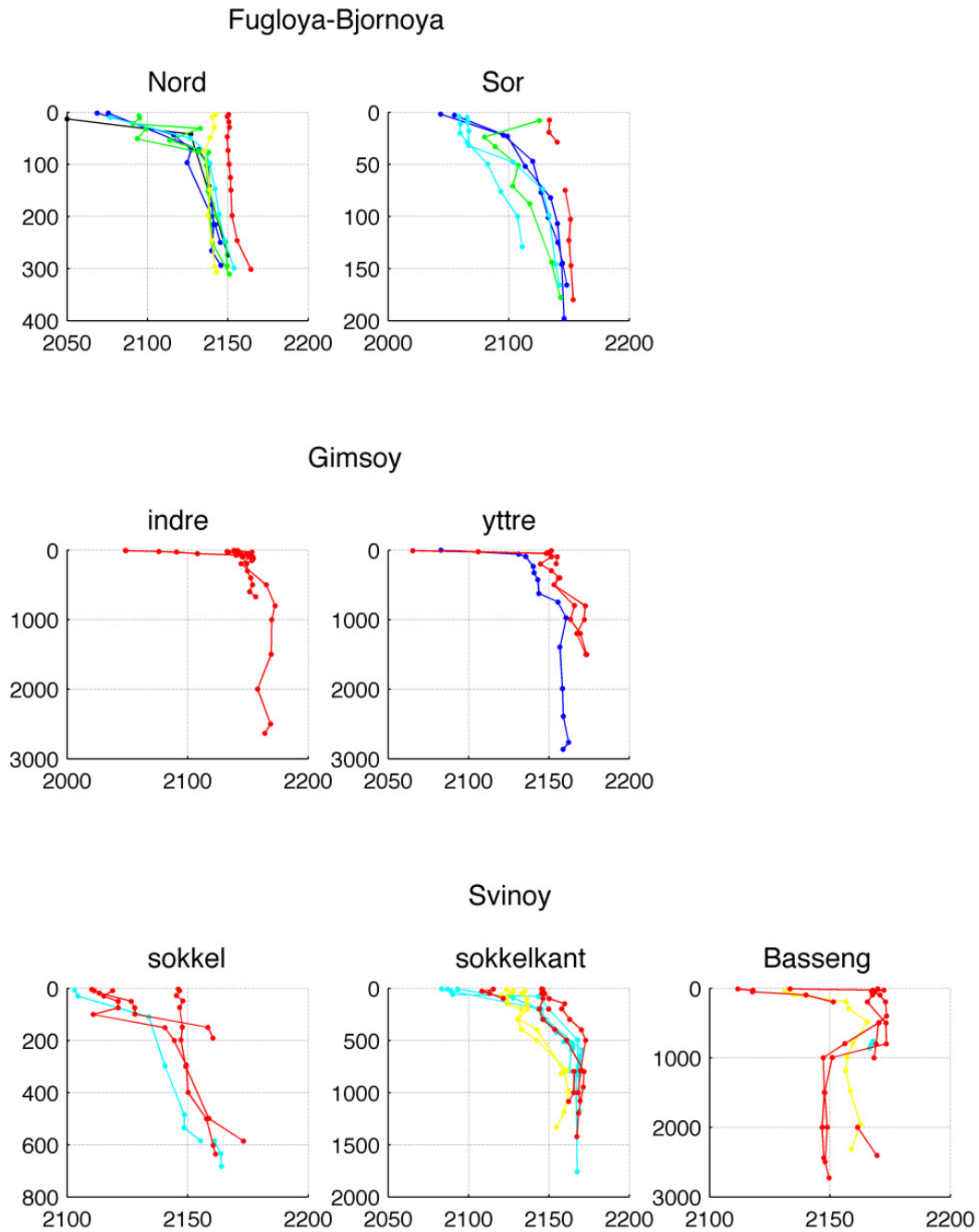
Saltholdighet



Figur 23. Saltholdighet samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

Figur 24 viser en betydelig variasjon i C_T , spesielt i overflatelaget. Denne gjenspeiler sesongmessige forandringer i karboninnholdet knyttet til våroppblomstringen av planteplankton, som diskutert i del 3. Våroppblomstringen skyldes hovedsakelig at soloppvarmingen endrer de øvre lag av vannsøylen, og profilene med en skarpt knekk i temperatur (**Figur 22** og C_T (**Figur 24**) nær overflaten er målt om sommeren, mens de mer homogene profilene er målt om vinteren. Spennet av verdier i overflaten viser at planteplankton forbruker rundt regnet 50-100 μmol karbon per kg vann. Disse sesongmessige forandringene er også synlige i pH (**Figur 26**) og Ω_{Ar} og Ω_{Ca} (**Figur 27** og **Figur 28**) profilene.

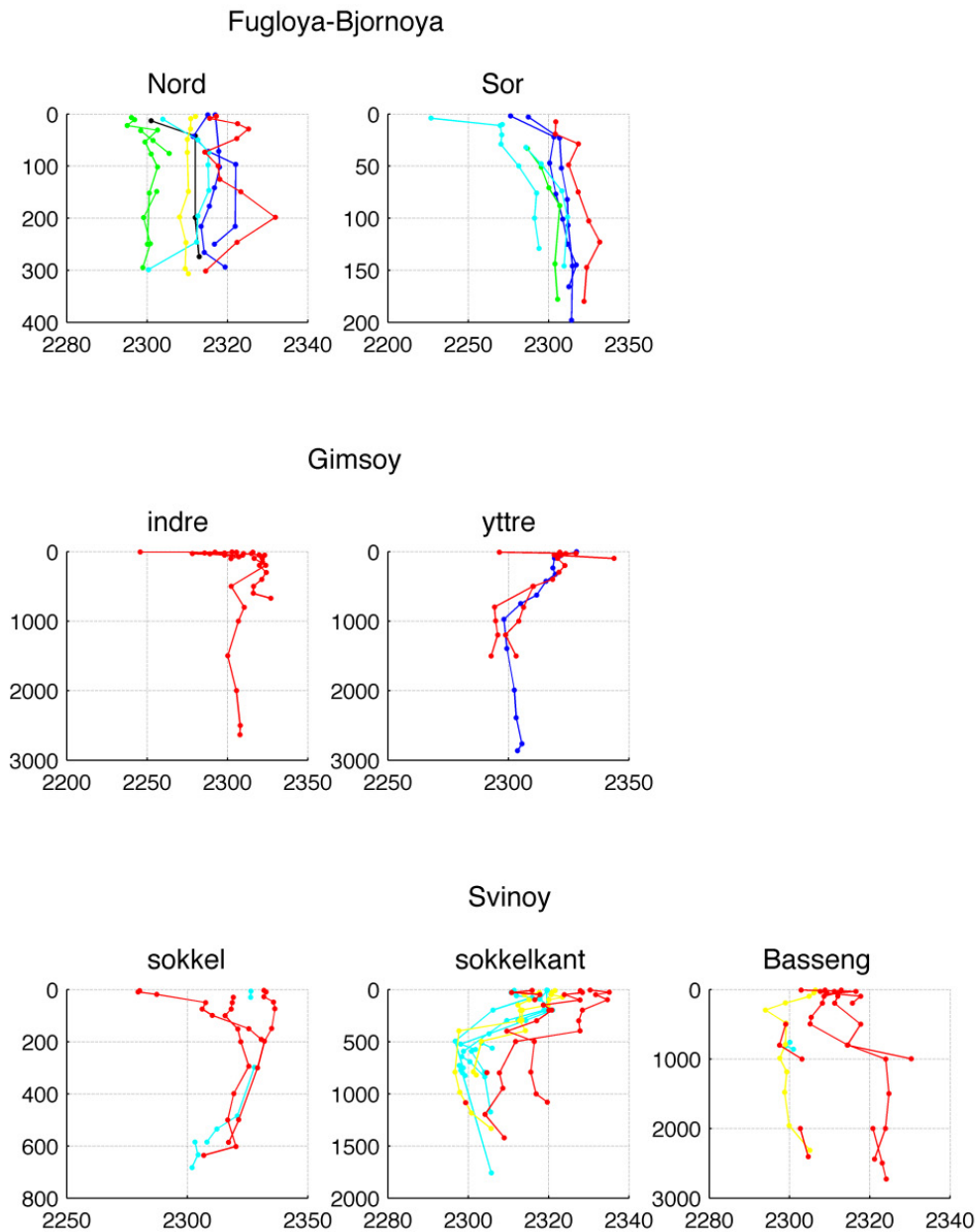
Totalt Uorganisk Karbon



Figur 24. Målte C_T data samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

Total Alkalinitet (A_T) er en semi-konservativ parameter, dvs. at dens variasjon (**Figur 25**) er noenlunde lik variasjonen til saltholdighet (**Figur 23**).

