





MILJØOVERVÅKNING

M-357 | 2015

Overvåking av havforsuring i norske farvann

2014



KOLOFON

Utførende institusjon Havforskningsinstituttet, Uni Research, Norsk institutt for vannforskning Oppdragstakers prosjektansvarlig Kontaktperson i miljødirektoratet Melissa Chierici Gunnar Skotte M-nummer År Sidetall Miljødirektoratets kontraktnummer 2015 94 357 14078029 Utgiver Prosjektet er finansiert av Miljødirektoratet Miljødirektoratet Forfatter(e) Chierici, M., I. Skjelvan, M. Norli, H.H. Lødemel, L.F. Lunde, K. Sørensen, E. Yakushev, R. Bellerby, A.L. King, S.K. Lauvset, T. Johannessen, K.Y. Børsheim

Tittel - norsk og engelsk

Havforsuringsovervåking i norske farvann i 2014 /Monitoring ocean acidification in Norwegian seas in 2014

Sammendrag - summary

Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført av Havforskningsinstituttet (IMR), Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Uni Research (UNI) på oppdrag fra Miljødirektoratet. Måleområdet i rapporten går fra Skagerrak/Nordsjøen, gjennom hele Norskehavet og til nordlige deler av Barentshavet. Variabiliteten i dataene er store, og mye av dette er knyttet til variasjon i hydrologien, der blanding mellom salt atlantisk vann og ferskvann fra elver, Østersjøen eller issmelting i nord spiller inn. Totalt karbon (CT) og totalt alkalinitet (AT) påvirkes av den ferske og til dels kalde kyststrømmen langs hele norskekysten, og verdiene her er relativt lave. Tilsvarende ses også langs iskanten nord i Barentshavet. Biologisk aktivitet er også en viktig driver for observerte variasjoner i karbonatsystemet, og dette er tydeligst i de kontinuerlige og underveismålingene gjort over lengre tid, for eksempel på Stasjon M i Norskehavet og i Barentshavsåpningen. Stedvis ses lave pH-verdier som skyldes økt CO2-innhold i overflaten, for eksempel sør i Norskehavet. Midlere aragonittmetning på snittet Torungen-Hirtshals i Skagerrak over alle dyp og alle stasjoner er 1,6 (i februar), mens tilsvarende mars-verdi sør og nord i Norskehavet (Svinøy-NV og Gimsøy-NV) er henholdsvis 1,7 og 1,67. Ved Barentshavsåpningen er midlere aragonittmetning i mars 1,88 mens den lenger øst og nord i september er 1,82. Lave metningsverdier for aragonitt finnes i bunnvannet, som i Barentshavet og Skagerrak har verdi rundt 1,4. I Norskehavet er vannet dypere enn ca. 1900 m undermettet med aragonitt, mens det er episoder med undermettet overflatevann i Skagerrak om vinteren. Rapporten er basert på målinger utført av IMR, UNI og NIVA primært i 2014, der IMR har gjort vannsøylemålinger, i

hovedsak vinterstid, langs faste snitt i Nordsjøen (Torungen - Hirtshals), Norskehavet (Svinøy-NV, Gimsøy-NV), og i Barentshavet langs to snitt (Fugløya-Bjørnøya, og stasjoner i det nordøstlige Barentshavet). UNI har gjort vannsøylemålinger gjennom store deler av året langs Svinøy-NV og på Stasjon M i Norskehavet, og kontinuerlige overflatemålinger på Stasjon M og på F/F G.O. Sars. UNI har også gjort kontinuerlige målinger i blandingslaget ved Stasjon M. NIVA har gjort overflatemålinger store deler av året på strekningen Oslo-Kiel og Tromsø-Longyearbyen (fem år i 2014), og langs Bergen-Kirkenes vinterstid.

This is the annual report based on the program "Monitoring ocean acidification in Norwegian waters" funded by Miljødirektoratet. The measurements are performed by Institute of Marine Research (IMR), Norwegian Institute for Water Research (NIVA), and Uni Research (UNI), and the measurements cover the area from Skagerrak and northwards towards the northern part of Barents Sea. The data variability is large, which partly are connected to mixing of water masses with different salinity. Along the Norwegian coast, total carbon (CT) and total alkalinity (AT) are influenced by the fresh and cold coastal current, and the carbon values are low. A similar effect is seen at the marginal ice zone in the northern Barents Sea. Biological activity is also an important driver for the observed changes in the carbonate system and the effects of this are seen at some locations, particularly in the continuous and underway measurements performed over some time, e.g. at Station M in the Norwegian Sea and in the Barents Sea Opening. Low pH values due to increased CO2-content are seen at some locations, e.g. in the southern Norwegian Sea. Aragonite saturation averaged over all depths and stations is 1.6 in Skagerrak (in February), 1.7 and 1.67 in southern and northern Norwegian Sea (in March), respectively, 1.88 the in Barents Sea Opening (in March), and 1.82 in the north eastern Barents Sea (in September). Low aragonite saturation is seen in the bottom water, and in the Barents Sea and Skagerrak this value is around 1.4. Deeper than about 1900 m in the Norwegian Sea the water is under saturated with respect to aragonite, while super saturation is seen at a few locations during winter in the Skagerrak surface water.

The report is based on measurements primarily performed in 2014 by IMR, UNI, and NIVA. IMR conducted water column measurements along repeated transects during winter in the North Sea (Torungen - Hirtshals), two sections in the Norwegian Sea (Svinøy-NW and Gimsøy-NW), and two sections in the Barents Sea (Fugløya-Bjørnøya, and stations in the northeasterly part of the Barents Sea). UNI conducted water column measurements during large parts of the year at Svinøy-NW and at Station M as well as continuous surface measurements at Station M and at R/V G. O. Sars. UNI also performed mixed layer measurements at Station M. NIVA performed surface water measurements large parts of the year on three sections; Oslo-Kiel (North Sea), Tromsø-Longyearbyen (Barents Sea), and Bergen-Kirkenes (coastal).

4 emneord

Karbonmålinger, mellomårlig-og sesongsvariasjon, biogeokjemiske prosesser

Forsidefoto

[Forsidefoto: Elisabet Molander, Miljødirektoratet]

Tromsø, juni 2015

Forfattere:

Melissa Chierici*, Ingunn Skjelvan**, Marit Norli***, Helene Hodal Lødemel*, Linda Fonnes Lunde*, Kai Sørensen***, Evgeniy Yakushev***, Richard Bellerby***, Andrew Luke King***, Siv Kari Lauvset**, Truls Johannessen**, Knut Yngve Børsheim*

*Havforskningsinstituttet (IMR) **UniResearch (UNI) *** Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

Denne rapporten refereres slik:/This report should be cited:

Chierici, M., I. Skjelvan, M. Norli, H.H. Lødemel, L.F. Lunde, K. Sørensen, E. Yakushev, R. Bellerby, A.L. King, S. K. Lauvset, T. Johannessen, K.Y. Børsheim. 2015. Overvåking av havforsuring i norske farvann i 2014, Rapport, Miljødirektoratet, M-354|2015.

4 subject words

Carbonate system, interannual and seasonal variability, biogeochemical processes

Innhold

Innhol	d	4					
Sam	mendrag	6					
Exte	ended English Summary	8					
1. Innl	edning 1	3					
2. Met	2. Metodikk og data						
2.1	Prøvetaking og måleparametere 1	7					
2.2	Måling av total alkalinitet og totalt uorganisk karbon 1	8					
2.3	pH- og pCO2- målinger 1	9					
	2.3.1 pH-målinger	9					
	2.3.2 pCO ₂ -målinger 1	9					
2.4	Beregning av pH og metningsgraden av kalsitt og aragonitt2	0					
3. Resu	3. Resultater						
3.1	Vannsøyledata fra Torungen-Hirtshals2	0					
3.2	Vannsøyledata fra Svinøy-NV 2	5					
	3.2.1 Mellomårlig variasjon på Svinøy-NV 2	9					
	3.2.2 Sesongvariasjon på Svinøy-NV 3	0					
3.3	Vannsøylen på Stasjon M 3	3					
	3.3.1 Diskrete målinger 3	3					
	3.3.2 Kontinuerlige målinger 3	7					
3.4	Vannsøylen Gimsøy-NV 3	9					
3.5	Vannsøylen Fugløya-Bjørnøya 4	3					
3.6	Vannsøylen i nordøstlige Barentshav 4	7					
3.7	Overflatedata	0					
	3.7.1 Barentshavsåpningen, Tromsø-Longyearbyen5	1					
	3.7.2 Oslo-Kiel	6					
	3.7.3 Kirkenes-Bergen	0					
3.8	Underveis pCO2-data i de Nordiske hav6	9					
4. Opp	summering og anbefalinger	2					
4.1	Nordsjøen	2					
4.2	Norskehavet	3					
4.3	Barentshavet	4					
	4.3.1 Drivere av endringer	4					
4.4	Anbefalinger	5					
5. Refe	eranser	6					

6. Vedlegg A. Datatabeller	·	7	9
----------------------------	---	---	---

Sammendrag

Denne rapporten gjelder data og undersøkelser av havforsuring som er utført hovedsakelig i 2014 av IMR, NIVA og UNI på oppdrag fra Miljødirektoratet innenfor programmet "Havforsuringsovervåking i norske farvann". Flere års data viser at mye variabilitet har blitt tilskrevet årstidsvariasjon i hydrologien, og vi har brukt vår forståelse av årstidsvariasjoner i den biologiske aktiviteten til å foreslå andre årsaker til variabilitet i CO₂-systemet.

Den sesongmessige variasjonen i CO₂-systemet i Skagerrak (Nordsjøen) er hovedsakelig drevet av store endringer i saltholdighet, som er et resultat av svingninger i forholdet mellom ferskvannstilførsel fra elver og Østersjøen og saltvannstilførsel fra Atlanterhavet. IMRs vinterdata fra snittet Torungen-Hirtshals i 2014 viser generelt lave A_T - og C_T -verdier i øvre vannlag som reflekterer innblanding av ferskvann i overflaten. De høyeste A_T og C_T vises i dypere vannlag og er sannsynligvis et resultat av CO_2 produksjon fra respirasjon av organisk materiale. I de øvre 100 m viser pH og aragonittmetning (Ω_{Ar}) en viss variasjon langs snittet med litt høyere verdier (ca. 8,06 og 1,7) i åpent hav og lavere verdier i de ferskvannspåvirkede kyststasjonene i nord (ca. 8,03 og 1,6) og ved stasjonene i sør (ca. 8,01 og 1,55). De laveste pH- og Ω_{Ar} -verdiene ses i kystvannet i nord og i dypvannet i sør. I Atlantervannet på 100-200 m dyp er pH ca. 8,03 og $\Omega_{
m Ar}$ ca. 1,7. Middelverdi for aragonittmetningen var 1,6 \pm 0,1 for alle stasjoner og dyp langs snittet. Sammenlignet med tilsvarende middelverdi i 2012 på 1,9 representerer 2014-middelverdien en signifikant lavere metning på ca.0,3 Ω_{Ar} -enheter. Dette skyldes antageligvis naturlig variabilitet. En del av forskjellen ses i overflaten der pH, kalkmetningen og saltholdighet var høyere i 2012 (Chierici m fl., 2013; 2014). Verdiene fra 2013 (middelverdi aragonittmetning på 1,7) ligner de som observeres i 2014, og ingen sikker trend kan ses i denne korte tidsperioden.

NIVAs underveismålinger fra *M/S Color Fantasy* mellom Oslo og Kiel viser store variasjoner i C_T og A_T over tid og sted. Sommerstid ses generelt lave C_{T^-} , A_{T^-} og pCO₂-verdier nær kysten, mens pH er høyere. Situasjonen er omvendt om vinteren, med høye C_{T^-} , A_{T^-} og pCO₂-verdier, lave pH-verdier og en aragonittmetning i nærheten av 1 i Skagerrak og Nordsjøen. Gjennomsnittsverdier for pH i overflaten i Skagerrak er 8,14 om sommeren og 8,06 om vinteren mens tilsvarende verdier er 8,17 og 8,03 i Oslofjorden.

Sommermålinger som er gjort av UNI på *F/F G.O. Sars* i Skagerrak og Nordsjøen viser relativt høye pH-verdier (ca. 8,05 - 8,14) for området og også høye Ω_{Ar} -verdier (ca. 2,3 - 3). Her er det sannsynligvis biologisk produksjon som hovedsakelig driver både pH og Ω_{Ar} mot høye verdier, og påvirkning av ferskvann er svakere enn det som ses tidligere på året langs Torungen-Hirtshals.

I Norskehavet finnes målinger fra to snitt (Svinøy-NV og Gimsøy-NV) og en fast stasjon (Stasjon M). Svinøy-NV og Stasjon M har data fra store deler av året, mens Gimsøy-NV er målt om vinteren. Den ferske kyststrømmen påvirker de kystnære stasjonene på Svinøy-NV og i en litt mindre grad Gimsøy-NV. Langs snittet Svinøy-NV ses lave A_T- og C_T-verdier ut til ca. 50 km fra kysten (100 km for C_T). Atlanterhavsvannet har høye C_T-konsentrasjoner og viser gradvis høyere verdier nordvestover i Norskehavsbassenget. Lengst i nordvest avtar C_T-verdiene i overflaten. Laveste pH-verdi (ca. 8,02) finnes i overflaten omtrent midt på snittet. I overflaten vinterstid er aragonittmetningen relativt homogen på ca. 1,85 til 2,0. Metningen avtar med økende dyp, og på 1500 m dyp er aragonittmetningen rundt 1,1 på den nordvestligste stasjonen. På Gimsøy-NV finner vi denne metningsverdien på ca. 1000 m dyp. Fire år med vinterdata ved 2° øst langs Svinøy-NV viser minkende aragonittmetning fra 2011 til 2014 i de øvre 50 m. Dette skyldes en større andel kystvann med lavere saltholdighet som resulterer i lavere aragonittmetning i 2014 sammenlignet med 2011. Fire år er likevel for kort til å kunne påvise signifikante trender. Sesongvariasjon langs Svinøy-NV er sterkt påvirket av kystvann der kyststrømmen tar med seg ferskvann i overflata på sensommer og høst. Dette gir lavere A_T og C_T, men disse parameterne, spesielt C_T, blir også påvirket av biologisk produksjon som tiltar utover våren, og C_T avtar i det øverste vannlaget allerede fra mars. Sesongvariasjonene er størst i overflatevannet og avtar nedover i dypet. pH og aragonittmetning i overflata er også påvirket av biologisk aktivitet, og på midlere dyp synker pH på grunn av økende mengder tilført remineralisert materiale.

På Stasjon M, som er litt lenger nord og vest i Norskehavet ses store sesongvariasjoner med ferskt kystvann synlig i overflata i juli til oktober og avtakende C_T-verdier i øverste vannlag på grunn av biologisk produksjon fra rundt april og utover. Biologisk produksjon bidrar til å øke aragonittmetningen fra vinter til sommer fra 1,9 til 2,7. Metningshorisonten for aragonitt (skillet mellom overmettet og undermettet vann) ligger på 1800 til 1900 m dyp med undermettet (Ω <1) vann på 2000 m dyp. Lenger nord i Norskehavet ser vi lignende variasjon, men med lavere middelverdier av aragonittmetning på rundt 1,67 ±0.22 sammenlignet med lenger sør langs Svinøy-NV (1,72±0.3).

Mellom Kirkenes og Bergen ble karbonparametere målt gjennom året. I likhet med observasjoner i Nordsjøen og Skagerrak var variasjonene i C_T og A_T også høye langs norskekysten på grunn av biologisk produksjon (C_T avtar) og ferskvannstilførsel (elver, avrenning og smeltevann). Om vinteren var der observasjoner av lave C_T og A_T, lave pH og høye pCO₂ i noen kystområder og fjorder som for eksempel stasjoner nær Tromsø/Lofoten og i Trondheimfjorden. Gjennomsnittlig pH langs kysten var 8,05. Aragonittmetningen varierer i overflata langs kysten om vinteren, med generelt høyere verdier (ca. 2,1) i nord og sør, og med de laveste verdiene (ca. 1,6) midt på kyststrekningen. Middelverdi i aragonittmetning er på 1,5 ± 0,3.

Data fra F/F G.O. Sars fra sommer og høst viser store variasjoner i overflatetemperatur og salt. Beregna pH og aragonittmetning spenner henholdsvis mellom 8,1 - 8,2 og 2,2 - 2,9 om sommeren (sørlige og nordlige Norskehav), mens tilsvarende spredning i sørlige Norskehav om høsten er 8,04 - 8,08 og 2,0 - 2,3. Biologisk produksjon/remineralisering og innblanding av ferskere vann er viktige driverne for endringene i pH og Ω_{Ar} .

Overflate- og vannkolonnedata fra Fugløya-Bjørnøya langs Barentshavsåpningen (BSO) fra 2014 bekrefter det som også ble vist i Chierici (2013) at det er store mellomårlige variasjoner i hele CO₂-systemet. I kystnær stasjon er A_T og C_T influert av ferskvann og har lave verdier i de øverste 50 m. Lenger nord er A_T relativ homogen og høy i hele vannkolonnen, men verdiene avtar ved den ferske og kalde polarfronten ved 74°N. Høyest C_T, og lavest pH (8,05) og Ω_{Ar} (1,5) ses i det dype vannet sør for 73°N. I 2014 var C_T lav i overflaten, noe som sannsynligvis er en kombinert effekt av primærproduksjon og påvirkning av smeltevann (ved Bjørnøya). Middelverdi i aragonittmetning for alle dyp langs hele snittet Fugløya-Bjørnøya er 1,88 ± 0,15. Langs snittet i nordøstligste Barentshavet, som er mer påvirket av isdekke og smeltevann, er midlere aragonittmetning lavere; 1,82 ± 0,3. I det nordøstlige Barentshavet ses laveste pH (ca. 8,0) og aragonittmetning (< 1,4) i det dypeste vannet ved 75,5 °N og i dypet ved iskanten i nord, der smeltevann ved iskanten påvirker parameterne. Den høye C_T og lave Ω_{Ar} ved bunn er trolig fra mikrobiell nedbrytning av organisk materiale over lang tid og ikke fra antropogen havforsuring. Aragonitt og kalsitt er overmettet i hele Barentshavet og på alle vanndyp. Videre målinger vil bidra til å forstå mellomårlige variasjoner og påvirkning av atlanterhavsvann og ferskvann fra Arktis.

Overfarten Tromsø-Longyearbyen er målt gjennom året og om sommeren er C_{T^-} , A_{T^-} og pCO₂-verdiene generelt lave, mens pH er høye. Om vinteren er bildet motsatt, med høye C_{T^-} , A_{T^-} og pCO₂-verdier og lav pH. Innblanding av ferskvann og biologisk produksjon er viktige faktorer for observert variasjon. Gjennomsnittlige verdier for pH i kystvann, Atlantisk vann og vann nær Svalbard er henholdsvis 8,12, 8,11 og 8,19 om sommeren, og 8,07, 8,07 og 8,11 om vinteren.