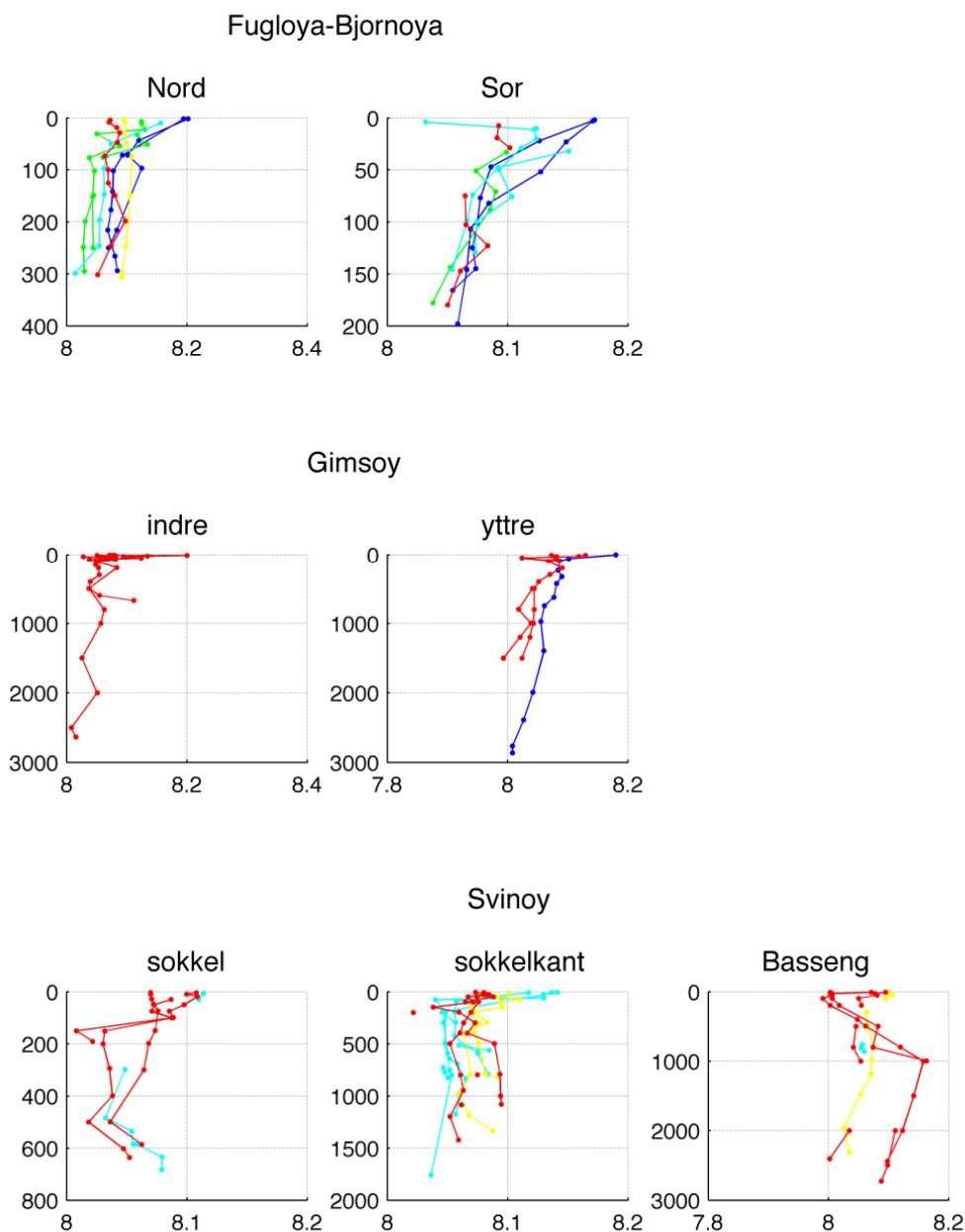
Total Alkalinitet



Figur 25. Målte A_T ($\mu\text{mol/kg}$) data samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

Forbruket av karbon driver både pH og Ω verdiene opp om sommeren (**Figur 26**, **Figur 27** og **Figur 28**). Nedover i dypet øker karboninnholdet (**Figur 24**), mens både pH og Ω verdiene avtar. Dette skyldes økt innhold av karbon fra remineralisert biologisk materiale.

In Situ pH

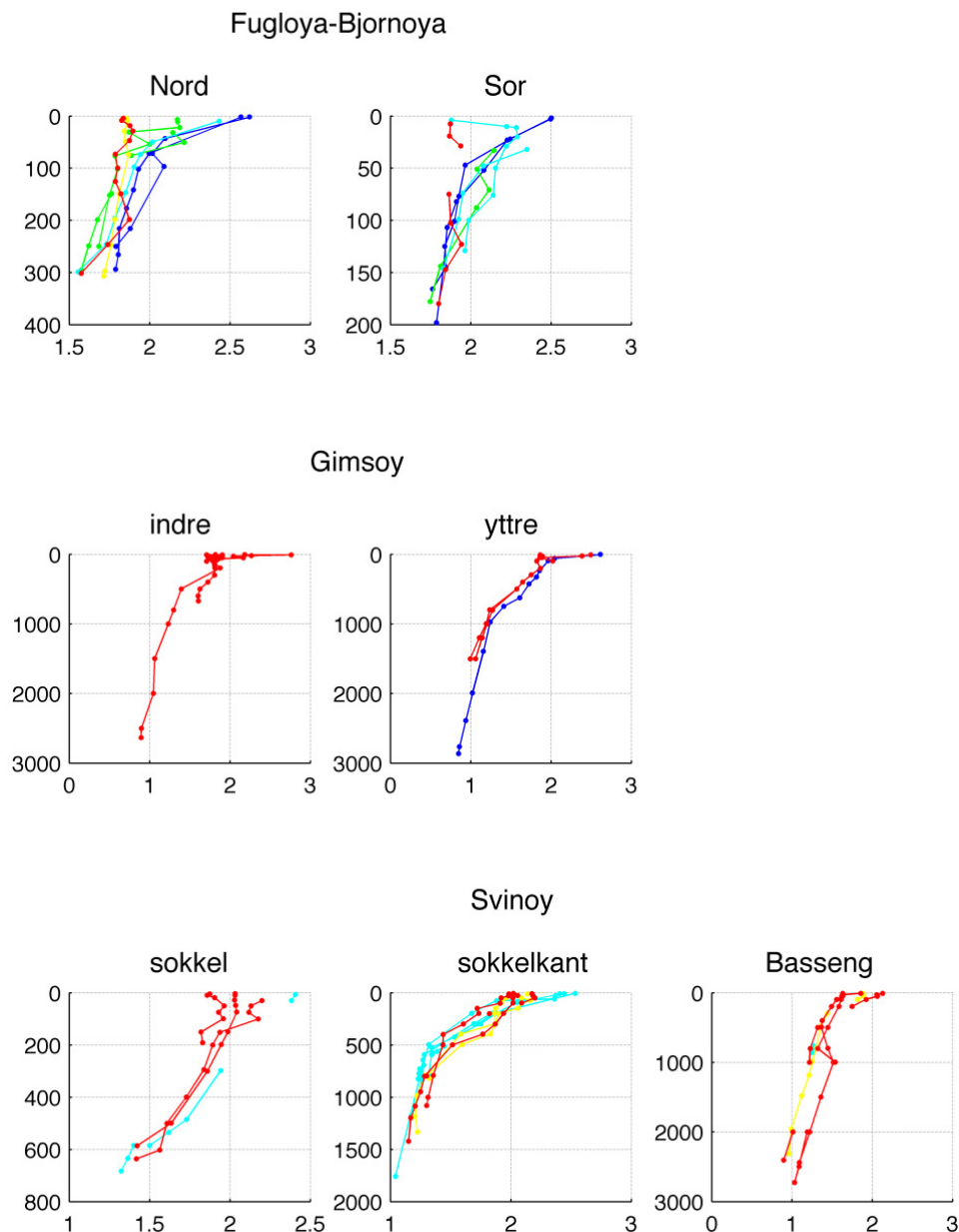


Figur 26. Beregnet pH in situ data samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

Karbonkonsentrasjonene målt i 2011 er generelt høyere enn de historiske verdiene (**Figur 24**). Dette gjenspeiler hovedsakelig havets opptak av menneskeskapt CO₂. Olsen med flere (2006) viste at i de øverste 1000 - 100 meterne i Norskehavet økte karboninnholdet med mellom 0.5 og 0.8 μmol kg⁻¹ år⁻¹ som følge av opptak av menneskeskapt CO₂. De historiske data fra ytre del av Svinøysnittet ble målt i 1997, og ligger jevnt over 10 μmol kg⁻¹ lavere enn 2011 dataene, tilsvarende en rate på omtrent 0.5 μmol kg⁻¹ år⁻¹. Den samme raten finnes i de andre snittene. Økningen er altså noenlunde lik den forventede, men det er flere større og mindre avvik som antageligvis skyldes naturlige variasjoner som påvirker karbonkonsentrasjonen og som på kort sikt (noen år) kan ha større effekt enn den årlige økningen som skyldes opptak av menneskeskapt CO₂. Eksempler på slike prosesser er biologisk aktivitet (Dette er spesielt tydelig i de øverste 100 meter hvor 2011 konsentrasjonen enkelte ganger er

lavere enn konsentrasjonen i målt i de historiske dataene), lokal CO₂ utveksling med atmosfæren, og blanding av forskjellige vannmasser. Variasjoner fra de ovenfornevnte prosesser vil medføre store mellomårslige, og/eller sesongvariasjoner i C_T. Det er derfor viktig å opprettholde tidsserien over mange år slik at trender som skyldes opptak av menneskeskapt CO₂ kan skilles ut fra naturlig variasjon. Dette kan krever også at man studerer variasjonen i andre variable som påvirkes av de samme prosessene, for eksempel salt, temperatur og næringssalter. Vi vil anbefale at man rutinemessig setter av tid til å foreta analyser som tar sikte på å kvantifisere hvor sterkt hver av de aktuelle prosessene (biologi, hydrografi og opptak av menneskeskapt CO₂) virker inn på graden av forsurening av våre farvann.

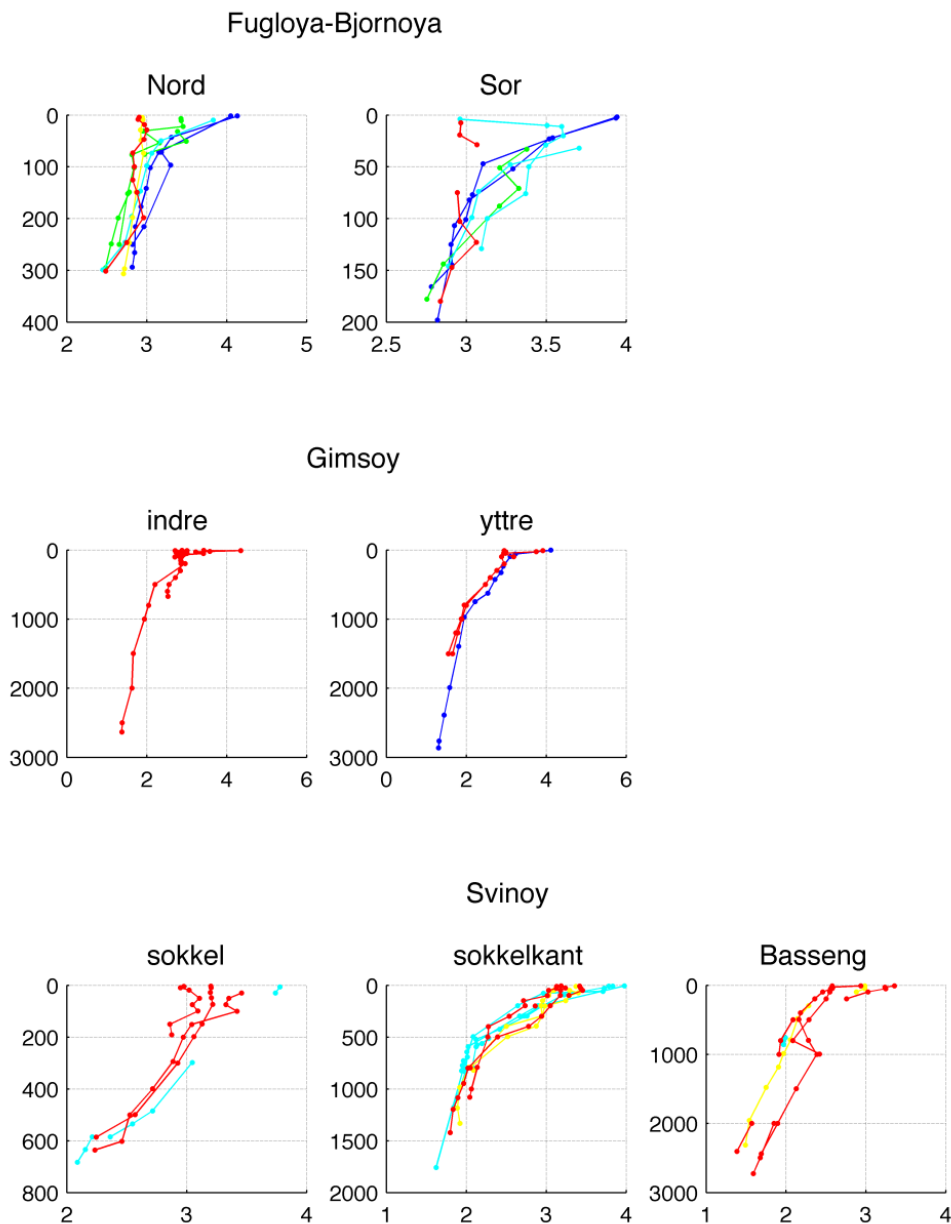
Omega Aragonitt



Figur 27. Beregnet Ω aragonitt samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

For eksempel vil en økning i karbonkonsentrasjonen i sjøvannet, i utgangspunktet, redusere pH og metningsgraden av kalsiumkarbonat, Ω . Men disse parameterne er også funksjoner av temperatur og A_T (*Figur 22* og *Figur 25*); de øker med minkende temperatur og økende A_T . Når man sammenligner pH og Ω verdiene for 2011 med de historiske dataene, ser man at reduksjonen er mindre klar enn det vi forventer fra økningen i C_T . Grunnen til dette er at A_T har økt og har dette bidratt til å motvirke effekten av økende karboninnhold. Grunnen till økningen i A_T må utredes bedre med lengre tidsserier.

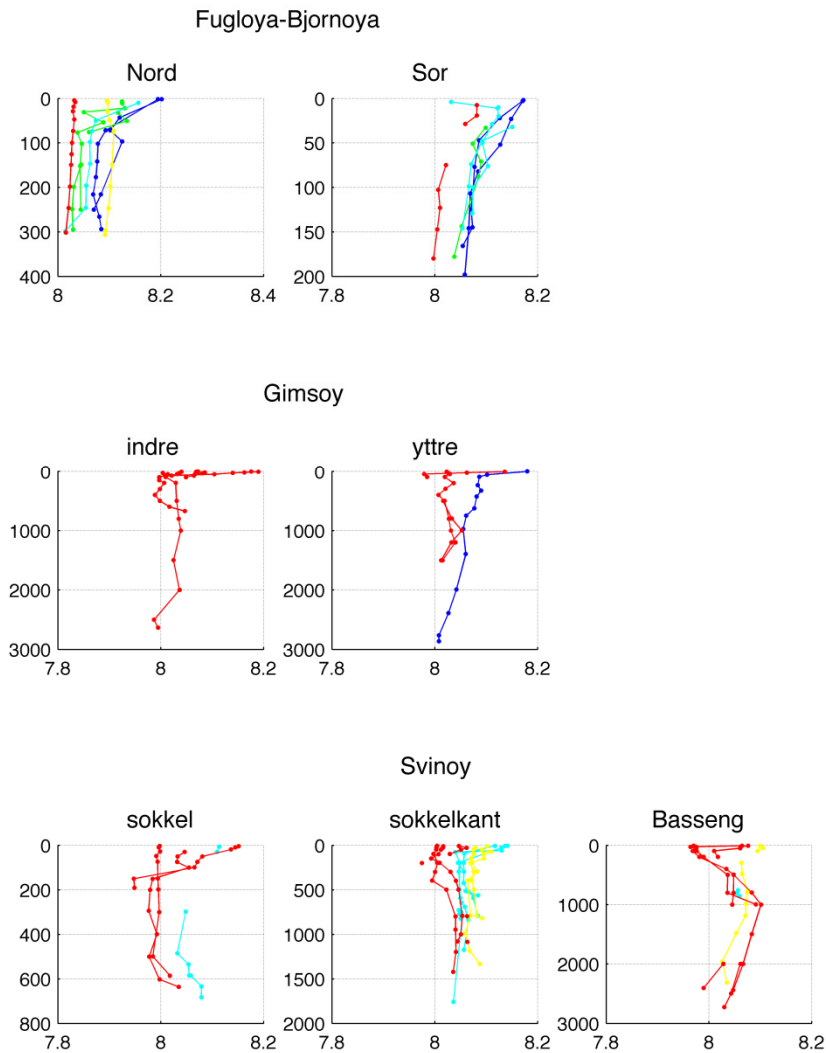
Omega Kalsitt



Figur 28. Beregnet Ω kalsitt samlet på Havforskningsinstituttets seksjoner i 2011 (rød) sammenlignet med data fra CARINA databasen (1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

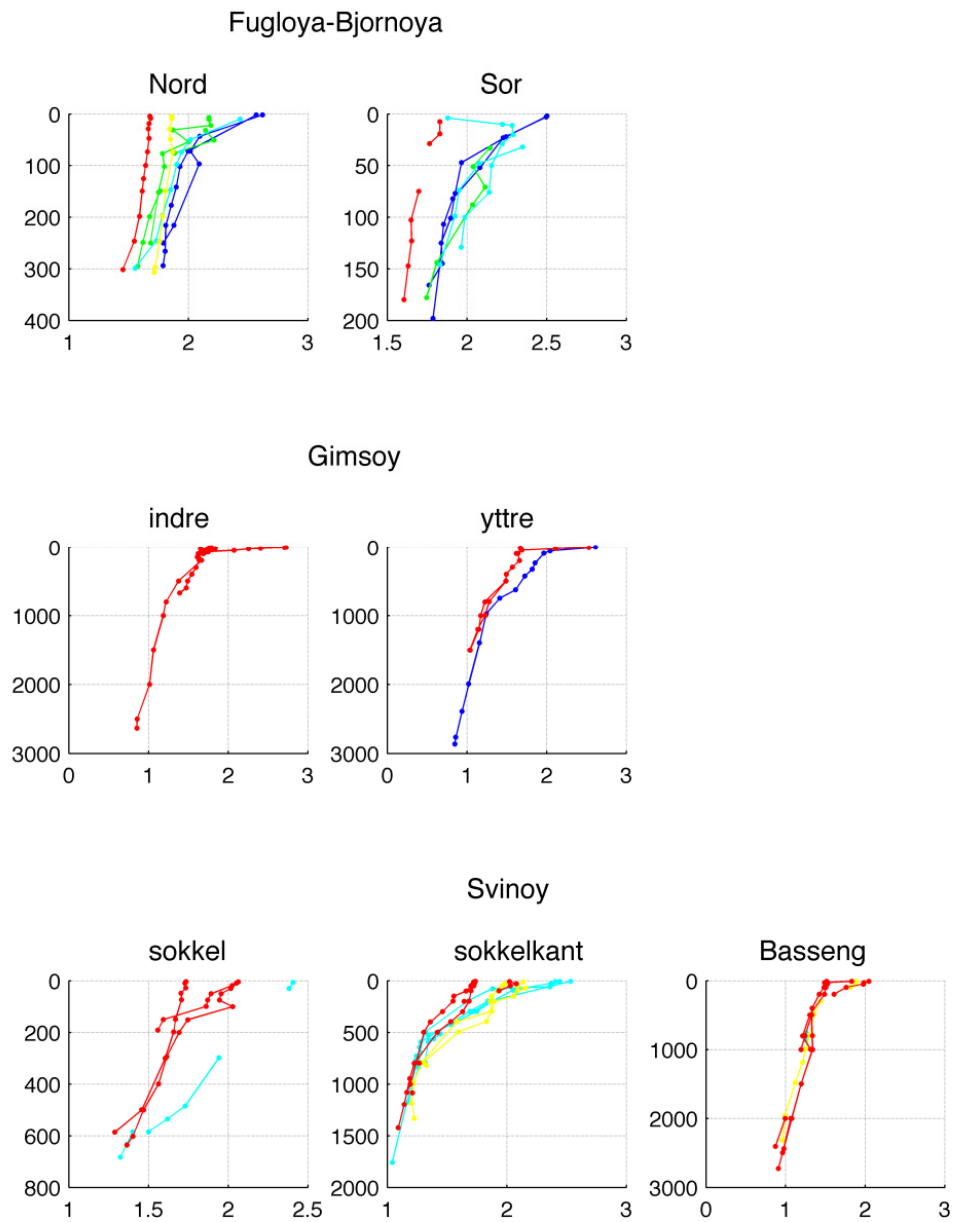
For å illustrere betydningen av A_T , har vi igjen beregnet pH og Ω_{Ar} fra dataene, men denne gangen har vi holdt A_T konstant på $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Resultatet (**Figur 29** og **Figur 30**) viser tydelig reduksjon i pH og Ω_{Ar} . Dette impliserer at økningen i A_T har maskert effekten av C_T på pH og Ω_{Ar} .

In Situ pH, konstant alkalinitet



Figur 29. Beregnet pH fra dataene med konstant A_T på $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$. 2011, rød; 1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå; 2003; cyan).