Overflate-pCO₂ er målt i store deler av Barentshavet i august og september fra F/F G.O. Sars. pCO2 varierte mellom 250 og 350 µatm, med laveste verdier i nord. I denne perioden varierer pH mellom ca. 8,0 - 8,26 med de høyeste verdiene i nord, mens aragonittmetningen har et spenn på ca. 1,7 - 2,4, med de laveste verdiene i nord. Hele Barentshavet er overmettet med aragonitt i sommersesongen.

Rapporten er basert på vannsøylemålinger, overflatemålinger i tillegg til kontinuerlige målinger av pH og pCO₂. Vannsøylemålingene er gjort vinterstid langs faste snitt i Nordsjøen (Torungen - Hirtshals) og Norskehavet (Svinøy-NV, Gimsøy-NV), og i Barentshavet langs to snitt (Fugløya-Bjørnøya i mai, nordøstlige Barentshavet langs Vardø-N snittet i september) utført av Havforskningsinstituttet. UNI har gjort vannsøylemålinger store deler av året langs Svinøy-NV og på Stasjon M i Norskehavet. UNI har også gjort kontinuerlige overflatemålinger av pCO₂ og pH samt pH-målinger på 150-200 m dyp på Stasjon M og kontinuerlige pCO₂målinger på *F/F G.O. Sars* i de fleste områder av de Nordiske hav. NIVA har samlet inn overflatemålinger gjennom hele året på strekningen Oslo-Kiel og Tromsø-Longyearbyen (fem år i 2014) og i februar langs Bergen-Kirkenes.

Alle karbonatsystemdata fra de ulike havområdene som presenteres i rapporten er et resultat av påvirkning av forskjellige vannmasser, biologisk produksjon og respirasjon. De dominerende vannmassene er kyststrømmen, Atlanterhavsvann og polarvann. Vi ser også innflytelse av smeltevann i nordlige Barentshavet.

Extended English Summary

This is the annual report based on the program "Monitoring ocean acidification in Norwegian waters" funded by Miljødirektoratet . This chapter contains a summary in English with reference to figures for each chapter. The report is based on measurements of A_T , C_T and pH by the Institute of Marine Research (IMR), Norwegian Institute for Water Research (NIVA) and Uni Research (UNI) primarily from 2014. IMR conducted water column measurements along repeated transects during winter in the North Sea (Torungen - Hirtshals) and at two sections in the Norwegian Sea (Svinøy-NW and Gimsøy-NW), and at two sections in the Barents Sea (Fugløya-Bjørnøya in May, and in the northeasterly part of the Barents Sea in September). Due to extended sea ice coverage in northern Barents Sea in most parts of 2014, the northernmost stations are at 78 °N along the Vardø-N section. The Norwegian Sea water column was also investigated by UNI which performed seasonal studies along parts of the

Svinøy-NW section and at Station M. Moreover, UNI also contributes with continuous pCO_2 data at Station M (surface and mixed layer) as well as surface pCO_2 measurements from large parts of the Nordic Seas. NIVA performed surface water measurements on three sections; Oslo-Kiel (North Sea) and Tromsø-Longyearbyen (Barents Sea) during all year, and Bergen-Kirkenes (coastal water) in February, and present surface water variability both on seasonal and interannual basis. All data positions are shown in *Figure 1*.

This report includes more data and descriptions on the seasonal and interannual carbonate system variability in both the water column (Norwegian Sea) and the surface waters in the Barents Sea opening. Combined with the required hydrographic and ancillary variables (salinity, temperature, nutrients) it is possible to partly account for the changes in the background attributed to hydrographic variability. For water column data this is explored for each year and the observed interannual variability is largely derived to changes in the Atlantic water inflow, and the extent of coastal and polar water. In the Norwegian Sea we also found indications of decreasing aragonite saturation in the upper 50 m of the water column from 2011 to 2014. Water column data also provides information to be used in projections of future CO_2 concentration scenarios and estimates of changes in the depth of the CaCO₃ saturation horizon. However, to determine the individual drivers of ocean acidification and their regional, seasonal and interannual variability requires a more integrated monitoring approach including measurements or proxies for biological productivity, ocean physics, and land-ocean exchange, in both surface water and in the water column. In addition to Figures, Tables with data from the water column transects, and discrete surface water samples are presented at the end of the report (Vedlegg A).

North Sea

In the North Sea we have winter data from the water column sampled on the IMR repeated transect between Torungen- Hirtshals. Figures 2 to 5 shows the variability of salinity, temperature, A_T, C_T, pH and Ω_{Ar} along the transect in February 2014. Generally, the lowest pH and Ω_{Ar} values are observed in the coastal water and in the deep water. *Figure 2b* shows the main surface currents in the North Sea. The CO_2 system seasonal variability across the Skagerrak is primarily driven by large changes in salinity resulting from the balance between perturbations from riverine and Baltic sources and rectification from the Atlantic Ocean. Again, with the high biological activity and land-ocean interactions in this area, strong influences must come from production and riverine processes but these are not included in this study. Coastal water leads to lower aragonite and pH values and the influences of Atlantic water results in higher aragonite saturation, which was particularly evident in 2012 when the water column was more influenced by Atlantic water than in 2014. Interannual variability in the 4-year period of collected data shows lower aragonite saturation (average from all depths and whole transect) of about 0.3 units in 2014 relative to the values in 2012 (Chierici et al., 2013; 2014). However, we see similar values in the whole water column in 2014 relative to 2013 and no clear trend can be observed during this relatively short time period.

Seasonal data from the surface waters between Oslo and Kiel are taken from the SOOP line installed onboard the cruise ship, *M/S Color Fantasy*, and analyzed by NIVA. Stations collected in 2014 are seen in *Figure 34*. *Figures 35-38* show the seasonal as well as interannual variability in salinity, temperature, C_T, A_T, pH and Ω_{Ar} between 2012 and 2015. There are large variability in C_T and A_T in the underway data. During summertime, near shore values of C_T, A_T, and pCO₂ were generally low, while pH was high. Waters particularly high in

 CO_2 , low in pH, and an Ω_{Ar} approaching 1 were seen in the Skagerrak and North Sea area during winter.

UNI has performed underway measurements onboard R/V G.O. Sars, and summer values of pH and Ω_{Ar} in the Skagerrak and North Sea area (see **Figure 44**) are 8.05 - 8.15 and 2.3 - 3.0, respectively, which is relatively similar to summer values measured by NIVA in Skagerrak. Biological production is most likely the main driver for both pH and Ω_{Ar} , while fresh water influence is weaker compared to winter observations along Torungen -Hirtshals.

Norwegian Sea

In the Norwegian Sea we have water column data from two sections (Svinøy-NW and Gimsøy-NW) in addition to one fixed point station (Station M), and Figures 1, 6a and 18 show the position of these sites. While data from Station M and parts of Svinøy-NW covers most of the year, the Gimsøy-NW is sampled in winter. Figures 7 and 19 show how salinity and temperature varies south and north in the Norwegian Sea during winter and at both sites the fresh coastal current dominates the section close to shore, however, to a less degree at the Gimsøy-NW compared to the Svinøy-NW. The fresh coastal current is influencing both A_T and C_{T} and these parameters are relatively low from the coast and 50-100 km westwards. The C_{T} values in the Atlantic water are between 2150 and 2160 μ mol kg⁻¹ at Svinøy-NW, (*Figure 8*) where the Atlantic layer reach down to approximately 500 m, while at Gimsøy-NW, where the Atlantic layer has deepened to approximately 800 m, the C_T values have increased to between 2155 and 2175 μ mol kg⁻¹ (*Figure 20*). At Station M, which is between the two previous mentioned sites, the winter C_T varies between 2145 and 2160 μ mol kg⁻¹ in the Atlantic water (Figure 12d), similar to the Svinøy-NW values. The deep Arctic water at Svinøy-NW and Station M have pH value of approximately 8.02 (Figure 9 and 12e), while surface winter values varies between 8.02 and 8.09 at Svinøy-NW. The winter surface aragonite saturation is relatively homogenous around 1.85 to 2.0 (*Figure 9*), and is gradually decreasing with depth. At Svinøy-NW the aragonite saturation is about 1.1 at 1500 m depth, while at Gimsøy-NW this saturation value is found at 1000 m depth (*Figure 21*). At Station M the aragonite saturation horizon, where Ω_{Ar} = 1, is found at about 1800-1900 m depth (*Figure* 12f). Based on four years of data (2011 to 2014) the aragonite saturation at 2°E at Svinøy-NW has decreased in the upper 50 m (Figure 10). This is explained by a larger amount of coastal fresh water occurring in 2014 compared to 2011. However, the time series is too short to see any significant interannual trend.

Seasonal variations of salinity and temperature are seen in *Figure 11a* and *b* (Svinøy-NW) as well as in *Figure 12a* and *b* (Station M), and it is clearly seen how fresh coastal water spread westwards and influences the upper waters in late summer and early fall. This drives A_T and C_T towards lower values, but C_T is to a higher degree influenced by biological production, which starts in early spring and results in decreasing C_T values already from March. The seasonal variation is largest in the upper water and decreases with increasing depth. The cold deep arctic water is stable with no significant changes over one year. pH and aragonite saturation are also influenced by biology and at intermediate depths the pH increases due to increasing amount of remineralized material (*Figure 12e*). The surface aragonite saturation at Station M increases from winter values of 1.9 to summer values of 2.7 due to biological production, while at Svinøy-NW further south this seasonal change is slightly less (*Figure 12f* and *11f*).

The Norwegian coastal surface water was also monitored by the NIVA line between Kirkenes and Bergen (*Figure 39a*). C_T and A_T show high variability (*Figure 41a* and *b*), similar to

observations in the North Sea. The spatial variability in the carbonate system was likely due to biological production (drawdown of C_T) and freshwater input (rivers, runoff, and meltwater) near the coast. Along the Norwegian coast in the wintertime, there were observations of lower C_T and A_T , lower pH, and higher pCO₂ (*Figure 41a* and *b*, *Figure 42a* and *b*) in certain coastal and fjord locations (stations close to Tromsø/Lofoten Islands and Trondheimfjord). The average aragonite saturation along the coast is 1.5, while the average pH is 8.05.

Data from R/V G.O. Sars from summer and fall show large variations in surface temperature and salinity (*Figure 44* and *45*). Computed pH and aragonite saturation show a span of 8.1 to 8.2 and 2.2 to 2.9, respectively, during summer in the southern and northern Norwegian Sea, while the span in the southern part during fall was 8.04 to 8.08 and 2.0 to 2.3, respectively. Biological production / remineralization as well as fresh water input are important drivers for the changes in pH and Ω_{Ar} .

The Barents Sea

In this project, sampling is performed on the IMR repeated transects at Fugløya-Bjørnøya in the Barents Sea opening (BSO) in southwestern Barents Sea and along the Vardø-North transect in eastern Barents Sea sampled in conjunction with the IMR-PINRO Barents Sea ecosystem surveys "Økotokt" (Figure 22a). In the southwest Barents Sea, Barents Sea Opening (BSO), salinity and temperature data show the influence of coastal waters near Fugløya, the warm and saline Atlantic water, and the fresh and colder polar waters near Bjørnøya (**Figure 23**). A_T and C_T from the coastal station is low in upper 50 m due freshwater influence (*Figure 24*). Further north, we find high and relatively homogenous A_T of about 2330-2335 μ mol kg⁻¹ throughout the water column. A_T decreases in the fresh and cold polar waters at the polarfront (74°N). C_T , on the other hand show highest values at Fugløya at 200 m depth, which decreases as in the Atlantic water. C_T is high in the polar water at about 70 m depth (*Figure 24*). Lowest pH (8.05) and aragonite saturation (Ω_{Ar} of 1.5) was found in the deepest waters south of 73° N, likely due to increased CO₂ from respiration of organic matter resulting from primary production. The highest pH values of 8.15 are found in the surface polar waters at Bjørnøya (Figure 25). In the Northeastern Barents Sea, the water mass composition is similar as observed at the Fugløya-Bjørnøya transect. The warm saline Atlantic water reaches the polar front at about 77.5 °N, where it meets the fresh and cold low A_{T} polar waters (*Figure 26*). The northernmost station is located in the marginal ice zone and is influenced by sea-ice melt water and polar water inflow seen in the lowest salinity and temperature is found at 78° N. Highest A_T values of 2320 µmol kg⁻¹ are observed in the deepest water between 75°N and 77°N coinciding with high C_{τ} values of 2200 µmol kg ⁻¹ (Figure 27). C_T is also high in the deep waters of the northernmost station at 78 °N, and here we find the lowest Ω_{Ar} saturation (<1.4) and low pH values of about 8.0 (*Figure 28*). These low bottom water values along the transect are likely due to microbial degradation of organic matter over time and not from anthropogenic CO_2 uptake. In the surface waters highest pH is found in the northernmost stations in the polar waters, which is likely due to CO_2 uptake by primary production at the polar front.

Based on underway surface data collected at the Tromsø-Longyearbyen transect in the Barents Sea opening (*Figure 29*) C_T , A_T , and pCO_2 values were generally low during summertime, while pH was higher. The opposite situation was observed during winter (*Figure 31* and *32*). Freshwater input and biological production play important roles in the observed variation. Average values for pH in coastal water, Atlantic water, and water close to Svalbard

were 8.12, 8.11 and 8.19, respectively during summer, and 8.07, 8.07, and 8.11, respectively during winter.

Sea surface CO_2 content (p CO_2) was measured in large parts of the Barents Sea during August and September using R/V G.O. Sars (Figure 44). p CO_2 varied between 250 and 350 µatm, with lowest values in the north. pH varied between ca. 8.0 and 8.25 with highest values in northern Barents Sea, while aragonite saturation has the lowest values of 1.7 (similar to values measured by IMR) in the north and 2.4 in the southern Barents Sea. No undersaturation of aragonite is observed in the Barents Sea in August and September.

Methods and data

Sampling and instrumentation used for analysis of carbonate system parameters follow international standards described in the Guide to Best Practices for Ocean CO_2 Measurements (Dickson *et al.*, 2007). In some cases the samples are analyzed onboard the ship, but most frequently the samples are preserved using saturated mercuric chloride solution and stored cool and dark before analysis at the partner laboratories.

 A_T was determined using potentiometric titration with 0.1 N hydrochloric acid, and C_T was measured using an acidified sample followed by coulometric titration and photometric detection (IMR and UNI) as well as infrared detection (NIVA). The VINDTA analytical systems (Marianda, Germany) have been used by IMR and UNI for years, and this instrumentation will be used by NIVA from 2015. A_T and C_T values are calibrated by all three institutions using certified Reference Material supplied by A. Dickson, SIO, USA. Data on A_{T} and C_{T} is used together with temperature, depth (pressure), salinity, phosphate, and silicic acid in a chemical speciation equilibrium model, CO2SYS (Pierrot et al., 2006) to calculate the other CO_2 -system-components such as *in situ* pH, aragonite (Ω_{Ar}) and calcite (Ω_{Ca}) saturation. We used the carbonate system constants from Mehrbach et al. (1973), modified by Dickson and Millero (1987), and total pH scale (pH_T) using constant for HSO₄ from Dickson (1990) at 25 °C. Calcium concentration ($[Ca^{2+}]$) was assumed to be proportional to salinity by Mucci (1983), and corrected for pressure following Ingle (1975). NIVA measured pH using a HACH DR-2800 spectrophotometer and UNI measured pH by use of indicator and optical detection. Continuous surface pCO_2 data were performed by UNI onboard R/V G.O. Sars as well as at a surface buoy and a sub-surface mooring at Station M. The G.O. Sars pCO_2 instrument has a NDIR CO_2/H_2O -spectrophotometer (LI-COR 6262) which measures the CO_2 concentration in air in equilibrium with a continuous stream of surface water (Pierrot et al., 2009). The instrument is calibrated using three traceable gas standards supplied by NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA). The surface buoy pCO_2 instrument runs with a Li-COR 820 IR spectrophotometer and one NOAA standard gas, while the sub-surface mooring uses a pCO_2 instruments based on indicator and optical detection.

1. Innledning

Havet absorberer for tiden omtrent 25 % av de årlige menneskeskapte CO_2 -utslippene (Takahashi *m fl.*, 2009), og havforsuringen skjer trolig raskere enn noensinne gjennom de siste 55 millioner år. Det er ventet at havforsuringen vil påvirke strukturen og funksjonaliteten til marine økosystemer, og den kan få betydelige konsekvenser også for høstbare marine ressurser. På bakgrunn av dette er det viktig at graden av havforsuring overvåkes, og dette ble inkludert i Tilførselsprogrammet 2010-2012, som overvåkte forurensningssituasjonen i norske havområder. Siden 2013 ble det til et eget overvåkingsprogram i Miljødirektoratet. De nordligste norske havområdene har et naturlig høyt innhold av uorganisk karbon, og lave havtemperaturer fører i tillegg til høy CO_2 løselighet. Som en følge av dette er innholdet av karbonationer i polare farvann lavt i forhold til sørligere områder, og vi venter at de nordligste 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 (AMAP 2013; Steinacher *m fl.*, 2009).