Omega Aragonitt, konstant alkalinitet



Figur 30. Beregnet Ω_{Ar} fra dataene med konstant A_T på $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$. 2011, rød; 1997, gul; 1999, grønn; 2001, svart; 2002, blå, 2003; cyan).

4.2 Konklusjon og anbefalinger

Resultatene fra Norskehavet viser en klar sesongvariasjon i øvre 100 meterne av vannsøylen, som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen gjennom året. I tillegg påvirkes karboninnholdet her av kystvannet som brer seg vestover i løpet av sommeren.

Hovedkonklusjonen er at de fleste områder studert i denne rapporten er mettet i forhold til kalsitt, og undermettning av aragonitt viser seg på 1500 meters dyp i Norskehavet.

I Norskehavet ser vi undermettning fra like under 1500 meters dyp av aragonitt og overmettning i kalsitt i hele vannsøylen. I Barentshavet er aragonitt metningen lavest ($\Omega_{Ar}=1.1$ er minimums verdier i kystområdet mellom Kirkenes og Tromsø i januar). De historiske data sammenligner dataene målt på Havforskningens hydrografiske seksjoner i 2011 med historiske data fra CARINA databasen. Primært ble data fra 1997-2011 samlet fra de faste snitten nord vestlig retning fra Gimsøy og Svinøy benyttet for å studere trender i Norskehavet, men analysen omfatter også toktdata fra Barentshavet. Trender viser en økning av karbonkonsentrasjonene målt i 2011 relativt historiske data. Dette gjenspeiler hovedsakelig havets opptak av menneskeskapt CO_2 .

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.

Total alkalinitet (A_T) og totalt uorganisk karbon (C_T) er de parameterne som dekkes av internasjonalt sertifisert standard materiale. Det innebærer en stor fordel ved bestemmelse av presisjon som er nødvendig for å følge trender over flere år med flere variable. Det anbefales imidlertid at man i tillegg måler en tredje av CO_2 -system parameterne som en ekstra kontroll av konsistens, og det mest opplagte valget for vannsøylemålinger er pH. Fra 2012 vil det finnes internasjonale standarder for pH målinger i sjøvann. Slike metoder er allerede tatt i bruk i programmet og betydelig erfaring er etablert. For overflatemålinger vil pCO_2 målinger i kombinasjon med pH være ett godt supplement for kontinuerlige målinger i overflaten. Kvalitetssikrede målinger av tre CO_2 system parametere gir ett veldig sterkt datasett. Dette spesielt for å fange opp endring i viktige prosesser som kalsifisering, som kun kan belyses ved måling av A_T .

Det er en fordel å ta prøver og analysere direkte etter prøvetagning. Det gjelder spesielt C_T og pH. For pH kreves analyse ombord innen 18 timer. Når det ikke er mulig å analysere CO_2 parameterne ombord, konserveres prøvene med kvikksølvklorid og oppbevares kaldt og mørkt.

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

På grunn av de nåværende sterke økningene i globale utslipp av CO_2 på mer enn 3 prosent hvert år (ca +1.6 $\mu atm/år$) vil framtidige forandringer lettere kunne relateres til havforsuring. På grunn av store sesongvariasjoner og selv med en presisjon på pCO_2 målinger på $\pm 1 \mu atm$ kreves målinger under lang tid for å se CO_2 forandringen i havet og havets CO_2 opptak. 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 i overflaten for å se betydningen av den biologiske pumpen og 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 CO_2 (Takahashi *et al.* 2009), forståelse av variabilitet, (Watson *et al.* 2009) og synteser av havforsuring og når det evt. nås kritiske verdier som kan være skadelig for økosystemer. Vi anbefaler videre at data skal samles inn og bidra til internasjonale databaser som SOCAT og GLODAP.

5. Referanser

- Anderson, L.G., Olsen, A., 2002. Air-sea flux of anthropogenic carbon dioxide in the North Atlantic. *Geophysical Research Letters* 29 (17).
- 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.
- Mehrbach, 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.
- Mucci, A. (1983), The solubility of calcite and aragonite in seawater at various salinities, temperatures and at one atmosphere pressure, *Am. J. Sci.*, 283, 780-799, doi:10.2475/ajs.283.7.780.
- Olsen, A., A. M. Omar, R. G. J. Bellerby, T. Johannessen, U. Ninnemann, K. R. Brown, K. A. Olsson, J. Olafsson, G. Nondal, C. Kivimäe, S. Kringstad, C. Neill, and S. Olafsdottir. Magnitude and Origin of the Anthropogenic CO₂ increase and ¹³C Suess effect in the Nordic Seas Since 1981, *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB3027, doi: 10.1029/2005GB002669, 2006
- 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.
- Olsen, A., R. M. Key, E. Jeansson, E. Falck, J. Olafsson, S. van Heuven, I. Skjelvan, A. M. Omar, K. A. Olsson, L. G. Anderson, S. Jutterström, F. Rey, T. Johannessen, R. G. J. Bellerby, J. Blindheim, J. L. Bullister, B. Pfeil, X. Lin, A. Kozyr, C. Schirnick, T. Tanhua and D. W. R. Wallace. Overview of the Nordic Seas CARINA data and salinity measurements, *Earth System Science Data*, 1, 25-34, 2009
- Omar, A. M., A. Olsen, T. Johannessen, M. Hoppema, H. Thomas & A. V. Borges, Spatiotemporal variations of fCO₂ 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 (*Mercenariamercenaria*), 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 Biogeogem. 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., Oeschler, 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.
- Yakushev E., Sørensen K. On seasonal changes of the carbonate system in the Barents Sea: observations and modeling. *Marine Biology Research*, 2012 (accepted).
- Zeebe RE, Wolf-Gladrow D. CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes. Amsterdam-London-New York – Oxford – Paris- Shannon – Tokyo: Elsevier Oceanography Series, 65. 346 pp, 2001.

Vedlegg A. **Datatabeller**

Rådata og beregnende *in situ* verdier Torungen – Hirtshals

8 januar 2011

Tabell 1

Lat.N	Lon E	Dyp m	Salthalt	Temperatur °C	C _T μmol kg ⁻¹	A _T μmol kg ⁻¹	pH in situ	ΩCa	ΩAr	Fosfat μmol L ⁻¹	Nitrat μmol L ⁻¹	Silikat μmol L ⁻¹
57.93	9.47	75	34.74	5.55	2144.6	2307.3	8.068	2.83	1.79	0.47	5.1	2.9
57.93	9.47	150	34.70	5.16	2146.1	2308.5	8.071	2.78	1.76	0.47	4.2	2.8
58.15	9.37	200	35.14	6.81	2173.5	2323.5	8.005	2.60	1.65	0.83	11.7	5.7
58.15	9.37	400	35.07	5.45	2181.0	2322.7	7.998	2.37	1.51	0.86	10.5	7.6
58.13	9.18	100	35.05	7.68	2167.1	2320.1	8.004	2.70	1.72	0.77	11.0	4.9
58.13	9.18	200	35.18	7.12	2174.7	2319.8	7.988	2.54	1.61	0.83	11.7	5.4
58.13	9.18	600	35.03	5.17	2178.0	2319.7	7.996	2.27	1.44	0.84	10.0	7.3
58.20	9.08	400	35.09	5.73	2177.1	2317.7	7.991	2.36	1.50	0.85	10.8	6.8
58.33	8.90	75	34.73	7.18	2154.7	2313.4	8.031	2.79	1.77	0.62	8.4	4.2
58.33	8.90	200	34.91	7.12	2166.2	2315.2	8.001	2.59	1.64	0.74	9.9	5.5
58.40	8.77	125	34.92	6.88	2185.9	2317.9	7.963	2.40	1.52	0.93	11.4	9.0

Tabell 2a. Trollfjord, Barentshavet, Norskekysten vinter 2011. 24-25.1.11. Fra Kirkenes til Tromsø

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp	Temp	Salt	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩX _α	ΩA _ρ
				m	C	psu	μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ Beregnet fra C _T og A _T		
TF4	24.jan	69,916	30,218	4	3,283	33,404	2150	2050	-	-	0,58	7,07	26,69	8,070	-	7,964	1,9	1,2
TF6	24.jan	70,445	31,061	4	3,447	33,662	2344	2158	-	-	0,65	8,14	9,29	8,103	-	8,165	3,2	2,0
TF7	25.jan	71,149	27,636	4	4,362	33,573	2333	2217	-	-	0,65	8,14	9,04	8,107	-	7,978	2,3	1,4
TF8	25.jan	70,950	27,340	4	3,748	33,421	2337	2233	-	-	0,68	7,93	10,57	8,102	-	7,952	2,1	1,3
TF9	25.jan	70,970	25,953	4	4,277	33,519	2345	2225	-	-	0,61	8,00	8,90	8,115	-	7,989	2,3	1,5
TF10	25.jan	70,817	23,845	4	4,317	33,434	2326	2200	-	-	0,61	7,57	9,22	8,129	-	8,008	2,4	1,5
TF11	25.jan	70,298	22,307	4	4,304	33,339	2330	2250	-	-	0,58	7,36	8,61	8,142	-	7,873	1,8	1,1
TF12	25.jan	70,394	21,665	4	4,672	33,377	2332	2158	-	-	0,58	7,71	7,94	8,078	-	8,124	3,1	1,9
TF13	25.jan	69,773	19,176	4	4,068	33,159	2313	2242	-	-	0,55	6,64	9,43	8,068	-	7,854	1,7	1,1