Havets karbonatsystem er en nøkkelkomponent i det globale karbonkretsløpet. Av uorganisk karbon i havet er det ca. 90 % hydrogenkarbonat (HCO_3^-) og ca. 9 % karbonat (CO_3^{2-}). Havet absorberer store deler av utslippene av karbondioksid (CO_2) fra forbrenning av fossile brensler og avskoging, og når CO₂ fra luften løses i havet dannes karbonsyre (H_2CO_3) som fører til at det blir dannet hydrogenioner (H^+). Karbonsyre omdannes raskt videre til hydrogenkarbonat og karbonat-ioner, som er naturlig til stede i havvannet og danner det såkalte karbonatsystemet (Eq.1).

$$[CO_2]+ [H_2O] \leftrightarrow [H_2CO_3] \leftrightarrow [H^+] + [HCO_3^{-}] \leftrightarrow [H^+] + [CO_3^{2-}]$$
(1)

Havets opptak av CO_2 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. Havets pH ligger generelt omkring 8, men de naturlige variasjonene er store og påvirkes av blant annet temperatur, primærproduksjon, respirasjon og fysiske prosesser som vannblanding. Det er verdt å merke seg at havet aldri vil bli surt (pH lavere enn 7), bare mindre basisk. I havmiljøet er det reduksjonen av tilgjengelige karbonationer som skaper mest bekymring. Karbonat utgjør en viktig byggestein for mange marine organismer, først og fremst for dem med kalkskall og kalsiumkarbonat dannes bare biologisk (Eq. 2) mens oppløsningen er kjemisk (Eq. 3).

$$[Ca2+] + 2[HCO3-] \leftrightarrow CaCO3(s) + H2CO3$$
(2)

$$\mathsf{CaCO}_3(\mathsf{s}) \leftrightarrow \qquad [\mathsf{Ca}^{2+}] + [\mathsf{CO}_3^{2-}] \tag{3}$$

Forenklet kan man si at den reduserte konsentrasjon av karbonat som følger av CO_2 -opptak kan for organismer med kalkskall føre til en betydelig svekket evne til å overleve. For eksempel kan havforsuringen svekke en rekke kommersielle skalldyrarter (Talmange og Gobler, 2009; Andersen *m fl.*, 2013; Agnalt *m fl.*, 2013) og de betydelige forekomstene av kaldtvannskoraller langs norskekysten (Mortensen m fl., 2001; Turley m fl., 2007; Järnegren og Kutti, 2014). Ved tilstrekkelig grad av havforsuring vil vannet bli undermettet med hensyn på karbonat-ioner (CO₃²⁻) og da vil kalk oppløses (CaCO₃) og skallet til enkelte organismer blir kjemisk ustabilt (Orr m fl., 2005). Nye studier tyder på at mange organismer opplever stor sesong- og døgnvariasjon i pH og karbonat-konsentrasjon, som indikerer at de fleste organismer tilpasser seg forholdene. Det har også vist seg at ikke-kalkskalldannende organismer også kan bli påvirket negativt av endring i CO₂ eller lav pH. Det finnes også organismer som reagerer positivt på høyt CO₂-innhold og lav pH. Det er derfor vanskelig at forutsi hvilke organismer som kommer til å bli skadet mest. Desto viktigere er det å studere de naturlige variasjoner av karbonatsystemet for å kunne bruke relevante nivåer på karbonatsystemet i effektforsøk og følge med på utviklingen av nivåene av karbonation-konsentrasjon og såkalt metningsgrad av de to vanligste former for kalk i havet; aragonitt og kalsitt.

Faktaboks

- Havets pH ligger generelt omkring 8, men de naturlige variasjonene er store og påvirkes av blant annet temperatur, primærproduksjon, respirasjon og fysiske prosesser som vannblanding.
- Havforsuring betyr at pH-verdien i havet blir litt lavere enn den generelle verdien på rundt 8. Dette skjer på grunn av ytre påvirkninger.
- Havet vil aldri bli surt (pH lavere enn 7), bare mindre basisk.
- At havet blir surere vil primært påvirke organismer med kalkskjell eller kalkskjelett, siden kalk vil løses når pH-verdien er for lav.
- Mange organismer opplever stor sesong- og døgnvariasjon i pH og karbonatkonsentrasjon, som indikerer at de fleste organismer tilpasser seg forholdene. Det har også vist seg at ikke-kalkskalldannende organismer også kan bli påvirket negativt av endring i CO₂ eller lav pH. Det finnes også organismer som reagerer positivt på høyt CO₂-innhold og lav pH. Det er derfor vanskelig at forutsi hvilke organismer som kommer til å bli skadet mest

2. Metodikk og data

Hensikten med overvåkningsprogrammet er å skaffe oversikt over status og utvikling når det gjelder forsuring av norske havområder, og legge til rette for videre overvåkning av effekter av forsuring. Det vil imidlertid ta flere år før en med rimelig grad av sikkerhet kan estimere trender i utviklingen over tid. Som et første trinn ble historiske data for Norskehavet analysert i årsrapport fra havforsuringsovervåkingen i 2009. En tilsvarende studie for Nordsjøen finnes i Børsheim og Golmen (2010), og for Norskehavet i årsrapportene fra havforsuringsovervåkingen i 2011 og 2012 (Chierici *m fl.* 2012; 2013). I Skjelvan m fl (2013; 2014) er historiske data i hele de Nordiske hav i perioden 1981 til 2013 analysert. De fleste dataene er tilgjengelig i de internasjonale databasene CARINA, CDIAC og SOCAT (<u>http://cdiac.ornl.gov/oceans/CARINA/,</u> www.socat.info). Dataene publiseres også i Vannmiljø.

Tabell 1 Tabellen nedenfor viser en oversikt over alle toktene som ble gjennomført i 2014. The table below shows a summary of transects and cruises where sampling were performed from south to north in 2014.									
Snitt/stasjon (prøvetype)	Prøvetakings- måned	Dyp	Målte parametere	Utførende institusjon	Finansiering				
Torungen- Hirtshals (diskrete)	februar	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødir				
Svinøy-NV (diskrete)	mars, mai, juni, oktober	vannsøyle	Α _τ , C _τ	IMR/UNI	Miljødir/NFR/EU				
Gimsøy-NV (diskrete)	mars	vannsøyle	Α _τ , C _τ	IMR	Miljødir				
Fugløya- Bjørnøya (diskrete)	mai	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødir				
NØ Barentshav (diskrete)	september	vannsøyle	Α _τ , C _τ	IMR	Miljødir/ FRAM				
Tromsø- Long- yearbyen/ Ny-Ålesund (diskrete)	februar, juni, september, november	overflate	Ат,Ст, рН,	NIVA	Miljødir /FRAM				
Oslo-Kiel (diskrete)	januar, juli, september, november	overflate	Α _T ,C _T , pH,	NIVA	Miljødir				
Bergen- Kirkenes (diskrete)	februar	overflate	А _т ,С _т , рН,	NIVA	Miljødir				
Stasjon M (diskrete)	januar, mars, mai, juni, august, november	vannsøyle	Α _τ , C _τ	UNI	Miljødir/NFR/EU				
Stasjon M* (kontinuerlige)	juni 2013 - mars 2014, juni-oktober 2013	Overflate, 150 m dyp	рСО ₂ , рН	UNI	Miljødir				
Nordiske hav (kontinuerlige)	juli-november	overflate	pCO ₂	UNI	Miljødir				

*Overflatebøye og undervannsrigg står i vannet fra mai-juni ett år til mars-april påfølgende år.



Figur 1. Kart over stasjoner som inngår i måleprogrammet i 2014. Blå prikker i rosa boks viser faste snitt med vannsøyleprøver (IMR); TH=Torungen-Hirtshals, SØ=Svinøy-NV, GØ=Gimsøy-NV, FB=Fugløya-Bjørnøya, NB=stasjoner i nordøstlige Barentshav. UNI har tatt vannsøyleprøver fra Svinøy-NV. Blå prikker med grønn strek er stasjoner der NIVA har tatt overflateprøver. Blå streker viser kontinuerlige overflateprøver fra F/F G.O. Sars (UNI). Svart kryss (X) viser posisjon for Stasjon M (Stn M) der det både er tatt kontinuerlige overflateprøver og vannsøyleprøver (UNI).

Figure 1. Map showing positions for all collected data in 2014. Blue dots in pink boxes show repeated transects were IMR sampled the water column; TH=Torungen-Hirtshals, SØ=Svinøy-NV, GØ=Gimsøy-NV, FB=Fugløya-Bjørnøya, NB=stations in the northeast Barents Sea. UNI also performed water column sampling at Svinøy-NV. Blue dots with green lines are stations where NIVA has sampled the surface. Blue lines show continuous surface samples from R/V G.O. Sars (UNI). Black cross (X) shows the position of Station M (Stn M) where both continuous surface samples and discrete water column samples are performed (UNI).

Posisjoner til faste snitt, transekt og fast stasjon som er del av måleprogrammet i 2014 vises i *Figur 1*. Havforskningsinstituttet har utført faste snitt i Nordsjøen (Torungen - Hirtshals), Norskehavet (Svinøy-NV, Gimsøy-NV), og i Barentshavet (Fugløya-Bjørnøya og syv stasjoner i det nordøstlige Barentshavet). Uni Research har gjort målinger i Norskehavet (Svinøy-NV, Stasjon M) i tillegg til transekt i store deler av de nordiske hav. NIVA har målt transekt i Barentshavsåpningen (Longyearbyen-Tromsø), langs norskekysten (Kirkenes-Bergen) og i Skagerrak (Oslo-Kiel). Posisjoner for prøvetaking vises også i senere figurer.

I tillegg til aktiviteter finansiert av Miljødirektoratet har deltakerne i programmet også bidratt til denne rapporten med data og kompetanse fra andre prosjekter. UNI sine data er samlet inn med bidrag fra NFR-prosjektene Polarbuoy og NACO og EU-prosjektet FixO3. NIVA sine aktiviteter knyttet til havforsuring (OA-SIS, 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 og Framsenter Flaggskipet på havforsuring er inkludert for å styrke innholdet i rapporten. Fra IMR sin side er det spesielt to prosjekter i Flaggskipet for "Havforsuring og økosystemeffekter i norske farvann" ved Framsenteret og IMRs tokt for økosystemundersøkelser som bidrar med kompetanse, infrastruktur og data til denne rapporten. Dette gjelder særlig data fra nordøstlige Barentshav som omfatter overvåking av IMR faste snitt langs Vardø-N.

2.1 Prøvetaking og måleparametere

Generelt følger prosjektet internasjonalt avtalte metoder og rutiner for vannprøvetaking og instrumentering publisert i Guide to Best Practices for Ocean CO_2 Measurements (Dickson *m fl.*, 2007).

Prøvetaking av vannsøylen på faste snitt ble utført manuelt av IMR (*Figur 1*) om bord på instituttets fartøy *F/F GM Dannevig* i Nordsjøen, *F/F Håkon Mosby* i Norskehavet og *F/F Johan Hjort* i Barentshavet. Prøver fra Stasjon M og deler av Svinøy-NV ble samlet inn manuelt av UNI ved bruk av flere ulike forskningsfartøy. NIVA samlet manuelt inn vannprøver v.h.a. Ferrybox-nettverket fra overflaten mellom Tromsø og Longyearbyen med containerskipet *M/S Norbjørn,* Oslo-Kiel med M/S *Color Fantasy,* og Bergen-Kirkenes med *M/S Trollfjord.* Data fra NIVA-prosjektet AcidMar og Framsenter-prosjektet AcidArtic er stilt til disposisjon og brukt i rapporten.

Fire parametere kan måles direkte for å karakterisere karbonatsystemet i sjøvann. Disse er: total alkalinitet (A_T), total uorganisk karbon (C_T), pH, og partialtrykk av CO₂ (pCO₂). A_T er et mål på vannets kapasitet til å nøytralisere syre (bufferkapasitet) og består av summen av de basene i løsningen som er dannet av svake syrer (se Eq. 4 for skjematisk definisjon). I sjøvann utgjør karbonater og hydrogenkarbonat den største delen av disse basene. C_T defineres som summen av karbonsyre og løst CO₂ i vann (CO₂*), karbonater og hydrogenkarbonater (Eq. 5). Surhetsgraden eller pH angir konsentrasjonen av hydrogen-ioner (H⁺) i sjøvannet (Eq.6). Partialtrykket (deltrykket) av CO₂ (pCO₂) er enkelt definert som forholdet mellom [CO₂*] og løselighet av CO₂-gass, K₀ (Eq. 7) $A_{T} = [HCO_{3}^{-}] + 2[CO_{3}^{2-}] + [B(OH)_{4}^{-}] + [OH^{-}] + [HPO_{4}^{2-}] + 2[PO_{4}^{3-}] + [SiO(OH)_{3}^{-}] + [NH_{3}] + [HS^{-}] - [H^{+}] - [HSO_{4}^{-}]$ $] + [HF^{-}] + [H_{3} PO_{4}] - (4)$ $C_{T} = [CO_{2}^{*}] + [HCO_{3}^{-}] + [CO_{3}^{2-}]$ $[H^{+}] - [H^{+}]_{f} + [HSO_{4}^{-}],$ $der [H^{+}]_{f} er den frie hydrogenkonsentrasjonen$ $pH = -log10 ([H^{+}])$ (6)

Vannprøvene for totalt uorganisk karbon (C_T) og total alkalinitet (A_T) ble fiksert med mettet kvikksølvklorid løsning og oppbevart mørkt ved ca. +4 °C før de ble analysert. pH-målinger ble foretatt umiddelbart (NIVA).

2.2 Måling av total alkalinitet og totalt uorganisk karbon

Målinger av C_T og A_T ble utført på vannsøyleprøver fra snittene Torungen- Hirtshals, Svinøy-NV, Fugløya-Bjørnøya, Bjørnøya-Sørkapp og Nordøstlige Barentshav og fra den faste stasjonen M. Prøvene ble analysert ved IMR og UNI med VINDTA 3C (Marianda, Tyskland) og CM5011 couolometer (UIC instruments, USA). Verdiene ble kalibrert mot sertifisert standardvann (CRM) for kvalitetssikring og kontroll av nøyaktighet av alle C_T og A_T data (Certified Reference Material, CRM, A. Dickson, SIO, USA).

NIVA analyserte A_T ved bruk av potensiometrisk titrering med 0,1 N saltsyre (HCl), og C_T med infrarød deteksjon av CO₂ 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 pHelektroden som benyttes av alle parter er tilpasset sjøvannsprøver/høy ionestyrke (Metrohm 6.0259.100). C_T-metoden er beskrevet i Johannessen *m fl*. (2011). Også NIVA bruker sertifisert standardvann (Certified Reference Material, CRM, A. Dickson, SIO, USA) for kvalitetssikring og kontroll av riktighet av alle C_T og A_T data.

NIVA bruker prøvevolum på 50 ml, mens VINDTA-instrumentene ved IMR og UNI benytter 100 ml prøvevolum. I A_T-titreringene brukes åpen titreringscelle ved alle tre institusjonene. Ekvivalenspunktene ble beregnet ved å bruke en kurvetilpasningsmetode anbefalt av Dickson *m fl.* (2007). I 2015 vil NIVA ta i bruk VINDTA-systemet som brukes av UNI og IMR i dag.

2.3 pH- og pCO₂- målinger

2.3.1 pH-målinger

Fra Ferrybox-nettverket har NIVA målt pH med spektrofotometrisk metode i totalskala (pH_T) og med potensiometrisk metode i NBS skala (pH_{NBS}) ved 25°C. pH *in situ* (ved *in situ* temperatur, saltholdighet og trykk) ble så beregnet ved hjelp av CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006). Den spektrofotometriske pH-metoden er beskrevet i tidligere Tilførselsprosjekt-rapporter (Johannessen *m fl.*, 2011; Chierici *m fl.*, 2012; 2013). Målingene av pH_T er foretatt på et 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. pCO₂ ble beregnet som funksjon av T, S, pH_T og A_T ved hjelp av CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006). Metningsgraden for kalsitt og aragonitt ($\Omega_{kalsitt}$ og $\Omega_{aragonitt}$) ble beregnet som funksjon av T, S, c_T og A_T ved hjelp av CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006), se kap. 2.4.

UNI har målt pH fra overflatebøya og undervannsriggen utplassert ved Stasjon M, og her brukes det et pH-instrument fra Sunburst Technologies, USA; SAMI2-pH. I dette instrumentet blandes en indikator direkte med sjøvann som strømmer gjennom en celle. Fargeendringa i cella registreres optisk, og vannets pH beregnes. Disse målingene har en usikkerhet på 0,003.

IMR har målt pH spektrofotometrisk på et lite antall prøver for å kalibrere systemene, med disse data er ikke inkludert i dette datasettet. Usikkerhet i disse målingene er 0,0005.

2.3.2 pCO₂-målinger

UNI bruker tre ulike pCO_2 -instrumenter. Da *F/F G.O. Sars* var ny i 2003 ble det installert et instrument som måler deltrykket av CO_2 , pCO_2 , sjøvannstemperatur og etter hvert også oppløst oksygen. 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 (Pierrot *m fl.*, 2009). Målinger blir gjort hvert tredje minutt, og instrumentet kalibreres omtrent hver sjette time ved å bruke tre referansegasser med konsentrasjoner på ca. 200, 350 og 420 ppm CO_2 . Kalibreringsgassene er levert av National Oceanic and Atmospheric Administration /Earth System Research Laboratory (NOAA / ESRL), og målinger gjort med slike instrumenter har en usikkerhet for pCO_2 i sjøvann på 2 µatm. pCO_2 -dataene fra 2014 har gjennomgått primær kvalitetskontroll. Etter sekundær kvalitetskontroll vil de bli sendt til databasen SOCAT (Surface Ocean Carbon Atlas Portal - <u>www.socat.info</u>). En nyere versjon av dette instrumentet er installert på G.O. Sars i april 2015.

På overflatebøya på Stasjon M (UNI/IMR) brukes et pCO_2 -instrument levert fra Battelle Memorial Institute, USA. Dette bruker også en infrarød CO_2 -gassanalysator (LI-COR 820), men her brukes bare én kalibreringsgass (NOAA / ESRL) i tillegg til en null-standard. Målinger, det være seg CO_2 i vann, luft eller kalibreringskjøring, blir gjort en gang hver tredje time, og målinger gjort med et slikt instrument har en usikkerhet for pCO_2 i sjøvann på 5 µatm.

På undervannsriggen på Stasjon M brukes et pCO_2 -måleinstrument fra Sunburst Technologies, USA; SAMI2-CO₂. I dette instrumentet strømmer sjøvann forbi en semi-permeabel beholder med indikator, som forandrer farge når CO₂ diffunderer gjennom beholderveggen. Fargeendringen registreres optisk, og usikkerhet i disse målingene er 5 µatm for pCO_2 i sjøvann. Dette instrumentet var dessverre ute av funksjon i 2013-2014.

2.4 Beregning av pH og metningsgraden av kalsitt og aragonitt

Data for A_T og C_T anvendes sammen med temperatur, dybde (trykk), saltholdighet, fosfat og kiselsyre i en kjemisk spesieringsmodell, CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006) for å beregne de andre CO₂-system-komponentene som *in situ* pH, og metningsgrad for kalsitt og aragonitt (Ω_{Ca} og Ω_{Ar}). For disse beregningene ble det benyttet karbonsyrekonstanter fra Mehrbach *m fl.*, (1973), modifisert av Dickson og Millero (1987). Det ble benyttet totalskala for pH (pHT) ved å benytte konstanten for HSO4⁻ fra Dickson (1990) og beregning ved 25 °C. Kalsiumkonsentrasjonen ([Ca²⁺]) ble antatt proporsjonal med saltholdighet (Mucci, 1983), og korrigert for trykk i følge Ingle (1975).

3. Resultater

3.1 Vannsøyledata fra Torungen-Hirtshals

Målinger ble foretatt på de fem avmerkede stasjonene i det faste snittet Torungen-Hirtshals på prøver samlet i februar 2014 (*Figur 2a*). Snittet ligger i et område som er påvirket av innstrømmende varmt og salt Atlantervann (rød) og ferskt kystvann (grønn, *Figur 2b*). I *Tabell 1* i Vedlegg A presenteres stasjoner, posisjoner og data.



Figur 2a. Stasjoner fra IMRs faste snitt Torungen-Hirtshals i februar 2014 (blå punkter). Se også Figur 1 (TH). Resultatene er tabulert fra kysten og utover(Tabell 1), og figurer som fremstiller vertikalfordeling av variabler langs snittet starter med kysten til venstre.

Figure 2a. Stations from IMR transect in the North Sea (blue dots). See also Figure 1 (TH).



Figur 2b. Skjematisk kart over de viktigste transportveiene i Nordsjøen og Skagerrak. De røde pilene indikerer innstrømning av atlantisk vann, for det meste i 100-200 m dybde, mens de grønne pilene angir hovedretningene til sirkulasjon av kystvann, typisk beliggende i de øverste 20m (kart og tekst fra <u>www.imr.no</u>).

Figure 2b. Overview map on major currents in the North sea area; Atlantic water (red), coastal water (green arrows).

Vinterdata fra februar 2014 viser som i 2012 og 2013 generelt lave A_T og C_T verdier i overflaten og høyere i dypet (*Figur 4*). Dette reflekterer innblanding av ferskvann i overflaten (*Figur 3*). Mellom 100 og 250 m dybde ser vi at det salte og relativt varme Atlantervannet starter cirka 10 km ut fra kysten (*Figur 3*). Under 300 m er det litt kaldere vann ned til bunn. Høyeste verdier av A_T og C_T finnes i det dypeste vannet i midten av snittet sirka 40 km ut fra kysten i en litt kaldere vannmasse under Atlantervannet. Der er A_T 2325 µmol kg⁻¹ og C_T er 2180 µmol kg⁻¹ og er sannsynligvis påvirket av en eldre vannmasse med høyere CO₂ innhold fra respirasjon. I Atlantervannet er C_T cirka 2160 µmol kg⁻¹ som er 20 µmol kg⁻¹ lavere sammenlignet med dypvannet. Nærmest kysten, har A_T og C_T lavere konsentrasjon enn på de sørligste stasjonene. Dette viser sannsynligvis påvirkning av kystvann (*Figur 4*), og det underliggende vannet med høye A_T og C_T verdier er påvirket av Atlantervannet (*Figur 4*).



Figur 3. Februardata fra Torungen-Hirtshals. Øvre panel: saltholdighet, nedre panel: temperatur (\mathcal{C}). Figure 3. Salinity and temperature data from Torungen-Hirtshals from February 2014.



Figur 4. Februardata fra Torungen-Hirtshals. Øvre panel: total alkalinitet (A_{τ} , μ mol kg⁻¹), nedre panel: totalt uorganisk karbon (C_{τ} , μ mol kg⁻¹).

Figure 4. A_T and C_T data from Torungen-Hirtshals from February 2014.

I de øvre 100 m viser pH *in situ* og Ω_{Ar} lignende fordeling som A_T og C_T med litt høyere verdier (ca. 8,06 og 1,75) på de sentrale stasjonene (3 til 6) og lavere verdier på nordligste (ca. 8,03 og 1,6) og sydligste stasjon på snittet (*Figur 5*). I mellomsjiktet 100-200 m (Atlantervannet) er pH *in situ* ca. 8,03 *og* Ω_{Ar} ca. 1,7, som er lavere sammenlignet med 2012 men skyldes antageligvis naturlig variabilitet. Interessant er de høye pH-verdier i overflaten som sannsynligvis er et resultat av primærproduksjon mer enn ferskvannsinnblanding (som minker pH). Derimot har ikke primærproduksjon hatt samme effekt på Ω_{Ar} siden vi ser lave Ω_{Ar} verdier i hele vannkolonnen ved denne stasjonen. Her har sannsynligvis ferskvann større påvirkning på Ω_{Ar} sammenlignet med primærproduksjon. Lave pH verdier rundt 7,95 og lav aragonittmetning finner vi også i det dypere vannet der Ω_{Ar} er omkring 1,5. Det vil si at hele vannekolonnen er overmettet med både kalsitt og aragonitt (*Figur 5*). I dypvannet bidrar blant annet respirasjon til lave pH-verdier og lav metningsgrad. De laveste verdier finnes i den ferskvannspåvirkede kyststasjonen der Ω_{Ar} er omkring 1,4. Middelverdi for Ω_{Ar} og Ω_{Ca} var 1,6 ±0,1, og 2,6±0,2 for hele området og alle dyp. Sammenlignet med 2012 er det signifikant lavere metning i 2014 på ca. 0,3 Ω_{Ar} enheter. Middelverdi for 2012 viste Ω_{Ar} og Ω_{Ca} på henholdsvis 1,9 ±0,2, og 3,0±0,3 for hele området og alle dyp (Chierici *m fl.*, 2013). For 2013 var Ω_{Ar} og Ω_{Ca} henholdsvis 1,7 ±0,1 og 2.7±0,2. En del av forskjellen ses i overflaten der pH og kalkmetningen var høyere i 2012 og 2013 (Chierici *m fl.*, 2013; 2014) og i det dype vannet under Atlantervannet. De høye overflate-verdiene i de to tidligere årene er sannsynligvis på grunn av CO₂-opptak gjennom primærproduksjon som resulterer i en økning av kalkmetningen. De høye C_T verdiene i dypvannet i 2014 gir lavere kalkmetning og er trolig på grunn av innstrømming av eldre dypvann fra Nordsjøen. Eldre vann har høyere anrikning av CO₂ fra nedbrytning av organisk materiale. Men det er bemerkelsesverdig med en slik stor årlig variasjon og en nedgående trend. Dette må undersøkes ytterligere og en lengre tidsserie vil vise hvilke prosesser som påvirker trender i kalkmetning.





Figur 5. Februardata fra Torungen-Hirtshals. Øvre panel viser pH in situ og nedre panel aragonittmetningsgrad (Ω_{Ar}). Figure 5. pH in situ and aragonite saturation from Torungen-Hirtshals from February 2014.

3.2 Vannsøyledata fra Svinøy-NV

I 2014 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannkolonnen på vannprøver fra seks av de faste stasjonene i det hydrografiske snittet mellom Svinøy og 64°40'N, 0°0'V; Svinøy-NV. Prøvene ble hentet i mars av IMR (*Figur 6a*). I mars, mai, juni og oktober samlet også UNI vannprøver fra utvalgte stasjoner langs dette snittet (se kap. 3.2.1). I *Tabell 2* i Vedlegg A finnes detaljer om posisjon, karbonatsystemdata og dyp for prøver samlet inn både av IMR (*Tabell 2a*) og UNI (*Tabell 2b*).

Snittet Svinøy-NV fanger opp kystvannet (ferskt med stor sesongmessig variasjon i temperatur) og viktige deler av Atlanterhavsvann og arktisk vann i Norskehavet (*Figur 6b*). Varmt og salt Atlanterhavsvann strømmer inn i Norskehavet mellom Shetland, Færøyene og Island og følger topografien nordover (*Figur 6b*).



Figur 6a. Kart over stasjoner på Svinøy-NV. Se også Figur 1 (SØ).

Figure 6a. Stations from transect in the Norwegian Sea along Svinøy-NW (blue dots). See also Figure 1 (SØ).



Figur 6b. Strømmer og hovedsakelige tre vannmasser i både Norskehavet og Barentshavet: atlanterhavsvann (rød), arktisk vann (blå) og kystvann (grønn).

Figure 6b. Major currents and water masses in Norwegian Sea: Atlantic water (red), polar water (blue) and coastal water (green). www.imr.no.

Figur 7 viser saltholdighet og temperatur langs snittet og viser tydelig Atlantervannet ned til 400 m. Det er bare stasjoner ved kysten som viser ferskt og kaldt vann fra den norske kyststrømmen. Under Atlantervannet ligger det kaldere vannet som iblant kalles Arktisk intermediært vann med opprinnelse i Arktis. Atlantervannet avkjøles på vei nordover og tar opp mye antropogent CO₂. Dette snittet har hydrografisk historie tilbake til 1935.



Figur 7. Data fra det faste snittet Svinøy-NV i mars 2014. Fra øverst til nederst: saltholdighet og temperatur ($^{\circ}$).

Figure 7. Salinity and temperature data from Svinøy-NW from March 2014.

A_T viser lave verdier ved kysten, dette er karakteristisk for kyststrømmen som ved dette snittet sees klart ut til 50 km. Mellom 50 km og 250 km ut fra kysten observeres høyere verdier av A_T fra overflaten ned til ca. 400 m dyp på ca. 2325 µmol kg⁻¹. Dette viser påvirkning av Atlanterhavsvannet (*Figur 8*). I det arktiske vannet (under 500 m) viser A_T verdier på 2300 µmol kg⁻¹. C_T viser også påvirkning av kyststrømmen ut til 100 km med lavere verdier og C_T øker gradvis til høye verdier i Atlanterhavsvannet i nord til ca. 200 km ut fra kysten. Videre nord vestover minker C_T i de øvre 100 m til ca. 2140 µmol kg⁻¹ i Norskebassenget (*Figur 8*). Det underliggende vannet viser C_T-verdier fra ca. 2165 µmol kg⁻¹ under 500 m dyp og ca. 2180 µmol kg⁻¹ i det dypeste vannlaget. pH *in situ* er høyest i overflaten, ca. 8,1, (*Figur 9*) lengst i nordvest (fra 225 km ut fra kysten) på samme sted der vi fant de laveste C_T-verdiene. Tidligere år har pH vært lavest ved kysten men i 2014 ses de laveste pH-verdiene (ca. 8,02) midt på snittet. Der er også C_T litt høyere men A_T er som før. Disse lave pH-verdiene er sannsynligvis et resultat av økt CO₂-innhold (*Figur 9*). I det dypeste vannet i nordvest ses pH-verdier rundt 8,03 (*Figur 9*). Beregnet aragonittmetning viser verdier i overflaten på mellom 1,85 og 2,1 og variasjonen er på grunn av ulik påvirkning av ferskvann, biologisk produksjon og Atlantervann. Kalsittmetning var 3,0 i overflaten (ikke vist). Metningen synker gradvis vertikalt og er omkring 1,1 på 1500 m ved den nordvestligste stasjonen i 2014 (*Figur 9*). Ingen undermetning ses på Svinøy-NV i 2014, men dette året ble det ikke samlet prøver så langt vest som tidligere år. I 2012 og 2013 fant undermetning sted ved ca. 2000 m dyp på stasjonen lengst ut i nordvest (Chierici *m fl.*, 2013; 2014).



Figur 8. Marsdata fra det faste snittet Svinøy-NV. Fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , µmol kg⁻¹) og totalt uorganisk karbon (C_T , µmol kg⁻¹).

Figure 8. A_T and C_T data in March 2014 along Svinøy-NW.



Figur 9. pH in situ (øvre panel) og aragonittmetning (nedre panel) i mars 2014 langs det faste snittet Svinøy-NV.Figure 9. pH in situ and aragonite saturation in March 2014 along Svinøy-NW.

3.2.1 Mellomårlig variasjon på Svinøy-NV

Mellomårlig variasjon over fire år i vannkolonnen for perioden 2011 (januar) til 2014 (mars) ved 2°E langs Svinøy-NV snittet er vist i Figur 10. Fire års middelverdi for aragonittmetning var 1,12 på 1500 m dyp. Vi kan ikke se noen tydelig trend i dypvannet. I overflaten (øvre 50 m) er fire års middelverdi på 1,92 med standardavvik $\pm 0,09$. Her ser vi indikasjon på litt minkende aragonittmetning i overflatevannet fra 2011 til 2014 på ca. 2 til <1,9 i Ω Ar (*Figur 10a*). Saltholdigheten er lavere i 2014 og det er sannsynlig at deler av den lave aragonittmetningen i 2014 skyldes ferskere vann i overflata sammenlignet med 2011 (*Figur 10b*).



Figur 10. Fire års vinterdata fra 2011 til 2014 i vannkolonnen ved 2°E langs Svinøy-NV, a) aragonittmetning (Ω_{Ar}) og b) saltholdighet.

Figure 10. Interannual varability in the water column based on winter data from the water column at 2°E along Svinøy-NW section from 2011 to 2014: a) aragonite saturation and b) salinity.

3.2.2 Sesongvariasjon på Svinøy-NV

I området 63-63,5°N 3-4°E på snittet Svinøy-NV har det blitt tatt prøver fra begynnelsen av mars til slutten av oktober, og resultater herfra er brukt til å studere sesongvariasjoner. Dypet i dette området er 900-1000 m, og Figur 11a og b viser hvordan salt og temperatur endres gjennom store deler av året, med store utslag i overflaten og små i dypere lag. Om vinteren passerer salt og relativt kaldt vann Svinøy-NV, utover våren blir vannet varmet opp og på seinsommeren og høsten ses vann fra den ferske kyststrømmen i overflata på dette snittet. Termoklinen (skillet mellom temperatur i øvre og midlere vannlag) varierer gjennom året men ligger oftest mellom 200 og 700 m, og i mars ses kaldt og relativt ferskt intermediært vann noe grunnere i vannsøyla enn senere på året. Total Alkalinitet, A_{T} , (*Figur* 11c) følger primært saltinnholdet og viser lavere verdier i kystvannet i overflata på seinsommer og høst enn ellers om året, da det primært er atlantisk vann som krysser Svinøy-NV. En viss variasjon ses i midlere dyp gjennom året og dette er knyttet til hvordan haloklinen (skillet mellom salt i øvre og midlere vannlag) varierer gjennom året. Totalt karbon, C_T , (Figur 11d) avtar i overflata om våren når primærproduksjonen starter, og konsentrasjonen er lavest på seinsommeren/høsten primært som et resultat av innblanding av ferskt kystvann. Senere på høsten forventes høyere overflateverdier for C_T dels fra oppblanding av dypere vann med høyere C_T -verdier og dels på grunn av høy respirasjon i forhold til produksjon. Høye C_T -verdier rundt 1000 m er trolig innblanding av arktisk vann med høyt innhold av uorganisk karbon. pH i overflata (Figur 11e) øker når uorganisk karbon bindes i organisk materiale om vår/sommer. På 300-500 m dyp ses økende område med relativt lave pH-verdier, og dette er trolig knyttet til blanding av vannmasser og ikke økende mengde remineralisert organisk materiale, siden tilsvarende signal ikke ses i beregnet aragonittmetning, Ω_{Ar} (*Figur 11f*). pHverdier i det dypeste vannet er rundt 8,05-8,065, som er litt høyere enn i 2013. Ω_{Ar} følger ellers pH-variasjonen med høye verdier i overflata i biologisk aktiv periode og lave verdier i det dypeste vannet. På 1000 m dyp er Ω_{Ar} -verdiene rundt 1,2.



Figur 11a. Saltvariasjon fra mars til oktober i området 63-63,5°N 3-4°E på Svinøy-NV.

Figure 11a. Salinity variation from March to October in the area 63-63.5°N 3-4°E at Svinøy-NW.



Temperatur (℃)

Figur 11b.Temperaturvariasjon fra mars til oktober i området 63-63,5°N 3-4°E på Svinøy-NV.

Figure 10b. Temperature variation from March to October in the area 63-63.5°N 3-4°E at Svinøy-NW.



Figur 11c. A_T-variasjon fra mars til oktober i området 63-63,5 °N 3-4 °E på Svinøy-NV.

Figure 10c. A_T variation from March to October in the area 63-63.5°N 3-4°E at Svinøy-NW.



C_τ (μmol kg⁻¹)

Figur 11d. C_T -variasjon fra mars til oktober i området 63-63,5 °N 3-4 °E på Svinøy-NV.

Figure 11d. C_T variation from March to October in the area 63-63.5 °N 3-4 °E at Svinøy-NW.



Figur 11e. pH-variasjon fra mars til oktober i området 63-63,5°N 3-4°E på Svinøy-NV.

Figure 11e. pH variation from March to October in the area 63-63.5°N 3-4°E at Svinøy-NW.



 Ω Aragonitt

Figur 11f. Ω_{Ar} -variasjon fra mars til oktober i området 63-63,5 °N 3-4 °E på Svinøy-NV.

Figure 11f. Ω_{Ar} variation from March to October in the area 63-63.5°N 3-4°E at Svinøy-NW.

3.3 Vannsøylen på Stasjon M

Fra Stasjon M og nærliggende områder i Norskehavet har UNI og IMR hatt stående en overflatebøye samt en undervannsrigg, og begge disse strukturene er påmontert sensorer som kontinuerlig måler salt, temperatur, pCO_2 , pH og oppløst oksygen i havoverflate og på 150-200 m dyp. I tillegg har UNI på seks tokt samlet inn diskrete prøver fra vannsøylen for måling av C_T og A_T. **Tabell 2c** i **Vedlegg A** presenter data fra Stasjon M.

3.3.1 Diskrete målinger

I januar, mars, mai, juni, august og november i 2014 ble det gjort målinger av karbonkjemi i vannsøylen på Stasjon M, 66°N 2°E, i Norskehavet (se Figur 1). Tabell 2c i Vedlegg A viser dato, dyp, stasjonsnummer og data. Figur 12a og 12b viser hvordan salt og temperatur i vannkolonnen ved Stasjon M varierer gjennom året. Stasjon M er plassert i kanten av den norske Atlanterhavsstrøm og relativt varmt og salt atlantisk vann passerer stasjonen på veg nordover. Ettersom vinter går over i vår og sommer blir vannet nær overflata ytterligere oppvarmet (Figur 12b). På sensommeren blandes ferskt kystvann helt ut til Stasjon M (Figur 12a). Variasjonene som ses i de målte parameterne skyldes primært biologisk aktivitet og blanding med omliggende vannmasser. Oppblomstringen i området ved Stasjon M starter i april-mai, med påfølgende reduksjon i C_T-konsentrasjon (*Figur 12d*) og økning i pH (*Figur* 12e) og $\Omega_{\rm Ar}$ (Figur 12f). Sesongvariasjonen skjer i de øverste 200-300 m, der det hovedsakelig er atlantisk vann. I det intermediære vannet mellom ca. 500 og 1000 m er variabilitet i parameterne gjennom året knyttet til blanding av vannmasser. Dypere enn ca. 1000-1200 m er bassenget fylt opp av kaldt og relativt ferskt vann og endringer her skjer svært langsomt. Figur 12f viser metningsgrad av aragonitt, og metningshorisonten finnes på 1800-1900 m dyp, som er tilnærmet det samme som i tidligere arbeider (Skjelvan m fl., 2014). I overflata er pH og aragonittmetning henholdsvis 8,06 og 1,9 om vinteren, og ca. 8,15 og 2,7 om sommeren. På 2000 m dyp er pH ca. 8,02-8,03 mens aragonittmetningen er 0,98.



Figur 12a. Saltinnhold på Stasjon M gjennom året 2014.

Figure 12a. Salinity at Station M during the year 2014.



Temperatur

Figur 12b. Temperatur (°C) på Stasjon M gjennom året 2014. Figure 12b. Temperature (°C) at Station M through the year 2014.