Tabell 2b. Norbjørn, Barentshavet pvråren 2011. 13-15.5.11

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp	Temp	Salt	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩXα	ΩAρ
							μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ	Beregnet fra C _T og A _T
				m	C	psu												
NM01	13.mai	70,119	20,244	4	5,702	33,854	2324	2093	-	-	0,16	0,36	3,56	8,283	8,254	8,229	3,9	2,5
NM02	13.mai	70,739	20,211	4	6,158	34,467	2377	2164	-	-	0,32	2,29	6,41	8,117	8,149	8,168	3,7	2,3
NM03	14.mai	72,169	19,863	4	6,200	35,053	2374	2231	-	-	0,68	9,36	10,07	8,144	8,099	7,999	2,6	1,7
NM04	14.mai	72,963	19,732	4	5,859	35,113	2379	2202	-	-	0,58	6,43	9,57	8,246	8,117	8,086	3,1	2,0
NM05	14.mai	73,740	19,414	4	6,176	35,098	2380	2214	-	-	2,16	10,00	10,43	8,240	8,062	8,050	2,9	1,9
NM06	14.mai	74,399	18,706	4	2,471	34,904	2365	2214	-	-	0,61	7,57	7,37	8,303	8,087	8,081	2,7	1,7
NM07	14.mai	75,174	17,544	4	2,956	34,798	2362	2153	-	-	0,23	0,64	3,88	8,340	8,234	8,212	3,6	2,2
NM08	15.mai	76,425	15,293	4	0,391	34,533	2330	2133	-	-	0,23	0,79	2,81	8,311	8,250	8,234	3,3	2,1
NM09	15.mai	76,938	14,055	4	-0,178	34,081	2309	2137	-	-	0,26	0,43	7,08	8,310	8,236	8,195	3,0	1,9
NM10	15.mai	77,453	13,184	4	1,969	34,494	2336	2106	-	-	0,19	0,71	3,10	8,399	8,247	8,278	3,8	2,4
NM11	15.mai	78,010	12,936	4	2,213	34,652	2344	2124	-	-	0,35	1,07	5,55	8,402	8,257	8,250	3,7	2,3
NM12	15.mai	78,222	14,792	4	0,641	34,005	2309	2057	-	-	0,13	0,36	3,63	8,500	8,308	8,355	4,2	2,6

Tabell 3. Trollfjord, Norskekystenivår/sommer 2011. 19-24.7.11 Fra Kirkenes til Bergen.

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp	Temp	Salt	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩXα	ΩA _p
							μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ Beregnet fra C _T og A _T	
TJ01	19.jul	69,856	30,118	4	11,868	22,799	1705	1489	333	29	0,13	u.d.	23,99	8,291	8,183	8,367	3,8	2,3
TJ02	19.jul	70,475	30,972	4	8,142	34,019	2311	2128	158	12	0,32	1,07	2,74	8,212	8,154	8,082	3,2	2,0
TJ03	19.jul	70,941	28,955	4	10,023	30,127	2041	1817	150	18	0,13	u.d.	6,69	8,285	8,192	8,236	3,8	2,4
TJ04	20.jul	70,972	26,312	4	9,533	33,494	2279	2078	133	19	0,16	u.d.	1,46	8,254	8,166	8,112	3,5	2,2
TJ05	20.jul	70,833	23,896	4	9,177	34,050	2328	2156	108	13	0,32	1,36	3,67	8,179	8,097	8,041	3,1	1,9
TJ06	20.jul	70,275	22,320	4	10,505	32,780	2232	2040	133	16	0,19	u.d.	3,27	8,229	8,146	8,094	3,4	2,1
TJ07	20.jul	70,368	21,593	4	10,835	32,253	2214	2006	108	13	0,16	u.d.	3,91	8,217	8,131	8,134	3,6	2,3
TJ08	20.jul	69,770	19,158	4	8,806	32,179	2221	2038	117	16	0,26	0,50	5,62	8,208	8,123	8,108	3,2	2,0
TJ09	21.jul	68,907	16,932	4	12,071	32,380	2225	2020	125	14	0,13	u.d.	1,14	8,219	8,115	8,105	3,6	2,3
TJ10	21.jul	68,972	16,039	4	12,061	32,817	2252	2044	125	13	0,13	u.d.	1,99	8,213	8,111	8,100	3,6	2,3
TJ11	21.jul	68,101	13,953	4	12,135	32,028	2199	2020	133	13	0,13	u.d.	2,31	8,199	8,102	8,052	3,2	2,0
TJ12	22.jul	66,754	13,218	4	12,714	28,171	1942	1734	125	12	0,13	u.d.	3,13	8,221	8,111	8,203	3,6	2,3
TJ13	22.jul	66,528	12,973	4	12,622	29,708	2072	1883	133	14	0,13	u.d.	2,35	8,207	8,095	8,116	3,3	2,1
TJ14	22.jul	66,142	12,854	4	12,159	21,089	1518	1339	108	9	0,06	u.d.	4,48	8,253	8,130	8,341	3,2	1,9
TJ15	22.jul	65,629	12,242	4	11,992	30,340	2124	1918	108	11	0,10	u.d.	1,60	8,223	8,116	8,149	3,6	2,3
TJ16	22.jul	64,581	10,541	4	10,876	31,910	2248	2049	125	10	0,16	u.d.	2,24	8,206	8,115	8,111	3,5	2,2
TJ17	23.jul	63,461	10,240	4	14,761	23,524	1700	1472	208	12	0,06	u.d.	1,49	8,214	8,097	8,340	4,0	2,5
TJ18	23.jul	63,497	9,076	4	11,365	30,240	2092	1883	142	12	0,19	0,64	2,85	8,187	8,082	8,171	3,6	2,3
TJ19	23.jul	63,097	7,495	4	8,849	33,914	2344	2146	142	12	0,39	3,07	3,38	8,169	8,097	8,104	3,5	2,2
TJ20	23.jul	62,462	6,043	4	10,398	31,665	2161	1933	142	12	0,16	u.d.	1,07	8,241	8,149	8,198	3,9	2,5
TJ21	24.jul	61,886	5,169	4	13,623	16,439	1227	1043	150	18	0,10	u.d.	13,13	8,259	8,147	8,504	3,3	1,9
TJ22	24.jul	61,426	4,864	4	12,075	30,667	2176	1961	167	12	0,13	u.d.	2,60	8,189	8,061	8,155	3,8	2,4

Tabell 4a. Norbjørn, Barentshavet, sommer2011. 9-11.8.11

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp	Temp	Salt	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩX _α	ΩA _p
							μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ Beregnet fra C _T og A _T	
NA01	09.aug	78,129	13,878	4	4,463	31,104	2124	1891	-	-	0,19	u.d.	4,48	8,289	8,188	8,319	3,9	2,4
NA02	09.aug	77,498	13,273	4	3,035	31,431	2157	1957	-	-	0,16	u.d.	3,31	8,246	8,181	8,261	3,4	2,1
NA03	10.aug	76,404	15,576	4	3,623	33,224	2259	2063	-	-	0,13	u.d.	1,71	8,206	8,139	8,203	3,3	2,1
NA04	10.aug	75,768	16,866	4	5,838	34,194	2320	2116	-	-	0,19	u.d.	3,84	8,242	8,165	8,166	3,5	2,2
NA05	10.aug	75,079	18,278	4	3,347	34,184	2311	2140	-	-	0,19	u.d.	1,92	8,224	8,139	8,132	3,0	1,9
NA06	10.aug	74,606	19,103	4	3,127	34,051	2322	2129	-	-	0,19	u.d.	1,78	8,218	8,137	8,186	3,3	2,1
NA07	10.aug	73,324	19,575	4	7,730	34,982	2374	2171	-	-	0,23	0,79	1,42	8,217	8,132	8,115	3,5	2,2
NA08	10.aug	72,625	19,888	4	8,524	34,880	2385	2193	-	-	0,23	0,86	2,10	8,186	8,105	8,081	3,4	2,1
NA09	10.aug	72,014	20,299	4	9,186	34,961	2376	2175	-	-	0,16	u.d.	0,89	8,208	8,117	8,088	3,5	2,2
NA10	10.aug	71,256	20,629	4	10,287	34,581	2374	2173	-	-	0,19	u.d.	2,56	8,205	8,118	8,075	3,5	2,2
NA11	10.aug	70,402	20,736	4	9,977	33,971	2335	2133	-	-	0,19	u.d.	3,70	8,182	8,116	8,095	3,5	2,2

Tabell 4b. Norbjørn, Barentshavet, høst 2011 . .2-4.9.11 (Framprosjektet)

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp	Temp	Salt	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩX _α	ΩA _p
							μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ Beregnet fra C _T og A _T	
NS01	02.sep	69,785	19,229	4	10,144	33,408	2274	2067	-	-	0,32	1,29	5,02	8,140	8,075	8,118	3,6	2,3
NS02	03.sep	71,147	19,293	4	11,434	33,926	2342	2103	-	-	0,16	0,21	2,03	8,149	8,103	8,150	4,1	2,6
NS03	03.sep	71,979	19,097	4	11,291	34,112	2335	2118	-	-	0,13	0,07	1,96	8,176	8,090	8,105	3,8	2,4
NS04	03.sep	72,844	18,927	4	10,678	34,720	2382	2175	-	-	0,16	u.d.	1,99	8,183	8,114	8,079	3,6	2,3
NS05	03.sep	73,613	18,723	4	8,304	34,817	2354	2143	-	-	0,16	u.d.	1,32	8,223	8,171	8,130	3,6	2,3
NS06	03.sep	74,181	18,643	4	6,070	34,169	2306	2117	-	-	0,13	u.d.	1,07	8,217	8,155	8,132	3,3	2,1
NS07	04.sep	75,672	16,803	4	7,554	34,724	2369	2163	-	-	0,23	0,43	1,99	8,221	8,144	8,129	3,6	2,3
NS08	04.sep	76,174	16,047	4	6,245	34,358	2343	2151	-	-	0,16	u.d.	2,31	8,213	8,131	8,128	3,3	2,1
NS09	04.sep	76,798	15,048	4	3,424	33,186	2261	2103	-	-	0,19	0,43	1,78	8,197	8,133	8,117	2,8	1,8
NS10	04.sep	77,334	13,677	4	4,236	32,965	2253	2093	-	-	0,19	0,50	2,14	8,190	8,122	8,111	2,8	1,8
NS11	04.sep	78,093	13,665	4	4,271	32,256	2205	2058	-	-	0,26	0,64	3,77	8,184	8,117	8,092	2,6	1,7