Figur 12c. Innhold av total alkalinitet (A_T ; μ mol kg⁻¹) på Stasjon M gjennom året 2014. **Figure 12c.** A_T at Station M through the year 2014.



Figur 12d. Innhold av totalt uorganisk karbon (C_{τ} ; μ mol kg^{-1}) på Stasjon M gjennom året 2014. **Figure 12d.** C_{τ} at Station M through the year 2014.


Figur 12e. pH in situ på Stasjon M gjennom året 2014.

Figure 12e. pH in situ at Station M through the year 2014.





Figure 12f. Saturation of aragonite at Station M through the year 2014.

3.3.2 Kontinuerlige målinger

På Stasjon M er det gjort kontinuerlige målinger av pCO₂ og pH i overflata og på 150 m dyp ved hjelp av en overflatebøye og en undervannsrigg. *Figur 13, 14 og 15* viser hvordan pCO₂, pH og Ω_{Ar} varierer i havoverflata fra juni 2013 til mars 2014 (det er også gjort målinger mellom juni 2014 og mars 2015, men disse er ennå ikke klare). Temperaturvariasjoner over samme tidsperiode er vist ved fargeskala fra rosa/lilla (kaldt) til rødt (varmt). Ω_{Ar} er her beregnet fra pCO₂ og A_T, som igjen er estimert fra saltinnholdet. Om sommeren vil man ofte se generelt lave og varierende pCO₂-verdier og relativt høye pH-verdier siden CO₂ bindes gjennom fotosyntesen, og dette er tilfellet i området ved Stasjon M. Respirasjon og nedbrytning av organisk materiale vil slippe CO₂ tilbake i vannet, og i tillegg vil økende temperatur på sensommeren føre til økende pCO₂- og synkende pH-verdier. Utover høsten vil vinden tilta og dypere vann med høyere innhold av karbon vil blandes opp til overflaten. De høyeste pCO₂-og laveste pH-verdiene ses om vinteren da vannet er kaldest. Ω_{Ar} følger pHvariasjonen og laveste Ω_{Ar} -verdi på ca. 1,8 ses vinterstid, tilsvarende det som er beregnet fra diskrete prøver (*Figur 12f*).



Figur 13. Målt havoverflate-pCO₂ fra mai 2013 til mars 2014 på Stasjon M. Fargeskala viser temperatur.

Figure 13. Measured sea surface pCO₂ between May 2013 and March 2014 at Station M. The colour scale indicates temperature.



Figur 14. Målt overflatepH fra mai 2013 til mars 2014 på Stasjon M. Fargeskala viser temperatur.

Figure 14. Calculated sea surface pH between May 2013 and March 2014 at Station M. The colour scale indicates temperature.



Figur 16 og 17 viser hvordan pH og Ω_{Ar} varierer over tid på 150 m dyp i perioden juni til oktober 2013 (ingen dype 2014 data er vist her på grunn av instrumentelle problemer første del av 2014 og ukorrigerte data fra siste halvdel av 2014). På 150 m dyp finner vi Atlantisk vann, og pH- og Ω_{Ar} -verdiene her er lavere enn i overflata siden karbon har blitt tilført fra respirasjon og nedbrutt organisk materiale. Midlere verdier for pH og Ω_{Ar} henholdsvis 8,05 og 1,8. Variasjonene er også noe lavere enn det som observeres i overflata, men de skjer i omtrent samme tidsperiode som i overflata.





Figure 16. Calculated pH at 150 m depth at Station M in 2013. The colour scale indicates temperature.



3.4 Vannsøylen Gimsøy-NV

Etter et opphold i 2013 ble det i mars 2014 utført målinger av karbonkjemi i vannsøylen langs Gimsøy-NV i nordre del av Norskehavet (*Figur 18*). Vann fra tre faste stasjoner ble samlet inn (se *Tabell 3* i Vedlegg A for data). Snittet Gimsøy-NV ligger i området der varmt og salt atlanterhavsvann fra sør kjøles av før det strømmer inn i Barentshavet. Snittet fanger også opp deler av den norske kyststrømmen og resirkulert arktisk vann på intermediære dyp (*Figur 6b*). I dette området er det rikelig med kaldtvannskorallrev og disse er spesielt følsomme for lav aragonittmetning.



Figur 18. Kart som viser stasjoner for vannsøyleprøvetaking i nordlige Norskehavet (Gimsøy-NV) i 2014 (blå prikker). Tallene viser til stasjonsnummer.

Figure 18. Map showing the stations from IMR transect in northern Norwegian Sea along Gimsøy-NW in 2014 (blue dots) and station numbers.









Figur 20. Marsdata fra tre stasjoner i det nordlige Norskehavet langs snittet Gimsøy-NV, fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_{τ} , μ mol kg⁻¹) og totalt uorganisk karbon (C_{τ} , μ mol kg⁻¹)

Figure 20. A_T and C_T data along three stations in the northern Norwegian Sea along Gimsøy-NW transect from March 2014.

I nordlige Norskehavet på snittet Gimsøy-NV ses fersk og relativt kaldt vann nær kysten og ca. 20 km nord vestover (*Figur 19*). Lenger ut fra kysten er snittet dominert av Atlanterhavsvann ned til ca. 500 m med relativt høye A_T - og C_T -verdier på henholdsvis ca. 2320 og 2170 µmol kg⁻¹ (*Figur 20*). Dypere og lengst i nordvest ses signal av resirkulert vann fra Arktis med lavere A_T - og C_T -verdier (henholdsvis ca. 2300 og 2165 µmol kg⁻¹) enn Atlanterhavsvannet. Ved kysten ses de høyeste pH-verdiene i snittet (ca. 8,08) og disse minker til ca. 8,03 i de øverste 100 m av det atlantiske vannet mot nordvest (*Figur 21*). Laveste pH-verdier på rundt 7,99 finnes i bunnvannet på ca. 700-800 m dyp. I det resirkulerte Arktiske vannet er pH-verdien omkring 8,02 (*Figur 21*). Aragonittmetningen viser lite variasjon i overflaten langs med snittet ned til 100 m, der Ω_{Ar} er ca. 1,75. Aragonittmetningen avtar med dypet, og laveste aragonittmetning ses i det resirkulert Arktiske vannet der Ω_{Ar} er 1,1 på 1000 m dyp.



Figur 21. pH in situ og aragonittmetning (Ω_{Ar}) fra mars 2014 langs det faste snittet Gimsøy-NV.

Figure 21. pH in situ and aragonite saturation data in the northern Norwegian Sea along Gimsøy-NW from March 2014.

3.5 Vannsøylen Fugløya-Bjørnøya

I mai 2014 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannsøylen fra fem faste stasjoner langs det hydrografiske snittet mellom Fugløya-Bjørnøya (*Figur 22a*). I *Tabell 4* i **Vedlegg A** presenteres stasjoner, posisjoner og data fra snittet. Snittet Fugløya-Bjørnøya ligger i et område der atlanterhavsvann strømmer inn i Barentshavet og videre inn i polhavet (*Figur 22b*). Det viser også påvirkning av kyststrømmen på den sørligste stasjonen.



Figur 22a. Kart som viser stasjoner for vannsøyleprøvetaking i Barentshavet (Fugløya-Bjørnøya i mai 2014 og nordøstlige Barentshav i september 2014) (blå prikker). Tallene viser til stasjonsnummer.

Figure 22a. Map showing the stations from IMR transect in Barents Sea western part along Fugløya-Bjørnøya and northeastern Barents Sea (blue dots) and station numbers.



Figur 22b. Kart som viser skjematiske strømmer i Barentshavet. Røde piler viser innstrømning av Atlantisk vann, grønne piler viser kyststrømmen og blå piler viser innstrømning av Arktisk vann. Den grå linjen viser midlere posisjon på polarfronten (kart fra <u>http://www.imr.no/temasider/havomrader_og_okosystem/barentshavet/</u> <u>kopi_av_sirkulasjon_og_vannmasser/nb-no</u>, 13.6.14).

Figure 22b. Map showing major currents in the Barents Sea. Red arrows show Atlantic water, green coastal current and blue arrows shows the Arctic water. Grey line shows the position of the polarfront. Map from www.imr.no.



Figur 23. Data fra det faste snittet Fugløya-Bjørnøya i mai 2014. Fra øverst til nederst: saltholdighet og temperatur (\mathcal{C}) .

Figure 23. Salinity and temperature data from Fugløya-Bjørnøya from May 2014.

I det sørlige Barentshavet ser vi tydelig skille mellom de kystnære stasjonene, med varmt og ferskt vann, og stasjonene lenger ut (Figur 23). Langt i nord vises kaldt og relativt ferskt polart vann (Figur 23), og mellom disse to stasjonene ses relativt varmt og salt atlantisk vann. C_T og A_T fra den kystnære stasjonen er lave i de øvre 50 m på grunn av ferskvannsinnholdet (*Figur 24*). I overflatevannet langs hele snittet er C_T lav, omkring 2125 μ mol kg⁻¹, og dette er på grunn av primærproduksjon. Ar i overflata er mer påvirket av ulike vanntyper som kystvann, Atlanterhavsvann og polarvann som finnes i ulike deler av snittet. Nord langs snittet er A_T påvirket av det salte og varme Atlanterhavsvannet og har høye og homogene verdier på 2330-2335 μ mol kg⁻¹ ned til ca. 100 m fra bunn der A_T minker til ca. 2315 μ mol kg⁻¹ (Figur 24). Ved polarfronten (ca. 73,5°N), skiftes Atlanterhavsvann ut med ferskt og kalt polarvann og i overflata finner vi lave A_T - og C_T -verdier. C_T er høyest i bunnvann midt på snittet og minker i Atlanterhavsvannet til ca. 2150 µmol kg⁻¹ (*Figur 24*). Lav pH på 8,04 og lav aragonittmetning på 1,77 ses på 180 m dyp i kystnært vann omkring Fugløya (Figur 25). Ved Bjørnøya er pH-verdiene høye (8,15), men likevel er aragonittmetningen lav (1,8) i polarvannet på bunnen ved Bjørnøya. Lavest pH og aragonittmetning vises ved bunn sør for 73°N (*Figur 25*), sannsynligvis på grunn av økt CO₂ fra respirasjon av nedbrytningsprodukter





Figur 24. Maidata fra fem stasjoner i det sørlige Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya, fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , μ mol kg^{-1}) og totalt uorganisk karbon (C_T , μ mol kg^{-1})

Figure 24. A_T and C_T data along five stations in the southwest Barents Sea between Fugløya and Bjørnøya from May 2014.



Figur 25. pH in situ og aragonittmetning (Ω_{Ar}) fra mai 2014 langs det faste snittet Fugløya-Bjørnøya.

Figure 25. pH in situ and aragonite saturation data along five stations in the southwest Barents Sea between Fugløya and Bjørnøya from May 2014.

3.6 Vannsøylen i nordøstlige Barentshav

Dette er det andre året vannprøver blir tatt i hele vannsøylen fra den nordøstligste delen av IMRs faste hydrografiske snitt på det årlige økosystemtoktet i Barentshavet. I 2014 var der mye sjøis i den nordligste delen av Barentshavet og det kunne derfor ikke tas prøver nord for 78°N. Som erstatning tas her med fire andre stasjoner noe lenger sør (*Figur 22a*) i tillegg til de tre faste stasjonene i nordøst. Også dette snittet fanger opp atlanterhavsvann og vann påvirket av polarvann fra nord (*Figur 22b*) ved polarfronten på cirka 78°N. I den nordlige delen av snittet ses polarvann og resirkulert atlanterhavsvann fra Framstredet, og vannet her er påvirket av sjøisdekke og smeltevann fra sjøis. Prøvene ble hentet i september (*Figur 22a*). I *Tabell 5* i Vedlegg A vises posisjoner, dyp, stasjonsnummer og data.





Figur 26. Hydrografiske data fra september 2014 i nordøstlige Barentshav: saltholdighet (øvre panel) og temperatur (°C, nedre panel).

Figure 26. Salinity and temperature data from September 2014 in the northeastern Barents Sea.

I hele vannsøylen langs snittet fra 74°N til 78°N ser man tydelig innflytelse av varmt og salt atlanterhavsvann som strekker seg til ca. 77,5°N, der det møter det kalde og ferskere polarvannet ved den såkalte polarfronten (*Figur 26*). Laveste saltholdighet og temperatur ses ved 78°N i vann som er påvirket av sesongmessig isdekke og polarvann. De høyeste A_T -verdiene på ca. 2320 µmol kg ⁻¹ finner vi i bunnvannet mellom 75°N og 77°N der også C_T . verdiene er høye (ca. 2200 µmol kg ⁻¹,*Figur 27*). C_T er også høy i dypvannet lengst i nord ved 78°N der vi finner laveste aragonittmetning på ca. 1,4 og pH på ca. 8,0 (*Figur 28*). Laveste verdier for A_T og C_T på henholdsvis 2220 og 2025 µmol kg ⁻¹ observeres i overflaten (øvre 50 m) i polarvannet ved polarfronten mellom 77°N og 78°N (*Figur 27*). Overflateverdier for pH er relativt homogene på ca. 8,15 ned til 50 m dyp langs hele snittet. Ved polarfronten er pH høyere (8,18) (*Figur 28*). Interessant er at pH og Ω_{Ar} viser maksimumsverdier på henholdsvis 8,25 og ca. 2,2 i laget mellom 50 og 100 m ved 77 °N (*Figur 28*). Dette kan være et resultat av primærproduksjon som skjer litt dypere enn overflata. I noen tilfeller i Arktis har klorofyllkonsentrasjonen vist seg å være høy ved ca. 50 m. Aragonitt og kalsitt (ikke vist) er overmettet i hele vannsøylen, med laveste verdier på 1,3 (aragonitt) og 1,8 (kalsitt) ved

bunnen (350 m) mellom 75 °N og 76 °N og ved 78 °N (*Figur 28*). Her kommer sannsynligvis økningen i CO_2 fra mikrobiell nedbrytning av organisk materiale over lang tid og ikke fra antropogen havforsuring.





Figur 27. Data fra 7 stasjoner i det nordøstligste Barentshavet i 2014, fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , μ mol kg⁻¹) og totalt uorganisk karbon (C_T , μ mol kg⁻¹).

Figure 27. A_T and C_T data from September 2014 in the northeastern Barents Sea.





Figur 28. Data fra stasjoner i det nordøstlige Barentshavet, fra øverst til nederst: pH in situ og aragonittmetning (Ω_{Ar}) .

Figure 28. pH in situ and aragonite saturation in September 2014 in the northeastern Barents Sea.

3.7 Overflatedata

I 2014 gjennomførte NIVA sesongtokt for prøvetaking av overflatevann i Barentshavsåpningen og Skagerrak, i tillegg til at et tokt ble gjennomført i februar langs kysten av Norge, fra Kirkenes til Bergen. Målingene ble gjort ved hjelp av Ships of Opportunity (SOOP) som går faste ruter mellom Tromsø-Longyearbyen (*M/S Norbjørn*), Oslo-Kiel (*M/S Color Fantasy*) og Bergen-Kirkenes (Hurtigruten *M/S Trollfjord*). I *Tabell 6*, 7 og *8* i **Vedlegg A** vises posisjon, dyp, stasjon og data.

3.7.1 Barentshavsåpningen, Tromsø-Longyearbyen

Overflatevann ble samlet inn på NIVAs sesongtokt gjennomført i Barentshavet i januar, mai, august og november 2014. Innsamlingen ble gjort på transektet mellom Tromsø-Longyearbyen som er dekkes av *M/S Norbjørn* (*Figur 29*). Ruten varierer på grunn av vær- og isforhold, siden dette er et lasteskip som ikke tar hensyn til faste stasjoner. Prøver er tatt langs ruten for å samle informasjon om de ulike vannmassene.



Figur 29. Stasjoner langs Barentshavsåpningen i 2014. Toktene ble gjort 17.-20.1 (rød ▲), 27-29.5 (blå ∘), 21-24.8 (sort ▼) og 14-16.11 (grønn □). Stasjonene er noe væravhengig som man kan se av spredningen i lengdegrader.

Figure 29. Station map for the transect following the Barents Sea entrance at the border to the Norwegian Sea 17-20.1 (red \blacktriangle), 27-29.5 (blue \circ), 21-24.8 (black \blacktriangledown) and 14-16.11 (green \Box).

Som det fremgår av figurene av havstrømmene i området (se *Figur 22b*) følger toktene (*Figur 29*) hovedsakelig atlantisk vann opp til Svalbard, mens det i området langs vestkysten av Svalbard blir mer innblanding av arktisk vann. Nær kysten av Norge strømmer den norske kyststrømmen, og dersom ruten går nær nok Bjørnøya kan man også komme inn arktisk vann der. Atlantisk vann holder en saltholdighet > 35 og en temperatur > 3 °C, mens arktisk vann er kaldere enn 0 °C og har typisk en saltholdighet på 34,4 til 34,8 (Ingvaldsen og Loeng, 2009). I *Figur 30* vises temperatur og saltholdighet for de 17 tokt som er gjort siden 2010, der de fire siste toktene fra 2014. Atlantisk vann fra sør blandes med Arktisk vann i nord, og helt sør ser vi innflytelsen av kystvann.



Figur 30. Fem års (2010-2014) målinger av temperatur og saltholdighet målt under Tilførselsprogrammet og Havforsuringsovervåkningen. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 30. 5 years measurements of temperature and salinity. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

Total alkalinitet (A_T , µmol kg⁻¹) og totalt uorganisk karbon (C_T , µmol kg⁻¹) (*Figur 31*; *Tabell 6* i **Vedlegg A**) viser en korrelasjon med saltholdighet (*Figur 30*). Atlantisk vann (salinitet 35) har en høyere A_T (~ 2300 kg µmol⁻¹). Vann med lavere saltholdighet, som ved norskekysten (70 til 70,5 °N) og langs kysten og fjordene på Svalbard (77-78 °N), har også lav alkalitet. C_T verdiene følger også samme mønster med høyere C_T i Atlantisk vann og lavere C_T ledsaget av lav saltholdighet og alkalinitet nær kysten og fjordene. Det ses en markert sesongvariasjon med høyere C_T vinterstid (opptil 2200 µmol kg⁻¹) og lavere C_T om sommeren, med så lavt som ~2100 µmol kg⁻¹ i Atlantisk vann og ~1950 µmol kg⁻¹ langs Svalbard og norskekysten.



Figur 31. Total alkalinitet A_T og totalt uorganisk karbon C_T er høyere i Atlantisk vann, som har høy saltholdighet og temperatur. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 31. A_T and C_T is higher in Atlantic water, which has high salinity and temperature. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

Som observert gjennom fem år gjenspeiler også pH- og pCO₂-verdiene sesongsyklusen til C_T (*Figur 32*). De Atlantiske vannmassene hadde pH mellom ~ 8,05 og 8,15 og pCO₂ mellom 300 og 400 µatm. Svingninger mellom sommer og vinter førte til ~0,1 økning i pH og ~50-100 µatm

nedgang i pCO₂. Vannmassene nær kyst og fjorder i Norge og på Svalbard med lav C_T og A_T var karakterisert av høyere pH verdier opp til ~8,20 og lave pCO₂ verdier ned til ~250 µatm.



Figur 32. pH_T og pCO_2 in situ beregnet fra pH_T (i lab) og A_T . Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 32. pH_T and pCO_2 in situ calculated from pH_T (in lab) and A_T . The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

Metningsgraden for aragonitt i overflatevannet var mellom 1-2 (*Figur 33*) og for kalsitt mellom 2-4. Minimum metning ble observert sammen med lav pH på vinteren når C_T var høy. Metningen var som regel høyere om sommeren, også nær kyst og fjorder.

54



Figur 33. Fem år med Ω_{Ar} -verdier beregnet fra A_T og C_T . Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 33. Five years of Ω_{Ar} values calculated from A_T and C_T . The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

I Figurene 30 til 33 vises sesongvariasjon og mellomårsvariasjon for målte og beregnede parametere mellom Tromsø og Longyearbyen i løpet av fem år med observasjoner. Tidsserien gjør det mulig å avdekke de store trekkene i sesongvariasjonen. pCO_2 -nivåene i overflaten preges av minimumsverdier (ned til 252-268 µatm) observert ved vår- og sommersituasjoner og maksimumsverdier (opp til ~394 μ atm) observert ved vintersituasjonene. pH_T øker i vår- og sommerperioden, med maksimumsverdi på 8,2, og synker om vinteren til en minimumsverdi på 8,05. Det ble observert høye verdier av pH og lave pCO₂ ved Svalbard om sommeren som potensielt kan være knyttet til oppblomstring av planteplankton. Det er viktig å måle om vinteren for å fange de store trendene i havforsuring, men samtidig er det viktig å fange opp variasjonene om sommeren som sannsynligvis både skyldes og påvirker biologisk aktivitet. De observerte endringene av pCO_2 viser at havet er overmettet med CO_2 om vinteren, og vannet kan da bli en kilde til CO₂ der CO₂ trekkes fra vannet til atmosfæren, mens om vår, sommer og høst, forblir sjøvannet et sluk for atmosfærisk CO_2 . I Barentshavsåpningen hadde Atlantisk vann gjennomsnittlig pH_T- og pCO₂-verdier på henholdsvis 8,11 og 341 μ atm om sommeren, mens tilsvarende vinterverdier var 8,07 og 372 µatm. Vann påvirket av den norske kyststrømmen hadde i gjennomsnitt pH_T og pCO₂ på henholdsvis 8,12 og 321 μ atm om sommeren og 8,07 og 366 µatm om vinteren. Vannet nærmere Svalbard, påvirket av arktisk vann, hadde gjennomsnittlig pH $_{\rm T}$ på 8,19 om sommeren og 8,11 om vinteren, og gjennomsnittlig pCO₂ på 267 μ atm om sommeren og 329 μ atm om vinteren.

3.7.2 Oslo-Kiel

Stasjonene som ble innsamlet om bord på *M/S Color Fantasy* langs snittet mellom Oslo-Kiel i 2014 er vist i *Figur 34*. Havstrømmene i området er vist i *Figur 2b* og *Figur 39* og vannet her er påvirket av atlantisk vann og vann fra Østersjøen.



Figur 34. Stasjonskart for snittet mellom Oslo-Kiel, 18.1 (rød ▲), 14.5 (blå ∘), 26.8 (sort ▼) og 8.12 (grønn □).
Figure 34. Stations from Oslo-Kiel in 2014. 18.1 (red ▲); 14.5, (blue ∘); 26.8 (black ▼); 8.12 (green □).

I Skagerrak varierer saltholdigheten mye mellom nord (nær kyst) og sør. Vinteren 2014 varierte saltholdigheten mellom 24,3 og 34. Temperaturen varierte mindre, mellom 5,05 °C til 7,75 °C (*Figur 35*). På sesongbasis er det stor variasjon innen temperatur, fra 5,05 om vinter til 17,5 °C om sommeren og saltholdighet fra 21,6 til 34 med varmere og ferskere vann om sommeren (spesielt i kystnære områder). I Oslofjorden er variasjonen i temperatur større mellom sommer og vinter. Der varierer temperaturen mellom 2,3 °C til 19,6 °C.



Figur 35. Målt saltholdighet og temperatur (SST, °C) i overflatelaget (4 m dyp) i Oslofjorden og Skagerrak. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 35. Measured in situ salinity and sea surface temperature (SST, C). The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

 A_T og C_T er, som tidligere beskrevet for Barentshavsåpningen, generelt høyere i vann med større Atlantisk innflytelse enn i ferskere kystnære farvann (*Figur 36*). I Skagerrak var variasjonen mellom sesongene i 2014 stor (A_T 2035-2304 µmol kg⁻¹ og C_T 1650-2172 µmol kg⁻¹).

 A_T og C_T var mer variabel nær kysten (*Figur 36*). I Oslofjorden kunne A_T være så lav som 1654 µmol kg⁻¹ og C_T så lav som 1604 µmol kg⁻¹.



Figur 36. Tre års samlede målinger av A_T og C_T . Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 36. Three years of A_T and C_T measurements. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

pH og pCO₂ viser sesongvariasjon med generelt høyere pH / lavere pCO₂ om våren og sommeren (*Figur 37*) enn om vinteren. I Skagerrak var maksimums- og minimumsverdier for pH_T 8,06 (vinter) til 8,30 (sommer) og pCO₂ 207-386 µatm i 2014, igjen med minimum pH og maksimums pCO₂.nivåer nær kysten. I Oslofjorden var pH så lav som 7,97 om vinteren. I Skagerrak hadde overflaten gjennomsnittlig pH_T på 8,14 om sommeren og 8,06 om vinteren, og gjennomsnittlig pCO₂ på 315 µatm om sommeren og 380 µatm om vinteren. I Oslofjorden hadde overflaten gjennomsnittlig pH_T på 8,17 om sommeren og 8,03 om vinteren, og gjennomsnittlig pCO₂ på 260 µatm om sommeren og 366 µatm om vinteren.



Figur 37. $pH_T \text{ og } pCO_2$ (μatm , beregnet fra $pH_T \text{ og } A_T$). Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 37. pH_T and pCO_2 (calculated from A_T and pH_T). The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.



Figur 38. Tre års samlede målinger av aragonittmetning Ω_{Ar} i overflaten, beregnet fra A_T og C_T . Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 38. Three years of measurements of saturation of aragonite Ω_{Ar} calculated from A_T and C_T . The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

I *Figurene 35 til 38* vises sesongvariasjon og mellomårsvariasjon for målte og beregnede parametere i Skagerrak i løpet av 3 år med observasjoner. Tidsserien gjør det mulig å avdekke de store trekkene i sesongvariasjonen, og man ser at kystnære områder har stor variasjon i de ulike parameterne. Lavest metning i aragonitt er om vinteren, som observert i de 6 vintertoktene i tidsserien. Da er det tilfeller med undermetning av aragonitt i overflatevannet.

3.7.3 Kirkenes-Bergen

Vannprøver ble innsamlet i februar 2013 og februar 2014 langs norskekysten med Hurtigruten *M/S Trollfjord* (*Figur 39*). Som det fremgår av havstrømmene i området ble det for det meste tatt prøver i den norske kyststrømmen der vannet renner nordover fra Skagerrak. Saltholdighet og temperatur varierte stort sett langs hele transektet, delvis på grunn av at stasjonene er tatt i varierende kyst- og fjordvann. Det var en generell trend med kjøligere (2-4 °C) og saltere vann (33-34) i den nordlige delen nær Kirknes, mot gradvis varmere (~6-7 °C) og ferskere vann (~32-33) i den sørlige delen nær Bergen (Figur 40). I februar 2014 varierte A_T verdiene mellom 2202 og 2296 µmol kg⁻¹ og C_T varierte mellom 2022 og 2147 µmol kg⁻¹, og som med saltholdigheten var det store regionale variasjoner. pH varierte fra 8,01 til 8,09 og pCO₂ varierte mellom 325 og 410 µatm (Figur 41 og 42).



Figur 39a. Stasjoner langs norskekysten 23.-28. februar 2013 (røde) og i 2014 (sorte).Figure 39a. Stations from 23-28 February in 2013 (red) and in 2014 (black).



Figure 39b. Havstrømmene langs norskekysten; grønne piler- kystvann, og røde piler - Atlantisk vann (<u>http://www.imr.no/temasider/kyst_og_fjord/den_norske_kyststrommen/nb-no</u>)

Figure 39b. Currents off the Norwegian coast, with green arrows - coastal current, red- Atlantic water (www.imr.no).



Figur 40a. Overflatetemperatur på kart og som graf (SST, °C), mellom Kirkenes og Bergen. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 40a. Measurements of sea surface temperature (SST \mathcal{C}) between Kirkenes and Bergen. Red line is data from 2013 and blue line is data from 2014.



Figur 40b. Saltholdighet på kart og som graf mellom Kirkenes og Bergen. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 40b. Measurements of salinity between Kirkenes and Bergen. Red line is data from 2013 and blue line is data from 2014.

De laveste A_{T} - og C_{T} -verdiene ble observert i kystnære farvann i Varangerfjorden, mellom Tromsø og Lofoten, mellom Bodø og Sandnessjøen (66,53 °N 12,96 °E), i Trondheimsfjorden og fjordområdene nær Ålesund (*Figur 41a og b*).



Figur 41a. A_T (µmol kg⁻¹) på kart og som graf mellom Kirkenes og Bergen. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 41a. A_T along the Norwegian coast. Red line is data from 2013 and blue line is data from 2014.



Figur 41b. C_T (µmol kg⁻¹) på kart og som graf mellom Kirkenes og Bergen. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 41b. C_T along the Norwegian coast. Red line is data from 2013 and blue line is data from 2014.

De laveste pH verdiene ble observert i Lofoten (pH 8,04), mellom Bodø og Sandnessjøen, og i Trondheimsfjorden (pH 8,01) (*Figur 42a*). pCO₂ var også høyere sammenlignet med resten av transektet med verdier > 400 µatm i nærheten Bodø / Sandnessjøen, Trondheimsfjorden, og

fjordområdene nær Ålesund (*Figur 42b*). Gjennomsnittlig pH-verdi langs norskekysten var 8,05.



Figur 42a. pH_T på kart og som graf mellom Kirkenes og Bergen. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 42a. pH_T between Kirkenes and Bergen. Red line is based on 2013 data and blue line is 2014 data.



Figur 42b. pCO_2 (µatm, beregnet fra pH_T og A_T) på kart og som graf mellom Kirkenes og Bergen. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 42b. pCO_2 (calculated from A_T and pH_T) between Kirkenes and Bergen. Red line is based on 2013 data and blue line is 2014 data.

Figur 42 viser hvordan pCO_2 varierer langs norskekysten, og gjennomsnittlig pCO_2 -verdi var 388 µatm. I likhet med de andre havområdene utenfor Norge varierte metningstilstanden for aragonitt og kalsitt henholdsvis fra ~1 - 2 og fra ~2,5 - 3,5 (*Figur 43*; *Tabell 8* i Vedlegg A).





Figur 43. Aragonittmetning, Ω_{Ar} , i overflaten på kart og som graf, beregnet fra A_T og C_T , for norskekysten vinteren 2014. For sammenligning med data fra 2013 er transektet plottet for begge år i linjeplott til høyre, der rød linje og sirkler er data fra 2013 og blå linje og plusstegn er fra 2014. Transektet starter i Kirkenes og ender i Bergen (tid på x-akse).

Figure 43. Saturation of aragonite calculated from A_T and C_T along the Norwegian coast. Red line is based on 2013 data and blue line is 2014 data.

3.8 Underveis pCO₂-data i de Nordiske hav

I 2014 har pCO₂ blitt målt fra *F/F G.O. Sars* fra juli-november, og vi har valgt å dele dataene inn i sommer (juli-september) og høst (oktober-november). Her vises målt pCO_2 , temperatur, salt samt beregnede pH- og Ω_{Ar} -data (metningsgrad for aragonitt), se **Figur 44 og 45**. pH på totalskala (pH_T) er beregnet fra målte pCO₂-verdier og A_T-verdier estimerte fra overflatesaltholdighet (Nondal m fl., 2009), og programmet CO2SYS (se kapittel 2.3) er brukt til å bestemme pH. I sommersesongen (*Figur 44*) har båten dekket et mye større område av de Nordiske hav enn senere på året, og temperatur- og saltvariasjonene er store fra sør til nord. Om sommeren er vannet i Skagerrak og Nordsjøen opp til 18°C varmt med et saltinnhold på rundt 32 i østlige deler, som er litt ferskere enn det som IMR måler om vinteren på snittet Torungen-Hirtshals. Vest i Nordsjøen øker saltinnholdet til Atlantiske verdier, rundt 35. Nordover i det atlantiske vannet avtar temperaturen, og nord i Barentshavet har det polare vannet temperaturer ned til -1°C. Vestover fra Tromsø ses også avtakende temperatur når båten seiler fra atlantisk vann inn i polart influert vann i vest. I **Figur 44** ses tydelig den ferske strømmen langs norskekysten og det salte atlantiske vannet lenger vest. pCO_2 (som er tilnærmet det samme som fCO_2) og pH følger grovt sett temperaturen med høye pCO₂- og lave pH-verdier når temperaturen er høy (for eksempel i Skagerrak og Nordsjøen) og lave pCO_2 - og høye pH-verdier når temperaturen er lav (for eksempel i nordlige Barentshav). Men studerer en område for område ses for eksempel at pH verdien i Nordsjøen er relativt høye (ca. 8,05 -8,14) for dette havområdet sammenlignet med overflateverdier fra IMRs vintertokt (ca. 8,06), og pH er her mest sannsynlig drevet av biologisk produksjon. Aragonittmetningen er også høy (ca. 2,3 - 3) av samme grunn, og biologisk aktivitet ser ut til å dominere over ferskvannsinnflytelse i Nordsjøen / Skagerak om sommeren.

pH og Ω_{Ar} følger hverandre i sørlige deler av de Nordiske hav, men bildet er mer komplekst i nordlige deler av de Nordiske hav og i Barentshavet, hvor blanding av ulike vannmasser spiller inn. Hvis pH beregnes ved 25°C vil endringen i denne parameteren følge Ω_{Ar} -variasjonen overalt i de Nordiske hav (ikke vist), og fra dette kan man slutte at det, som forventet, er flere prosesser enn temperaturendring som påvirker disse parameterne. Fra oksygendata (ikke vist) ses vann som er litt overmettet med O₂ nord for Svinøy-NV og kraftig overmettet vest i Norskehavet og nord i Barentshavet, noe som tyder på primærproduksjon, men dette er vanskelig å si sikkert uten næringssaltdata. pH og Ω_{Ar} i Norskehavet er henholdsvis ca. 8,1 -8,2 og ca. 2,2 - 2,9, med de høyeste pH-verdiene i kystnært farvann i øst og i polart influert vann lengst i vest. Her finnes midlere Ω_{Ar} -verdier. Laveste pH-verdier synes også her å være midt på snittet, som langs Svinøy-NV i mars, og dette kan være knyttet til økt mengde CO₂ i vannet, men dette må undersøkes nærmere.

Ved innløpet til Barentshavet er store deler influert av det salte atlantiske vannet, men langs kysten av Norge og Svalbard samt i nordlige Barentshav vil ferskere vann fra kyststrøm og polart vann spille en rolle. I nordlige Barentshav ses relativt høye pH-verdier (ca. 8,26) og lav aragonittmetning (ca. 1,7), og her er pH trolig drevet av biologisk produksjon, mens Ω_{Ar} er drevet av ferskvannstilførsel.

Alle havområder som er målt er overmettet med aragonitt overflaten, og overmetningen er minst i nordlige deler av Barentshavet på sensommeren, med Ω_{Ar} -verdier på ca. 1,7. Dette er i overensstemmelse med vannkolonneprøver fra IMRs septembertokt i nordøstlige Barentshav. I juli ses den høyeste aragonittmetningen på rundt 3 i Norskebassenget og i Nordsjøen.



Figur 44. Sommerdata (juli til september) fra F/F G.O. Sars; verdier i havoverflata av fCO_2 (µatm), O_2 -metning (%), pH, Ω_{Ar} , temperatur (SST; °C) og måned målt.

Figure 44. Summer data (July to September) from R/V G.O. Sars; sea surface values of fCO_2 (μatm), O_2 saturation (%), pH, Ω_{Ar} , temperature (SST; °C) and months of measurements.



Figur 45. Høstdata (oktober til november) fra F/F G.O. Sars; verdier i havoverflata av fCO_2 (μ atm), O_2 -metning (%), pH, Ω_{Ar} , temperatur (SST; °C) og måned målt.

Figure 45. Fall data (October to November) from R/V G.O. Sars; sea surface values of fCO_2 (μ atm), O_2 saturation (%), pH, Ω_{Ar} , temperature (SST; °C) and months of measurements.
Høstverdiene er primært fra Norskebassenget og dekker dermed et mye mindre område enn sommerverdiene. Spredningen i de ulike parameterverdiene er også mye mindre en det som observeres om sommeren. Merk at fargeskalaene er ulike for de to sesongene. Temperaturen har avtatt siden sommersesongen og sør i Norskehavet ligger høstverdiene av fCO_2 (*Figur 44*) rundt 370-400 µatm, litt høyere i oktober enn november, og litt lavere i kyststrømmen i øst enn i det atlantiske vannet i vest. pH spenner fra ca. 8,04 i sør til ca. 8,08 lenger nord, mens Ω_A har verdier i området ca. 2,0 til 2,3. På høsten vil dypereliggende vann blandes oppover i vannsøyla og pH og Ω_{Ar} er noe lavere i Norskebassenget enn det som observeres i dette området om sommeren. Variasjonen i verdiene gjenspeiler også at snittene krysser områder med noe ulike vannmasser (kjemisk og hydrografisk), og dette er spesielt gyldig for sommerdataene, der måleområdet er så stort.