Tabell 4c. Norbjørn, Barentshavet høst 2011. 1-3.10.11

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp m	Temp C	Salt psu	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩX _α	ΩA _ρ
							μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ Beregnet fra C _T og A _T	
NO01	01.okt	70,272	19,442	4	9,851	33,619	2327	2105	-	-	0,32	2,36	3,88	8,142	8,059	8,145	3,8	2,4
NO02	01.okt	70,926	19,317	4	9,413	34,058	2346	2122	-	-	0,29	2,14	3,38	8,182	8,103	8,149	3,9	2,4
NO03	01.okt	71,546	19,139	4	9,768	34,132	2356	2125	-	-	0,32	1,21	2,49	8,179	8,104	8,154	4,0	2,5
NO04	01.okt	72,091	18,990	4	9,670	34,466	2359	2138	-	-	0,23	1,00	2,21	8,190	8,091	8,130	3,8	2,4
NO05	02.okt	73,305	18,944	4	8,571	34,812	2378	2153	-	-	0,29	1,07	2,99	8,182	8,116	8,149	3,8	2,4
NO06	02.okt	73,986	19,329	4	5,244	34,397	2333	2125	-	-	0,19	0,43	1,28	8,199	8,132	8,179	3,5	2,2
NO07	02.okt	74,643	18,897	4	3,875	34,012	2317	2152	-	-	0,39	1,93	2,81	8,137	8,062	8,112	2,9	1,8
NO08	02.okt	75,223	17,844	4	5,011	34,333	2347	2155	-	-	0,45	2,57	6,58	8,163	8,109	8,146	3,3	2,1
NO09	03.okt	75,788	16,488	4	6,146	34,696	2370	2158	-	-	0,42	3,14	4,13	8,179	8,110	8,163	3,6	2,3
NO10	03.okt	76,980	15,131	4	2,803	32,940	2255	2108	-	-	0,35	1,93	3,52	8,129	8,067	8,105	2,7	1,7
NO11	03.okt	78,020	13,030	4	3,122	32,761	2238	2074	-	-	0,32	1,64	3,31	8,150	8,080	8,144	2,9	1,8

Tabell 4d. Norbjørn, Barentshavet, vinter2011. 15-18.12.11

Nst	Date	Lat.N	Lon.E	Dyp	Temp	Salt	A _T	C _T	TOC	POC	PO ₄	NO _x	Si	pH(NBS)	pH(Tot)	pH(Tot)	ΩX _α	ΩA _p
							μmol kg ⁻¹	μmol kg ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	in situ	in situ	in situ Beregnet fra C _T og A _T	
ND01	15.des	78,972	11,068	4	1,462	34,182	2320	2193	-	-	0,48	6,57	6,87	8,136	8,068	8,049	2,4	1,5
ND02	15.des	78,357	11,047	4	1,114	34,056	2319	2182	-	-	0,52	6,07	6,26	8,139	8,090	8,084	2,5	1,6
ND03	16.des	77,607	12,732	4	2,013	34,447	-	-	-	-	0,55	7,14	7,69	8,124	8,056	-	-	-
ND04	16.des	76,898	14,461	4	0,317	34,105	-	-	-	-	0,52	6,00	7,12	8,119	8,067	-	-	-
ND05	16.des	76,465	15,468	4	4,072	34,775	2343	2218	-	-	0,65	8,50	8,33	8,127	8,057	7,990	2,4	1,5
ND06	16.des	75,853	16,494	4	5,227	34,972	2348	2207	-	-	4,58	9,14	8,72	8,130	8,060	8,002	2,5	1,6
ND07	16.des	75,251	17,383	4	2,792	34,578	2341	2197	-	-	0,58	7,14	6,94	8,134	8,063	8,067	2,6	1,6
ND08	17.des	74,081	18,835	4	1,540	34,365	2323	2188	-	-	0,55	6,43	6,62	8,133	8,075	8,068	2,5	1,6
ND09	17.des	73,338	18,889	4	5,276	34,857	2350	2203	-	-	0,58	7,86	7,05	8,155	8,093	8,028	2,7	1,7
ND10	17.des	72,752	19,022	4	7,148	34,407	2366	2185	-	-	0,48	6,71	5,80	8,136	8,063	8,083	3,2	2,0
ND11	17.des	72,019	19,172	4	7,407	34,910	2372	2207	-	-	0,55	7,64	6,41	8,140	8,049	8,037	3,0	1,9
ND12	17.des	71,004	19,313	4	7,472	34,327	2371	2175	-	-	0,45	6,00	5,34	8,148	8,074	8,112	3,4	2,2
ND13	17.des	70,159	19,548	4	8,241	33,553	2314	2178	-	-	0,39	5,14	5,48	8,127	8,053	7,970	2,5	1,6

Tabell 5a. Rådata og beregnet Svinøy-NW januar 2011

datum	stn	Lat N	Lon E	Dyp	salthalt	T (°C)	CT µmol/kg	AT µmol/kg	pH in situ	ΩCa	ΩAr
01/13/2011	2	62.49	4.95	4	33.46	5.31	2110.3	2280.3	8.111	3.0	1.9
01/13/2011	2	62.49	4.95	9	33.55	5.48	2111.3	2279.7	8.103	3.0	1.9
01/13/2011	2	62.49	4.95	19	33.79	5.50	2113.4	2287.3	8.112	3.0	1.9
01/13/2011	2	62.49	4.95	50	34.32	6.57	2126.7	2307.6	8.100	3.1	2.0
01/13/2011	2	62.49	4.95	75	34.44	6.79	2128.1	2306.3	8.088	3.1	1.9
01/13/2011	2	62.49	4.95	100	34.51	7.03	2128.2	2310.5	8.092	3.1	2.0
01/13/2011	2	62.49	4.95	150	35.23	9.08	2158.5	2325.5	8.011	2.9	1.8
01/13/2011	2	62.49	4.95	191	35.26	8.54	2160.5	2330.7	8.025	2.9	1.8
01/14/2011	5	62.84	4.18	3	35.33	8.15	2146.2	2331.9	8.073	3.2	2.0
01/14/2011	5	62.84	4.18	9	35.33	8.15	2146.8	2332.7	8.073	3.2	2.0
01/14/2011	5	62.84	4.18	28	35.33	8.15	2145.4	2331.8	8.073	3.2	2.0
01/14/2011	5	62.84	4.18	48	35.33	8.16	2148.0	2335.8	8.075	3.2	2.0
01/14/2011	5	62.84	4.18	74	35.32	8.14	2146.7	2336.4	8.079	3.2	2.1
01/14/2011	5	62.84	4.18	149	35.29	7.79	2147.9	2335.1	8.076	3.1	2.0
01/14/2011	5	62.84	4.18	198	35.28	7.70	2147.3	2332.1	8.071	3.1	2.0
01/14/2011	5	62.84	4.18	300	35.22	7.08	2149.2	2329.2	8.067	2.9	1.9
01/14/2011	5	62.84	4.18	500	35.08	5.93	2158.9	2321.4	8.039	2.6	1.6
01/14/2011	5	62.84	4.18	586	34.93	1.36	2173.2	2317.2	8.065	2.3	1.4
01/16/2011	9	63.07	3.66	10	35.20	7.04	2146.3	2327.9	8.083	3.1	2.0
01/16/2011	9	63.07	3.66	30	35.21	7.04	2146.3	2328.4	8.083	3.1	2.0
01/16/2011	9	63.07	3.66	49	35.21	7.03	2147.5	2323.9	8.070	3.0	1.9
01/16/2011	9	63.07	3.66	100	35.19	6.79	2150.3	2327.9	8.074	3.0	1.9
01/16/2011	9	63.07	3.66	149	35.14	6.04	2159.9	2318.7	8.041	2.7	1.7
01/16/2011	9	63.07	3.66	197	35.10	5.23	2158.0	2320.9	8.063	2.8	1.7
01/16/2011	9	63.07	3.66	300	34.99	2.92	2163.1	2317.0	8.076	2.6	1.6
01/16/2011	9	63.07	3.66	399	34.92	0.88	2170.3	2309.7	8.070	2.3	1.4
01/16/2011	9	63.07	3.66	498	34.90	-0.07	2172.9	2316.5	8.092	2.3	1.4
01/16/2011	9	63.07	3.66	793	34.91	-0.71	2169.7	2315.6	8.097	2.2	1.4
01/16/2011	9	63.07	3.66	1002	34.91	-0.82	2168.2	2316.9	8.097	2.1	1.3
01/16/2011	9	63.07	3.66	1079	34.91	-0.83	2169.5	2319.7	8.098	2.1	1.3