4. Oppsummering og anbefalinger

4.1 Nordsjøen

I Nordsjøen mellom Torungen og Hirtshals viste vinterdata fra februar 2014 generelt lave A_Tog C_T-verdier i overflaten som reflekterer innblanding av ferskvann. pH og aragonittmetningen i overflaten her er lavere i de nordligste (kystnære) stasjonene enn midt i snittet. I mellomsjiktet av vannsøylen på 100-200 m dyp finnes Atlantervannet med midlere verdier av A_T og C_T , og pH og Ω_{A_T} er henholdsvis ca. 8,03 og 1,7. I det dype vannet er A_T og C_T høye (2325 og 2180 µmol kg⁻¹), mens pH og Ω_{Ar} er relativt lave (7,95 og 1,5). De laveste verdiene ble målt ved den ferskvannspåvirkede kyststasjonen der Ω_{Ar} var omkring 1,4. Et interessant funn her var den høye pH-verdien som viser både primærproduksjonens innflytelse på pH (øker pHverdien) og at ferskvann har mindre innflytelse på pH enn på Ω_{Ar} . Middelverdi for aragonittmetningen (Ω_{Ar}) var 1,6 ± 0,1, for alle dyp i hele området. Sammenlignet med midlere aragonittmetning i 2012 på 1,9, viste 2014-middelverdien en signifikant lavere metning på cirka 0,3 Ω_{Ar} -enheter. Ulikhetene kommer spesielt til uttrykk i overflaten der pH, kalkmetningen og saltholdigheten var høyere i 2012 (Chierici m fl., 2013; 2014). I 2013 derimot ble det målt lignende (ca. 1,7) verdier som i 2014 og ingen sikker trend vises i denne korte tidsperioden. Den sesongmessige variasjonen i CO_2 -systemet i Skagerrak er hovedsakelig drevet av store endringer i saltholdighet, som er et resultat av svingninger i forholdet mellom ferskvannstilførsel fra elver og Østersjøen og saltvannstilførsel fra Atlanterhavet. I Skagerrak pågår også høy biologisk aktivitet som har stor betydning for variasjonen. I 2014 var sommeren spesiell varm i Nordsjøen og Skagerrak samtidig som innstrømningen av Atlanterhavsvann var rekordlav gjennom våren og sommeren (www.imr.no). Det kan forklare en del av de lavere Ω_{Ar} -metningene i 2014 sammenlignet med 2012.

Målinger fra lenger øst i Skagerrak viser de samme vinterverdier som beskrevet over, med høye C_{T^-} , A_{T^-} og p CO_2 -verdier og lav pH og aragonittmetning. I denne sesongen ses undermetning av aragonitt enkelte steder langs linjen Oslo-Kiel i Skagerrak. Om sommeren ses generelt lave C_{T^-} , A_{T^-} og p CO_2 -verdier nær kysten, og aragonittmetning er ca. 2,2 til 2,5. Gjennomsnittlig pH-verdi er på 8,14. I Oslofjorden er midlere pH 8,17 om sommeren og 8,03 om vinteren. Litt lenger vest enn Oslo-Kiel og i litt varmere vann måler F/F G.O. Sars noe høyere pCO₂ i juli enn det som er observert med *M/S Color Fantasy*. I dette området er pH og aragonittmetning relativt høye, og biologisk aktivitet er trolig en viktig pådriver for disse sommerverdiene. Ferskvannsinnflytelsen er svakere enn det som ses lenger øst i Nordsjøen.

4.2 Norskehavet

I Norskehavet langs Svinøy-NV ser vi tydelig hvordan kyststrømmen påvirker A_T og C_T , som er lave ut til henholdsvis 50 og 100 km fra kysten. Lengst i nordvest er også C_T-verdiene lave i de øvre 250 m. I de øvre 300 m av det Atlantiske vannet ses høye A_{T} -verdier og disse avtar ned mot ca. 1200 m. I det dypeste vannet som er resirkulert fra Arktis ses igjen høye A_{T} - og C_{T} verdier. Midt i snittet (mellom 100-200 km ut fra kysten) øker C_T gradvis med dypet, og den høyeste C_T-verdien (2180 μ mol kg⁻¹) finnes i bunnvannet. De laveste pH-verdiene (ca. 8,02) finnes i overflaten midt på snittet. Aragonittmetning er relativt homogen i overflaten rundt 1,85 til 2,0. Metningen synker gradvis med økende dyp og er 1,1 ved 1500 m ved den nordligste stasjonen. Middelverdi av aragonittmetning langs hele Svinøysnittet er 1,7 \pm 0,3. Basert på fire år med data fra 2°E ved Svinøy-NV ses en avtakende aragonittmetning i de øvre 50 m fra 2011 til 2014. Dette skyldes at det i 2014 var mer ferskt kystvann enn i 2011, som også er vist i hydrografidata på www.imr.no. Høyeste metning i 2011 var på 2,1 og laveste i 2014 på 1,85. I det dypeste vannet var aragonittmetningen lavest i 2013 da aragonittmetningen var nær 1 på 1500 m dyp. På samme dyp var aragonittmetningen i 2014 på 1,1. Fire år er likevel for kort til å kunne påvise signifikante trender. Sesongvariasjonen langs Svinøy-NV viser tydelig hvordan kyststrømmen beveger seg helt ut til 3-4°E på sensommer og høst, med relativt fersk vann i overflata. Dette gir lavere A_T og C_T , men disse parameterne, da spesielt C_T , blir også påvirket av biologisk produksjon som tiltar utover våren, og C_T avtar i det øverste vannlaget allerede fra mars. Sesongvariasjonene er størst i overflatevannet og avtar nedover i dypet. pH og aragonittmetning i overflata er også påvirket av biologisk aktivitet og på midlere dyp synker pH på grunn av økende mengder tilført remineralisert materiale.

På Stasjon M, som er litt lenger nord og vest i Norskehavet ses lignende sesongvariasjoner som på Svinøysnittet, med ferskt kystvann synlig i overflata i juli til oktober og avtakende C_Tverdier i øverste vannlag på grunn av biologisk produksjon fra ca. april og utover. Her er vinterverdier av pH og aragonittmetning henholdsvis 8,06 og 1,9 i overflata, mens sommerverdiene er ca. 8,15 og 2,7. Dette tilsvarer det som er målt fra overflatebøye på Stasjon M. Metningshorisonten for aragonitt, som beskriver skillet mellom overmettet og undermettet vann, ligger på 1800 til 1900 m dyp. På 2000 m dyp er pH ca. 8,02-8,03 mens aragonittmetningen er 0,98.

For å følge trender i havforsuring i områder med kaldtvannskoraller studeres tre stasjoner langs snittet Gimsøy-NV i den nordre delen av Norskehavet med oppstart i 2014. Her ser vi lignende variasjon som lenger sør med påvirkning av kystnært vann sammen med Atlanterhavsvann. Alle data og alle dyp langs Gimsøy-NV viser lavere middelverdier av aragonittmetning (ca. 1,67 \pm 0,22) sammenlignet med lenger sør i Norskehavet langs Svinøysnittet (1,72 \pm 0,3). Laveste Ω_{Ar} metning på 1,1 ses i resirkulert Arktisk vann på 1000 m dyp ved stasjonen lengst nord på Gimsøy-NV. På tilsvarende dyp men lenger sør ved Svinøy-NV var metningen 1,2. Dette speiler betydningen av transportert Arktisk vann som gir lavere kalkmetning, og dette har potensiale til å påvirke det kjemiske miljøet for kaldtvannskoraller.

I den norske kystrømmen viser variablene i CO_2 -systemet et stort spenn, uten å følge noe klart sør-nord-mønster. Det er høyst sannsynlig at dette reflekterer en variabel påvirkning fra det åpne havet på kyststrømmen, variabilitet i økosystemene og variabilitet i land-havprosessene i de ulike kyst- og fjordregionene. Vinterstid langs norskekysten varierer aragonittmetningen i overflata mellom 1,6 og 2,1 med middelverdi på 1,5 ± 0,3. Den laveste aragonittmetningen ble målt langs kysten av Midt-Norge.

4.3 Barentshavet

De undersøkte områdene i Barentshavet viser meget høy variabilitet, og mye av variabiliteten kommer fra årstidsvariasjon i hydrologien. I tillegg til dette vil CO2-systemet påvirkes av biologisk aktivitet og menneskelig påvirkning. Fra snittet Fugløya-Bjørnøya (Barentshavsåpningen) i mai ses lav pH og aragonittmetning i kystnært og Arktisk vann, og dette bekrefter det som er målt tidligere år. Midlere aragonittmetning for hele snittet og alle dyp er 1,88 \pm 0,15. Langs snittet i nordøstligste Barentshavet, som er mer påvirket av isdekke og smeltevann, er midlere aragonittmetning lavere; 1,82 $\pm 0,3$. Septembermålinger fra F/F G.O. Sars i nordlige Barentshav viser pH rundt 8,25 og aragonittmetning på ca. 1,6 til 2,1, og her er også biologisk produksjon en viktig driver for de observerte endringene. I 2014 var C_T lav i overflaten ved Fugløya-Bjørnøya som sannsynligvis er en kombinert effekt av primærproduksjon og smeltevann. Laveste A_T , C_T og pH verdier i overflatevannet ses ved 78°N i det nordøstligste Barentshavet. Dette er vann som er påvirket av planteplankton-produksjon om sommeren, sesongmessig isdekke og ferskt polarvann. Fra alle målinger i Barentshavet ses at hele dette havet er overmettet med aragonitt og kalsitt, men ved bunn i de midlere og nordlige delene er metningen relativt lav. Økningen i CO₂ ved bunnen er trolig fra mikrobiell nedbrytning av organisk materiale over lang tid og ikke fra antropogen havforsuring. I Barentshavsåpningen ble det i perioden 2011 til 2013 målt en økning i overflatesaltholdighet og -temperatur, med resulterende økning i A_T og C_T og reduksjon i aragonittmetning. Men i 2014 er A_T - og C_T -verdiene lavere, igjen, mens aragonittmetningen har verdier tilsvarende de i 2012. Dette illustrerer den høye variabiliteten i området og understreker behovet for lange tidsserier.

Barentshavet opplever ulik innstrømning av Atlantervann og ulik utbredelse av isdekket i tillegg til biologiske prosesser, og det er viktig å fortsette målingene i hele vannsøylen for å finne årsakene til mellomårlig variasjon i hydrografien, hvordan dette påvirker karbonatsystemet, og for å forstå prosessene som styrer opptaket av CO_2 og variasjonen i karbonatsystemet. Hvor mye bidrar økt havtemperatur til endring i CO_2 konsentrasjonen? Hvor mye bidrar smeltevann til metningsgraden av aragonitt? Disse spørsmål kan bare besvares gjennom måleserier over lang tid som settes sammen med klimarelatert forskning.

4.3.1 Drivere av endringer

Målet med dette overvåkingsprogrammet er å forstå havforsuring i norske farvann og hvordan den varierer fra sesong til sesonger og mellom år. Programmet er inne i det andre året som eget program og i det fjerde året av havforsuringsovervåking og vi har nå analysert og produsert nye data som vil inngå i beskrivelsen av en basissituasjon, som fremtidige endringer kan skaleres opp mot. Overflatemålinger fra Barentshavsåpningen viser at deler av variabiliteten i karbonatsystemet skyldes hydrografiske endringer (saltholdighet, temperatur, næringsstoffer). I vannkolonnen sammenlignes data fra år til år, og en stor del av variasjonen i CO₂ systemet er knyttet til variasjon i Atlanterhavsvann, polart vann og utbredelse av kystvann. Biologisk produksjon er også en viktig driver for mellomårlig variasjon. Vannkolonnedata gir informasjon som kan brukes til å utvikle scenarier for framtidige CO₂konsentrasjoner, opptak av antropogent CO₂, og hvordan dypet av metningshorisonten endres. Men å bestemme de enkelte drivere av havforsuring og deres regionale, sesongmessige og mellomårlig variabilitet, krever en mer helhetlig overvåking og integrerte målinger og studier av biologisk produktivitet, hav-fysikk, og land-hav utveksling.

Antropogen påvirkning i Norskehavet er liten og i overflata ses generelt en pCO₂ økning på 2-3 μ atm år⁻¹ (Skjelvan *m fl.*, 2014). Det er svært lite sammenlignet med den naturlige bakgrunnskonsentrasjonen (ca. 250 - 400 µatm avhengig av område og årstid) og sesongvariasjonen (ca. 50 - 150 μ atm avhengig av område og årstid) av CO₂ i dette området. Dette medfører at for å kunne si noe om antropogen kontra naturlig påvirkning trengs lange tidsserier tilsvarende de 20 årene det har blitt målt i Islandshavet (Olafsson *m fl.*, 2009). Vi har fått økende innsikt i hvordan trenden ser ut i visse havområder med data fra blant annet dette programmet. I Norskehavet indikerer målingene for eksempel at pH avtar raskt i Lofoten- og Norskebassenget (Skjelvan m fl., 2013; 2014), og her er det svært viktig å fortsette overvåkningen av trender i karbonatsystemet, spesielt med tanke på de sårbare revene med kaldtvannskoraller som finnes i Norskehavet. I denne rapporten vises at resirkulert vann fra Arktis strømmer inn i de dype vannlagene i Norskehavet og gir lave metningsverdier. Det betyr at økt innførsel av arktisk vann i intermediære dyp kan på kort tid gi store effekter på det kjemiske miljøet. Hele Barentshavet viser stor års- og sesongvariasjon, noe som vises i overflatedata fra fire år, men dette er ikke tilstrekkelig lang tid for å kunne si noe om trender og hvilke prosesser som er styrende for C_T -endringen i overflata. Dette overvåkingsprogrammet bidrar med svært viktige data for både kyst-, Atlanter- og polarvannet og det bidrar også med data og kunnskap til det internasjonale nettverket for havforsuringsovervåking (Global network for Ocean Acidification ObservatioNs GOA-ON og ICES Study Group of Ocean Acidification-SGOA). Det er viktig å se havforsuringsovervåkingen i et langt perspektiv, for hvis avvik fra naturlige variasjoner skal kunne detekteres er vi helt avhengige av lange dataserier. Målingene som gjøres i Norskehavet og Barentshavet i dette programmet gir unike data fra et område der det skjer stor forandring relatert til klima, transport av Atlanterhavsvann og minkende sjøis. I disse områdene finnes det relativt få kjemiske data fra før, og i lys av dette vekker overvåkningsprogrammet også internasjonal interesse.

4.4 Anbefalinger

Internasjonalt er det stort fokus på kaldtvannskoraller (ICES, 2014), og langs Norskekysten er det rikelig med slike korallrev. Det har vist seg at man har svært lite informasjon om karbonatsystemet i disse områdene. Data fra det eksisterende programmet kan til en viss grad brukes, men det burde absolutt vurderes å overvåke noen utvalgte korallrev. Dette kan best gjøres med automatiske målinger av *in situ* pH og pCO₂, sammen med oksygen og andre parametere på et spesifikt rev. Vannprøvetaking må utføres for kalibrering og kvalitetssjekk av sensorer. Bruk av automatiske vannprøvetakere og analyse av C_T og A_T kan være en annen mulighet for å få sesongmessig dekning.

Et annet viktig område som fortsatt må måles er Norskehavet og området rundt Lofotenbassenget, der man har rapportert raskt minkende pH-verdier fra overflaten og ned til bunnen (Skjelvan *m fl.*, 2013; 2014). Lofoten er et svært viktig gyteområde for rekruttering av blant annet sild. Her er det av avgjørende betydning å fortsette målingene slik at vi kan følge utviklingen nøye. Der trengs fokuserte studier av vannkolonnen med karbondata fra flere sesonger og flere år.

I 2014 har det ikke skjedd noen utvikling når det gjelder datainnsamling og informasjon relatert til havforsuringsovervåking fra fjorder. Her mangler vi fortsatt kunnskap om havforsuringstilstanden og hvilke primære drivere som bør studeres i slike områder med stor sesongvariasjon. Flere internasjonale initiativ undersøker nå mulighetene for å bruke autonome sensorer med pH og pCO₂ i kombinasjon med sensorer som måler oksygen og klorofyll for å bestemme den biologiske delen av CO₂-opptaket. I dette programmet måles overflaten og åpent hav med sesongmessig dekking, men vi har ingen jevnlige målinger av vannsøylen langs kysten eller i fjorder. Dette bør gjøres i noen få utvalgte fjorder med betydelig akvakulturvirksomhet eller sterk sesongmessig påvirkning av ferskvann, for eksempel nordnorske fjorder, og fjorder der det allerede finnes god informasjon om hydrografi og en eksisterende infrastruktur (for eksempel tokt) som kan benyttes for vannprøvetaking av karbonatsystemet. Dette vil være svært viktig med tanke på utnyttelse av fjorder for både rekreasjon, næringsaktivitet som avfallsdeponi og akvakultur.

Skjelvan *m. fl.* (2014) konkluderte også med at vi mangler informasjon og data fra både Barentshavet og Nordsjøen, der sistnevnte er et av de hav der vi ser størst menneskelig påvirkning og er et område med stor skipsaktivitet og stor mulighet for overvåkning. I dette programmet fanges bare en liten del av Nordsjøen opp fra snittet Torungen-Hirtshals, overflatevannet mellom Oslo og Kiel og juli-målinger fra *F/F G.O. Sars*, men vi har ikke tilstrekkelige data for å kunne evaluere trender og påvirkning av havforsuring. En mulighet er å bruke eksisterende infrastruktur fra IMR Økotokt i Nordsjøen og langs det faste snittet Utsira-V til prøvetaking av vannsøylen i ulike årstider. En annen mulighet er å bruke NIVAs Ferrybox-linjer i Nordsjøen, der instrument for kontinuerlig måling av pH og pCO₂ kan installeres, tilsvarende det som i 2014 er installert på linjene langs hele norskekysten og i 2015 blir installert på linjene i Barentshavsåpningen.

5. Referanser

Agnalt, A-L, E.S. Grefsrud, E. Farestveit, M. Larsen & F. Keulder. Deformities in larvae and juvenile European lobster (*Homarus gammarus*) exposed to lower pH at two different temperatures, Biogeosciences 10 (12): 7883-7895, 2013.

AMAP, Arctic Monitoring and Assessment programme. Arctic Ocean Acidification Assessment: Summary for Policymakers, 2013.

Andersen, S., E.S. Grefsrud & T. Harboe. Effect of increased pCO2 level on early shell development in great scallop (*Pecten maximus* Lamarck) larvae. Biogeosciences, 10: 6161-6184, 2013.

Børsheim, K.Y. & L. Golmen. Forsuring av havet. Kunnskapsstatus for norske farvann. Rapport, SFT, TA nr 2575-2010, 2010.

Chierici, M., K. Sørensen, T. Johannessen, K.Y. Børsheim, A. Olsen, E. Yakushev, A. Omar & T.A. Blakseth. Tilførselprogrammet 2011, Overvåking av havsforsuring av norske farvann, Rapport, Klif, TA2936-2012, 2012.

Chierici, M., K. Sørensen, T. Johannessen, K.Y. Børsheim, A. Olsen, E. Yakushev, A. Omar, I. Skjelvan, M. Norli & S. Lauvset. Tilførselprogrammet 2012, Overvåking av havsforsuring av norske farvann, Rapport, Klif, TA3043-2013, 2013.