Tabell 5a. Fortsettelse Rådata og beregnet Svinøy-NW januar 2011

Datum	stn	Lat N	Lon E	Dyp (m)	S	Temperatur (°C)	C _T (μmol kg^{-1})	A _T μmol kg^{-1}	ΩCa	ΩAr	
01/16/2011	11	63.66	2.04	7	35.23	7.87	2145.7	2330.3	8.076	3.2	2.0
01/16/2011	11	63.66	2.04	27	35.23	7.87	2145.9	2335.2	8.085	3.3	2.1
01/16/2011	11	63.66	2.04	50	35.24	7.89	2145.6	2331.7	8.077	3.2	2.0
01/16/2011	11	63.66	2.04	99	35.27	7.94	2146.4	2334.7	8.078	3.2	2.0
01/16/2011	11	63.66	2.04	198	35.27	7.59	2144.1	2328.4	8.072	3.1	2.0
01/16/2011	11	63.66	2.04	301	35.25	7.29	2146.4	2327.5	8.066	3.0	1.9
01/16/2011	11	63.66	2.04	398	35.17	6.28	2153.8	2327.9	8.063	2.8	1.8
01/16/2011	11	63.66	2.04	498	34.99	3.29	2160.9	2311.8	8.055	2.4	1.5
01/16/2011	11	63.66	2.04	801	34.90	-0.30	2171.9	2307.8	8.064	2.0	1.3
01/16/2011	11	63.66	2.04	947	34.90	-0.58	2171.4	2308.6	8.066	2.0	1.3
01/16/2011	11	63.66	2.04	1199	34.91	-0.76	2168.5	2304.2	8.055	1.8	1.2
01/16/2011	11	63.66	2.04	1421	34.91	-0.82	2167.5	2309.0	8.062	1.8	1.2
01/17/2011	13	64.14	1.26	2440	34.91	-0.81	2147.5	2312.9	8.082	1.6	1.1
01/17/2011	13	64.14	1.26	2000	34.91	-0.78	2146.8	2311.2	8.097	1.8	1.2
01/17/2011	13	64.14	1.26	1499	34.91	-0.72	2147.7	2312.0	8.115	2.0	1.3
01/17/2011	13	64.14	1.26	999	34.90	-0.52	2147.3	2308.6	8.125	2.2	1.4
01/17/2011	13	64.14	1.26	800	34.90	-0.36	2156.2	2308.2	8.107	2.2	1.4
01/17/2011	13	64.14	1.26	496	34.90	0.23	2170.4	2305.4	8.065	2.2	1.4
01/17/2011	13	64.14	1.26	400	34.91	0.79	2173.6	2305.2	8.051	2.2	1.4
01/17/2011	13	64.14	1.26	198	35.04	4.50	2173.1	2314.6	8.022	2.5	1.6
01/17/2011	13	64.14	1.26	99	35.16	5.88	2170.7	2324.0	8.031	2.7	1.7
01/17/2011	13	64.14	1.26	48	35.17	6.13	2167.4	2324.8	8.039	2.8	1.8
01/17/2011	13	64.14	1.26	29	35.17	6.13	2167.8	2323.9	8.037	2.8	1.8
01/17/2011	13	64.14	1.26	10	35.17	6.12	2169.8	2321.2	8.026	2.7	1.7
01/17/2011	15	64.67	0.00	2726	34.91	-0.82	2149.7	2302.9	8.040	1.4	0.9
01/17/2011	15	64.67	0.00	2498	34.91	-0.81	2148.1	2316.6	8.086	1.6	1.1
01/17/2011	15	64.67	0.00	1998	34.91	-0.79	2149.0	2312.0	8.093	1.8	1.1
01/17/2011	15	64.67	0.00	1500	34.91	-0.73	2147.8	2312.1	8.115	2.0	1.3
01/17/2011	15	64.67	0.00	997	34.90	-0.50	2151.0	2311.3	8.122	2.2	1.4
01/17/2011	15	64.67	0.00	800	34.90	-0.30	2173.4	2317.8	8.085	2.1	1.4
01/17/2011	15	64.67	0.00	500	34.90	0.45	2173.3	2314.5	8.077	2.3	1.4
01/17/2011	15	64.67	0.00	198	35.10	5.19	2165.6	2330.4	8.067	2.8	1.8
01/17/2011	15	64.67	0.00	96	35.17	5.91	2167.7				
01/17/2011	15	64.67	0.00	51	35.18	5.99	2168.8	2320.8	8.028	2.7	1.7
01/17/2011	15	64.67	0.00	28	35.18	6.03	2172.4	2323.2	8.025	2.7	1.7
01/17/2011	15	64.67	0.00	9	35.18	6.02	2133.4	2324.1	8.121	3.3	2.1

Tabell 5b. Rådata og beregnet Svinøy-NW november 2011

datum	stn	Lat N	Lon E	Dyp (m)	salthalt	T(C)	CT	AT	pH in situ	ΩCa	ΩAr
							μmol/kg	μmol/kg			
11/13/2011	786	62.84	4.17	636	34.997	2.06	2161.6	2306.9	8.055	2.3	1.4
11/13/2011	786	62.84	4.17	602	35.070	4.56	2160.7	2320.2	8.044	2.5	1.6
11/13/2011	786	62.84	4.17	500	35.170	6.45	2157.9	2316.9	8.048	2.5	1.6
11/13/2011	786	62.84	4.17	400	35.197	6.97	2150.3	2319.4	8.077	2.7	1.7
11/13/2011	786	62.84	4.17	294	35.282	8.30	2149.5	2325.6	8.097	2.9	1.8
11/13/2011	786	62.84	4.17	200	35.336	9.10	2144.5	2322.3	8.106	2.9	1.9
11/13/2011	786	62.84	4.17	151	35.308	9.53	2140.7	2321.0	8.115	3.0	1.9
11/13/2011	786	62.84	4.17	101	35.209	9.68	2110.9	2315.8	8.170	3.4	2.1
11/13/2011	786	62.84	4.17	75	35.188	9.71	2121.2	2318.2	8.153	3.3	2.1
11/13/2011	786	62.84	4.17	51	35.181	9.72	2121.3	2318.7	8.154	3.3	2.1
11/13/2011	786	62.84	4.17	30	35.176	9.76	2115.3	2319.2	8.169	3.4	2.2
11/13/2011	786	62.84	4.17	10	34.903	10.07	2118.9	nd			
11/14/2011	790	63.31	3.13	10	35.20	9.75	2115.5	2315.9	8.083	3.4	2.2
11/14/2011	790	63.31	3.13	29	35.20	9.75	2108.4	2310.9	8.087	3.5	2.2
11/14/2011	790	63.31	3.13	49	35.20	9.74	2113.1	2317.9	8.091	3.5	2.2
11/14/2011	790	63.31	3.13	99	35.21	9.75	2121.6	2316.6	8.068	3.3	2.1
11/14/2011	790	63.31	3.13	145	35.32	9.18					
11/14/2011	790	63.31	3.13	199	35.30	8.57	2149.9	2320.1	8.024	2.9	1.8
11/14/2011	790	63.31	3.13	299	35.24	7.62					
11/14/2011	790	63.31	3.13	400	35.12	5.52					
11/14/2011	790	63.31	3.13	500	34.99	2.45					
11/14/2011	790	63.31	3.13	798	34.92	-0.64	2165.7	2304.6	8.078	2.1	1.3
11/14/2011	790	63.31	3.13	1001	34.92	-0.82	2165.5	nd			
11/14/2011	790	63.31	3.13	1085	34.92	-0.83	2162.4	2299.3	8.065	1.9	1.2
11/15/2011	794	64.13	1.26	2406	34.92	-0.825	2169.5	2304.7	8.005	1.4	0.9
11/15/2011	794	64.13	1.26	1999	34.92	-0.805	2161.5	2302.7	8.038	1.6	1.0
11/15/2011	794	64.13	1.26	1453	34.92	-0.726					
11/15/2011	794	64.13	1.26	999	34.92	-0.527	2168.4	2303.1	8.057	1.9	1.2
11/15/2011	794	64.13	1.26	800	34.91	-0.323	2169.3	2297.5	8.045	1.9	1.2
11/15/2011	794	64.13	1.26	498	34.92	0.248	2170.2	2299.1	8.049	2.1	1.3
11/15/2011	794	64.13	1.26	399	34.96	1.245					
11/15/2011	794	64.13	1.26	198	35.11	5.774	2151.4	2315.7	8.058	2.8	1.8
11/15/2011	794	64.13	1.26	96	35.15	8.241	2140.1	2317.7	8.053	3.0	1.9
11/15/2011	794	64.13	1.26	50	35.08	8.521	2117.9	2309.3	8.083	3.3	2.1
11/15/2011	794	64.13	1.26	29	35.08	8.513	2118.1	2307.7	8.081	3.3	2.1
11/15/2011	794	64.13	1.26	10	35.08	8.512	2111.8	2308.9	8.098	3.4	2.1

Tabell 6. Rådata og beregnet fra Gimsøy-NW april 2011

datum	stn	Lat N	Lon E	Dyp (m)	salthalt	T (°C)	C _T μmol/kg	A _T μmol/kg	pH in situ	ΩCa	ΩAr
04/04/2011	264	68.58	13.59	101	34.57	5.27	2146.1	2302.2	8.058	2.7	1.7
04/04/2011	264	68.58	13.59	76	34.55	5.28	2140.3	2307.0	8.084	2.9	1.8
04/04/2011	264	68.58	13.59	50	34.43	5.33	2140.4	2298.3	8.065	2.8	1.8
04/04/2011	264	68.58	13.59	34	34.37	5.37	2134.0	2289.2	8.060	2.7	1.7
04/04/2011	264	68.58	13.59	21	34.36	5.38	2132.7	2298.3	8.085	2.9	1.8
04/04/2011	264	68.58	13.59	9	34.36	5.38	2139.8	2292.3	8.054	2.7	1.7
04/04/2011	264	68.58	13.59	6	34.36	5.38	2138.5	2302.9	8.082	2.9	1.8
04/04/2011	266	68.85	12.78	673	34.96	2.08	2156.5	2327.1	8.115	2.5	1.6
04/04/2011	266	68.85	12.78	599	35.12	4.83	2151.5	2316.1	8.058	2.5	1.6
04/04/2011	266	68.85	12.78	498	35.19	5.75	2154.1	2316.2	8.040	2.6	1.6
04/04/2011	266	68.85	12.78	401	35.24	6.85	2152.3	2321.5	8.042	2.7	1.7
04/04/2011	266	68.85	12.78	300	35.24	6.90	2149.7	2324.2	8.057	2.9	1.8
04/04/2011	266	68.85	12.78	198	35.19	6.76	2149.0	2319.9	8.056	2.9	1.8
04/04/2011	266	68.85	12.78	149	35.19	6.77	2153.6	2321.9	8.052	2.9	1.8
04/04/2011	266	68.85	12.78	100	35.19	6.76	2154.4	2321.8	8.052	2.9	1.8
04/04/2011	266	68.85	12.78	73	35.17	6.72	2150.8	2321.0	8.060	2.9	1.9
04/04/2011	266	68.85	12.78	50	35.15	6.68	2149.2	2323.3	8.071	3.0	1.9
04/04/2011	266	68.85	12.78	29	35.14	6.67	2153.5	2310.1	8.031	2.8	1.8
04/04/2011	266	68.85	12.78	12	35.14	6.66	2141.8				
04/04/2011	267	69.03	12.28	2636	34.90	-0.80	2164.2	2307.9	8.019	1.4	0.9
04/04/2011	267	69.03	12.28	2502	34.90	-0.80	2169.0	2308.0	8.011	1.4	0.9
04/04/2011	267	69.03	12.28	1998	34.90	-0.77	2158.2	2305.7	8.054	1.6	1.1
04/04/2011	267	69.03	12.28	1499	34.89	-0.68	2169.5	2300.3	8.029	1.7	1.1
04/04/2011	267	69.03	12.28	1001	34.89	-0.38	2169.9	2306.9	8.060	2.0	1.2
04/04/2011	267	69.03	12.28	801	34.89	-0.11	2172.7	2310.6	8.066	2.1	1.3
04/04/2011	267	69.03	12.28	498	34.96	2.06	2165.4	2302.5	8.040	2.2	1.4
04/04/2011	267	69.03	12.28	198	35.21	6.06	2144.5	2323.9	8.087	3.0	1.9
04/04/2011	267	69.03	12.28	97	35.21	6.30	2152.3	2316.7	8.052	2.8	1.8
04/04/2011	267	69.03	12.28	49	35.16	6.34	2144.1	2319.8	8.080	3.0	1.9
04/04/2011	267	69.03	12.28	28	35.08	6.35	2142.9	2314.9	8.074	3.0	1.9
04/04/2011	267	69.03	12.28	9	35.06	6.33	2141.9	2315.8	8.079	3.0	1.9
04/05/2011	271	69.95	9.58	1502	34.89	-0.68	2173.0	2303.3	8.027	1.7	1.1
04/05/2011	271	69.95	9.58	1199	34.89	-0.51	2167.4	2298.8	8.040	1.8	1.2
04/05/2011	271	69.95	9.58	999	34.89	-0.25	2172.0	2304.3	8.046	1.9	1.2
04/05/2011	271	69.95	9.58	800	34.89	0.35	2172.7	2306.4	8.047	2.0	1.3
04/05/2011	271	69.95	9.58	500	35.14	4.62	2153.3	2310.4	8.047	2.5	1.6
04/05/2011	271	69.95	9.58	399	35.17	5.00	2156.9	2318.4	8.054	2.6	1.7
04/05/2011	271	69.95	9.58	297	35.18	5.25	2151.5	2321.0	8.073	2.8	1.8
04/05/2011	271	69.95	9.58	199	35.19	5.55	2144.8	2323.5	8.093	3.0	1.9
04/05/2011	271	69.95	9.58	99	35.20	5.80	2151.5	2320.4	8.071	2.9	1.8
04/05/2011	271	69.95	9.58	49	35.20	5.80	2148.5	2322.1	8.084	3.0	1.9
04/05/2011	271	69.95	9.58	29	35.20	5.80	2150.2	2323.8	8.084	3.0	1.9
04/05/2011	271	69.95	9.58	10	35.20	5.79	2151.6	2321.3	8.076	3.0	1.9

Tabell 6b. Rådata og beregnet fra Gimsøy-NW august 2011

datum	stn*	Lat N	Lon E	Dyp (m)	salthalt	T (°C)	CT $\mu\text{mol/kg}$	AT $\mu\text{mol/kg}$	pH in situ	ΩCa	ΩAr
08/23/2011	577	68.58	13.58	126	34.89	7.144	2154.5				
08/23/2011	577	68.58	13.58	99	34.76	7.156	2145.4				
08/23/2011	577	68.58	13.58	74	34.47	7.278	2145.3	2307.1	8.041	2.8	1.8
08/23/2011	577	68.58	13.58	50	34.03	7.953	2108.4	2309.6	8.127	3.4	2.2
08/23/2011	577	68.58	13.58	30	33.77	8.376	2090.8	2278.2	8.098	3.2	2.1
08/23/2011	577	68.58	13.58	20	33.64	9.017	2076.3	2285.9	8.137	3.6	2.3
08/23/2011	577	68.58	13.58	9	33.34	10.991	2048.8	2305.7	8.203	4.4	2.8
08/23/2011	577	68.58	13.58	5	33.22	12.048	2048.4	2245.8	8.074	3.5	2.2
08/24/2011	584	69.95	9.58	1502	34.90	-0.64	2173.6	2292.9	7.996	1.6	1.0
08/24/2011	584	69.95	9.58	1198	34.90	-0.42	2169.6	2295.6	8.024	1.8	1.1
08/24/2011	584	69.95	9.58	998	34.90	-0.14	2163.5	2294.8	8.042	1.9	1.2
08/24/2011	584	69.95	9.58	800	34.94	1.09	2166.0	2294.3	8.022	2.0	1.2
08/24/2011	584	69.95	9.58	500	35.18	4.78	2153.2	2310.3	8.044	2.5	1.6
08/24/2011	584	69.95	9.58	399	35.19	5.06	2156.1				
08/24/2011	584	69.95	9.58	298	35.19	5.53					
08/24/2011	584	69.95	9.58	198	35.22	6.44	2154.6				
08/24/2011	584	69.95	9.58	98	35.25	7.36	2155.2	2343.9	8.088	3.2	2.0
08/24/2011	584	69.95	9.58	48	35.24	8.62	2150.4	2319.1	8.027	3.0	1.9
08/24/2011	584	69.95	9.58	26	34.93	10.29	2106.0	2328.1	8.121	3.8	2.4
08/24/2011	584	69.95	9.58	8	34.26	11.61	2065.2	2296.3	8.132	3.9	2.5

(* NB: Tabell 6a og 6b stasjonsnavnner ulike på samme posisjon)

Tabell 7. Fugløy-Bjørnøya 21 januar 2011

<i>stn</i>	<i>Lat N</i>	<i>Lon E</i>	<i>Dyp (m)</i>	<i>salthalt</i>	<i>T (°C)</i>	<i>CT μmol/kg</i>	<i>AT μmol/kg</i>	<i>pH in situ</i>	<i>ΩCa</i>	<i>ΩAr</i>
26	71.00	19.90	7	34.59	5.31	2133.9	2304.6	8.095	3.0	1.9
26	71.00	19.90	19	34.61	5.36	2133.4	2304.2	8.094	3.0	1.9
26	71.00	19.90	29	34.73	5.59	2140.3	2318.6	8.105	3.1	1.9
26	71.00	19.90	49	34.90	6.03		2312.4			
26	71.00	19.90	75	35.03	6.59	2146.8	2318.4	8.068	3.0	1.9
26	71.00	19.90	103	35.09	6.69	2151.4	2325.1	8.068	3.0	1.9
26	71.00	19.90	123	35.09	6.65	2150.0	2331.9	8.086	3.1	2.0
26	71.00	19.90	147	35.11	6.65	2151.7	2323.8	8.063	2.9	1.9
26	71.00	19.90	180	35.16	6.69	2153.5	2322.2	8.053	2.9	1.8
31	72.00	19.68	301	35.09	3.53	2164.6	2314.6	8.055	2.5	1.6
31	72.00	19.68	246	35.14	4.70	2156.0	2322.4	8.077	2.8	1.8
31	72.00	19.68	199	35.15	5.14	2152.8	2332.0	8.101	3.0	1.9
31	72.00	19.68	150	35.15	5.24	2152.1	2323.4	8.083	2.9	1.8
31	72.00	19.68	126	35.15	5.30	2151.8	2318.1	8.072	2.8	1.8
31	72.00	19.68	100	35.14	5.44	2151.0	2317.7	8.072	2.9	1.8
31	72.00	19.68	74	35.12	5.48	2150.3	2314.4	8.067	2.8	1.8
31	72.00	19.68	47	35.12	5.48	2149.8	2322.4	8.087	3.0	1.9
31	72.00	19.68	29	35.12	5.48	2151.1	2325.3	8.091	3.0	1.9
31	72.00	19.68	19	35.12	5.48	2150.8	2322.5	8.086	3.0	1.9
31	72.00	19.68	8	35.12	5.48	2149.7	2315.6	8.073	2.9	1.8
31	72.00	19.68	5	35.12	5.48	2150.5	2317.2	8.075	2.9	1.8

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 978-82-577-6100-4	
Prosjektleder Norman W. Green		Klifs kontaktperson Gunnar Skotte	
		TA-number 2936/2012	
		År 2012	Sider 65
		Klif's kontrakt nummer 5012935	
Utgiver Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NIVA-rapport 6365-2012		Prosjektet finansiert av Klima- og forurensningsdirektoratet, Klif	
Forfattere Chierici, M*, Kai Sørensen**, Truls Johannessen***, Knut Yngve Børsheim*, Are Olsen***, Evgeniy Yakushev**, Abdirahman Omar***, Tomas Adler Blakseth**		*Havforskningsinstituttet (IMR) **Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ***Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR)	
Tittel Tilførselsprogrammet 2011. Overvåking av forsuring av norske farvann			
Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av IMR, NIVA og BCCR i oppdrag fra Klif i 2011. Den er basert på målinger mellom Bergen-Kirknes og Tromsø-Longyearbyen utført av NIVA. Prøvetaking av vertikalen fra Torungen-Hirtshals, Svinøy-NW, Gimsøy-NW og Fugløya-Bjørnøya er utført av IMR. Resultatene fra Norskehavet viser en klar sesongvariasjon i øvre 100 m av vannsøylen, som for det meste er styrt av styrken på primærproduksjonen. I tillegg påvirkes karboninnholdet av kystvannet som brer seg vestover i løpet av sommeren. Metningsgraden for aragonitt (Ω_{Ar}) er mellom 1.95 til 1.6 på 300 m dyp. I Norskehavet befinner $\Omega=1.6$ seg på 500 m dyp, og i Nordsjøen på ca 200 m. I Norskehavet er det undermetning fra like under 1500 meters dyp av aragonitt og overmetning av kalsitt i hele vannsøylen. I Barentshavet lå Ω_{Ar} mellom 1.07-2.62 med min. verdier i kystområdet mellom Kirkenes og Tromsø i januar (1.07-2.03), mens Ω_{Ar} var 1.49-2.52 i desember, og karakterisert av en stor variasjon fra 1.67 til 2.62 som skyldes en økt biologisk produksjon. Historiske data er sammenlignet på Havforskningsens hydrografiske seksjoner i 2011 og CARINA databasen. Primært ble data fra 1997-2011 i nord-vestlig retning fra Gimsøy og Svinøy ble benyttet for å studere trender i Norskehavet, men analysen omfatter også data fra Barentshavet. Trender viser en økning av karbonkonsentrasjonene målt i 2011 relativt til historiske data. Dette gjenspeiler hovedsakelig havets opptak av menneskeskapt CO_2 . Konklusjonen er at de fleste områder studert i denne rapporten er mettet i forhold til kalsitt, og undermetning av aragonitt viser seg på 1500 meters dyp i Norskehavet.			
4 emneord Havforsuring Overvåking Norskehavet Norske farvann		4 subject words Ocean acidification Monitoring Norwegian 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:

- overgjødning
- forsuring (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 1124/2012
TA 2936/2012