Chierici, M., I. Skjelvan, R. Bellerby, M. Norli, L. Fonnes Lunde, H. Hodal Lødemel, K.Y. Børsheim, S.K. Lauvset, T. Johannessen, K. Sørensen & E. Yakushev. Overvåking av havforsuring i norske farvann, Rapport, Miljødirektoratet, TA218-2014, 2014.

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., Standard potential of the reaction: $AgCl(s) + \frac{1}{2}H2(g) = Ag(s) + HCl(aq)$, and the standard acidity constant of the ion HSO4 - in synthetic sea water from 273.15 to 318.15 K. J. Chem. Thermodyn. 22: 113-127, 1990.

Dickson, A.G., C.L. Sabine & J.R. Christian (eds.). Guide to Best Practices for Ocean CO2 Measurements. PICES Special Publication 3, IOCCP Report 8, 191 pp, 2007.

ICES. Final Report to OSPAR of the Joint OSPAR/ICES Ocean Acidification Study Group (SGOA). ICES CM 2014/ACOM:67, 141 pp, 2014.

Ingle, S.E., Solubility of calcite in the ocean. Marine Chemistry, 3, 1975.

Ingvaldsen, R. & H. Loeng. Physical Oceanography. I Sakshaug, E., Johnsen, G. og Kovacs, K. (eds): Ecosystem Barents Sea. Tapir Academic Press, Trondheim, 2009.

Johannessen, T., K. Sørensen, K.Y. Børsheim, A. Olsen, E. Yakushev, A. Omar & T.A. Blakseth. Tilførselsprogrammet 2010. Overvåking av forsuring av norske farvann med spesiell fokus på Nordsjøen. Rapport, KLIF, TA 2809-2011, 2011.

Järnegren, J. & T. Kutti. Lophelia pertusa in Norwegian waters. What have we learned since 2008? - NINA Report 1028. 40 pp. ISSN: 1504-3312,ISBN: 978-82-426-2640-0, 2014.

Mehrbach, C., C.H. Culberson, 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., 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, 1983.

Nondal, G., R.G.J. Bellerby, A. Olsen, T. Johannessen & J. Olafsson. Optimal evaluation of the surface ocean CO2 system in the northern North Atlantic using data from voluntary observing ships, Limnol. Oceanogr.: Methods 7, 109-118, 2009.

Olafsson, J., S.R. Olafsdottir, A. Benoit-Cattin, M. Danielsen, T.S. Arnarson & T. Takahashi. Rate of Iceland Sea acidification from time series measurements, Biogeosciences, 6, 2661-2668, doi:10.5194/bg-6-2661-2009, 2009.

Orr, J. C., V. J. Fabry, O. Aumont et al., Anthropogenic ocean acidification over the twentyfirst century and its impact on calcifying organisms. Nature 437, 681-686, 2005.

Pierrot, D., E. Lewis & D.W.R. Wallace. MS Excel Program Developed for CO2 System Calculations. ORNL/CDIAC-105a. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. doi: 10.3334/CDIAC/otg.CO2SYS_XLS_CDIAC105a, 2006.

Pierrot, D., C. Neill, K. Sullivan, R. Castle, R. Wanninkhof, H. Lüger, T. Johannessen, A. Olsen, R.A. Feely & C.E. Cosca. Recommendations for autonomous underway pCO2 measuring systems and data reduction routines. Deep-Sea Res. II 56, 512-522, 2009.

Skjelvan, I., A. Olsen, A. Omar & M. Chierici. Rapport fra arbeidet med å oppdatera havforsuringsdelen av Forvaltningsplanen for Norskehavet. Direktoratet for Naturforvaltning, Norge, 2013.

Skjelvan, I., E. Jeansson, M. Chierici, A. Omar, A. Olsen, S. Lauvset & T. Johannessen. Havforsuring og opptak av antropogent karbon i de Nordiske hav, 1981-2013, Rapport, Miljødirektoratet, M244-2014, 2014.

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 p CO2 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 (Argopectenirradians) and Eastern oysters (Crassostreavirginia). Limnol. Oceanogr. 54, 2072-2080, 2009.

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.

6. Vedlegg A. Datatabeller

Tabell 1. Torungen-Hirtshals, februar 2014. February 2014.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	Ατ	Ст	pH⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO ₃	PO ₄	SiOH₄
						(µmol	(µmol						
	°N	°E	(m)		(°C)	kg⁻¹)	kg⁻¹)				(µM)	(µM)	(µM)
8	58.00	9.35	9	32.20	4.60	2277	2145	8.038	2.50	1.50	6.7	0.50	6.1
8	58.00	9.35	30	34.02	5.70	2303	2160	8.024	2.60	1.60	6.5	0.50	5.1
8	58.00	9.35	48	34.50	6.80	2308	2166	7.998	2.60	1.60	6.3	0.50	4.6
8	58.00	9.35	99	34.91	8.00	2307	2165	7.974	2.60	1.60	5.6	0.50	3.5
8	58.00	9.35	199	35.16	7.60	2316	2183	7.947	2.40	1.50	9.9	0.80	4.9
8	58.00	9.35	401	35.20	5.90	2319	2189	7.958	2.20	1.40	9.6	0.80	6.2
6	58.13	9.18	9	32.25	4.90	2281	2135	8.070	2.70	1.70	7.2	0.50	6.9
6	58.13	9.18	30	33.47	5.60	2303	2152	8.053	2.70	1.70	6.3	0.50	5.7
6	58.13	9.18	49	33.85	5.40	2305	2154	8.054	2.70	1.70	6.0	0.50	5.2
6	58.13	9.18	100	34.36	6.20	2310	2150	8.053	2.80	1.80	5.6	0.50	4.3
6	58.13	9.18	198	35.14	7.80	2320	2169	7.989	2.60	1.70	9.0	0.70	4.3
6	58.13	9.18	300	35.20	6.60	2323	2184	7.972	2.40	1.50	10.2	0.80	5.2
6	58.13	9.18	400	35.20	6.00	2324	2175	8.003	2.40	1.60	9.4	0.80	5.7
6	58.13	9.18	599	35.20	5.60	2324	2180	7.992	2.30	1.50	9.3	0.80	6.7
5	58.20	9.08	9	32.22	5.00	2282	2141	8.055	2.60	1.60	7.0	0.50	6.8
5	58.20	9.08	30	33.70	5.40	2308	2151	8.069	2.80	1.80	6.1	0.50	5.2
5	58.20	9.08	48	34.28	6.40	2310	2152	8.047	2.80	1.80	5.8	0.50	4.7
5	58.20	9.08	98	34.55	6.80	2314	2159	8.028	2.70	1.70	6.4	0.50	4.9
5	58.20	9.08	199	35.15	7.70	2320	2172	7.985	2.60	1.60	9.5	0.70	4.5
5	58.20	9.08	402	35.20	5.70	2325	2179	8.003	2.40	1.50	9.3	0.80	6.4
3	58.33	8.88	10	31.68	4.40	2262	2124	8.068	2.60	1.60	6.4	0.50	6.5
3	58.33	8.88	29	34.25	6.50	2311	2150	8.054	2.90	1.80	5.8	0.50	4.7
3	58.33	8.88	49	34.61	7.10	2314	2148	8.052	2.90	1.80	5.8	0.50	3.9
3	58.33	8.88	99	34.99	8.00	2315	2153	8.022	2.80	1.80	7.1	0.60	3.7
3	58.33	8.88	200	35.12	7.80	2321	2164	8.003	2.70	1.70	8.7	0.70	4.1
1	58.40	8.77	9	27.91	3.40	2175	2068	8.053	2.10	1.30	6.8	0.50	8.8
1	58.40	8.77	29	31.87	5.00	2266	2145	8.009	2.30	1.50	7.2	0.50	7.2
1	58.40	8.77	49	33.73	6.30	2307	2155	8.041	2.70	1.70	6.4	0.50	5.9
1	58.40	8.77	99	34.13	6.50	2309	2154	8.037	2.70	1.70	6.5	0.50	5.3
1	58.40	8.77	124	34.15	6.50	2311	2157	8.034	2.70	1.70	6.4	0.50	5.4

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	Ατ	Ст	pΗ⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO₃	PO ₄	SiOH₄
	°N	°E	(m)		(°C)	(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)				(11M)	(11M)	(11174)
162	62.10	/ 05	102	25 10	7.84	2217	21/15	8 0/12	2 00	1 20	<u>(μινι)</u> ο <i>ι</i>	<u>(μινι)</u> 0.77	(μνη)
162	62.49	4.95	1/0	25.10	7.04	2317	2145	8.042	2.90	1.00	9.4 Q /	0.77	4.5
163	62.45	4.55	14J 00	34 55	7 13	2320	2147	8.040	3.00	1 90	9.4 8.4	0.70	4.5
162	62.49	4.95	75	24.33	6.62	2312	2130	8.008	2 00	1.90	7.9	0.70	4.5
162	62.49	4.95	50	24.30	6.27	2302	2135	8.000 8.065	2.90	1.00	7.0	0.00	4.0
162	62.49	4.95	10	24.14	6.22	2230	2134	8.00J	2.90	1.00	7.4	0.03	4.7
162	62.49	4.95	19	24.02	6 15	2295	2155	8.00J	2.90	1.00	7.2	0.03	4.7
162	62.49	4.95	2	24.01	6 15	2295	2155	0.000 0.071	2.90	1.00	7.1	0.02	4.7
167	62.43	4.95	5	25.07	0.1J	2290	2155	0.071	2.90	1.00	12.4	1.01	4.0
167	62.05	4.10	570	25.07 25.10	5.12	2312	2100	0.022 0.046	2.40	1.50	13.4	1.01	0.Z
107	02.05	4.10	200	25.10	7.04	2510	2140	8.040 8.0C2	2.70	1.70	12.1	0.95	5.5
167	62.83	4.18	300	35.23	7.94	2324	2139	8.062	3.00	1.90	11.2	0.83	4.3
167	62.83	4.18	200	35.28	8.30	2328	2145	8.054	3.00	1.90	10.9	0.82	4.1
167	62.83	4.18	151	35.28	8.30	2325	2140	8.059	3.10	2.00	10.9	0.81	4.1
167	62.83	4.18	75	35.28	8.36	2324	2142	8.058	3.10	2.00	10.9	0.83	4.1
167	62.83	4.18	50	35.28	8.36	2325	2143	8.059	3.10	2.00	10.9	0.85	4.1
167	62.83	4.18	30	35.28	8.36	2323	2140	8.061	3.10	2.00	11.0	0.81	4.1
167	62.83	4.18	10	35.28	8.35	2334	2151	8.062	3.20	2.00	10.8	0.80	4.1
167	62.83	4.18	5	35.28	8.35	2327	2141	8.069	3.20	2.00	10.7	0.78	4.1
170	63.07	3.66	955	34.91	-0.80	2316	2161	8.110	2.10	1.40	14.5	1.10	12.9
170	63.07	3.66	803	34.91	-0.77	2312	2168	8.089	2.10	1.30	14.0	1.08	11.1
170	63.07	3.66	501	34.92	0.23	2311	2169	8.079	2.20	1.40	14.5	1.13	9.3
170	63.07	3.66	401	34.98	3.67	2314	2162	8.054	2.50	1.60	12.8	0.96	6.5
170	63.07	3.66	200	35.15	7.25	2324	2144	8.068	3.00	1.90	11.5	0.85	4.7
170	63.07	3.66	99	35.24	7.96	2327	2142	8.070	3.10	2.00	11.1	0.85	4.3
170	63.07	3.66	50	35.25	8.09	2328	2145	8.065	3.10	2.00	10.9	0.81	4.2
170	63.07	3.66	28	35.26	8.09	2330	2145	8.071	3.20	2.00	10.9	0.81	4.2
170	63.07	3.66	9	35.25	8.08	2332	2159	8.041	3.00	1.90	10.7	0.79	4.2
172	63.31	3.13	1005	34.91	-0.80	2316	2184	8.050	1.90	1.20	14.6	1.10	13.1
172	63.31	3.13	801	34.91	-0.70	2308	2176	8.056	2.00	1.30	14.2	1.10	11.3
172	63.31	3.13	501	34.96	2.40	2311	2163	8.058	2.30	1.50	12.7	0.90	6.3
172	63.31	3.13	401	35.07	6.20	2320	2159	8.031	2.60	1.70	11.5	0.90	5.6
172	63.31	3.13	200	35.20	7.50		2168				10.9	0.80	4.4
172	63.31	3.13	100	35.21	7.50	2325	2154	8.046	2.90	1.90	10.9	0.80	4.3
172	63.31	3.13	50	35.22	7.70	2325	2159	8.033	2.90	1.80	10.6	0.80	4.2
172	63.31	3.13	30	35.22	7.70	2330	2165	8.028	2.90	1.80	10.5	0.80	4.2
172	63.31	3.13	8	35.22	7.70	2322	2166	8.011	2.80	1.80	10.4		4.2

Tabell 2a. Svinøy-NV, mars 2014. March 2014.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	Ατ	CT .	pH⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO₃	PO ₄	SiOH ₄
	°N	°E	(m)		(°C)	(µmol kg⁻¹)	(µmol kg⁻¹)				(μM)	(μM)	(µM)
174	63.66	2.33	1366	34.91	-0.80	2319	2180	8.053	1.80	1.20	14.5	1.10	12.7
174	63.66	2.33	1201	34.91	-0.70	2321	2184	8.054	1.90	1.20	14.5	1.10	12.3
174	63.66	2.33	1000	34.91	-0.60	2309	2167	8.074	2.00	1.30	14.1	1.10	10.4
174	63.66	2.33	799	34.90	-0.30	2311	2163	8.092	2.20	1.40	14.4	1.10	11.8
174	63.66	2.33	500	35.00	3.70	2311	2170	8.019	2.30	1.40	14.0	1.00	9.8
174	63.66	2.33	178	35.22	7.60	2326	2147	8.059	3.00	1.90	11.0	0.80	4.3
174	63.66	2.33	100	35.23	7.80	2323	2150	8.045	3.00	1.90	11.0	0.80	4.3
174	63.66	2.33	50	35.23	7.80	2323	2163	8.016	2.80	1.80	10.9	0.80	4.3
174	63.66	2.33	30	35.23	7.80	2320	2152	8.034	2.90	1.90	10.8	0.80	4.3
174	63.66	2.33	10	35.23	7.80	2332	2178	8.003	2.80	1.80	10.6	0.80	4.3
176	64.14	1.26	1467	34.91	-0.70	2313	2183	8.024	1.70	1.10	13.9	1.00	10.4
176	64.14	1.26	1200	34.91	-0.60	2300	2172	8.029	1.80	1.10	14.1	1.10	9.7
176	64.14	1.26	1001	34.91	-0.40	2306	2173	8.047	1.90	1.20	13.7	1.00	8.7
176	64.14	1.26	800	34.91	-0.20		2180				13.4	1.00	7.7
176	64.14	1.26	501	34.93	1.10		2161				13.2	1.00	6.3
176	64.14	1.26	199	35.19	7.50		2152				11.1	0.80	4.4
176	64.14	1.26	98	35.20	7.50	2330	2139	8.092	3.20	2.00	11.0	0.80	4.4
176	64.14	1.26	49	35.20	7.50	2326	2144	8.072	3.10	2.00	10.9	0.80	4.3
176	64.14	1.26	21	35.20	7.50	2327	2135	8.097	3.30	2.10	10.9	0.80	4.3
176	64.14	1.26	8	35.20	7.50	2330	2137	8.101	3.30	2.10	10.6	0.80	4.4

 Tabell 2a. Svinøy-NV, mars 2014 - fortsettelse. March 2014 - continuation.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Dato	Salt	т	AT	Ст	pН⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}
							(µmol	(µmol			
	°N	°E	(m)	mm/dd		(C°)	kg⁻¹)	kg⁻¹)			
190	63.96	1.65	991	03/18	34.91	-0.57	2297.1	2164.7	8.049	1.89	1.20
190	63.96	1.65	491	03/18	34.91	0.07	2299.2	2171.2	8.047	2.08	1.32
190	63.96	1.65	295	03/18	34.95	1.86		2167.9			
190	63.96	1.65	195	03/18	34.95	4.08	2299.0	2153.3	8.040	2.49	1.58
190	63.96	1.65	97	03/18	35.04	5.65	2305.6	2147.0	8.050	2.74	1.73
190	63.96	1.65	49	03/18	35.05	5.70	2306.9	2146.2	8.055	2.80	1.77
190	63.96	1.65	29	03/18	35.06	5.84	2309.4				
190	63.96	1.65	19	03/18	35.06	5.86	2307.6	2145.9	8.056	2.83	1.79
190	63.96	1.65	9	03/18	35.06	5.86	2308.4	2144.9	8.061	2.86	1.81
191	63.50	2.70	988	03/18	34.91	-0.73	2302.5	2164.6	8.066	1.95	1.24
191	63.50	2.70	494	03/18	35.00	3.75	2304.4	2162.3	8.023	2.29	1.45
191	63.50	2.70	295	03/18	35.19	7.44	2315.9	2142.7	8.046	2.84	1.80
191	63.50	2.70	197	03/18	35.24	7.81	2322.4	2143.3	8.056	2.98	1.90
191	63.50	2.70	97	03/18	35.25	7.85	2320.6	2144.6	8.052	3.00	1.91
191	63.50	2.70	49	03/18	35.25	7.90	2318.9	2144.7	8.049	3.01	1.91
191	63.50	2.70	29	03/18	35.26	7.94	2327.0	2143.4	8.070	3.16	2.00
191	63.50	2.70	19	03/18	35.26	7.95	2318.6	2143.6	8.051	3.04	1.93
191	63.50	2.70	9	03/18	35.26	7.95	2319.5	2145.5	8.049	3.03	1.92
191	63.50	2.70	4	03/18	35.26	7.94	2319.1	2143.6	8.053	3.05	1.94
192	63.07	3.70	971	03/18	34.91	-0.80	2302.1	2168.2	8.057	1.91	1.21
192	63.07	3.70	500	03/18	34.92	0.84	2297.0	2170.6	8.030	2.06	1.31
192	63.07	3.70	301	03/18	35.13	6.98	2312.5	2146.3	8.037	2.74	1.74
192	63.07	3.70	199	03/18	35.22	7.62		2143.7	8.088		2.02
192	63.07	3.70	99	03/18	35.22	7.61	2316.9	2145.3	8.046	2.94	1.86
192	63.07	3.70	49	03/18	35.22	7.61	2317.2	2143.0	8.054	3.01	1.91
192	63.07	3.70	29	03/18	35.22	7.61	2317.7	2142.1	8.058	3.04	1.93
192	63.07	3.70	18	03/18	35.22	7.60		2143.7			
192	63.07	3.70	8	03/18	35.22	7.60	2318.4	2144.5	8.055	3.03	1.92
192	63.07	3.70	3	03/18	35.22	7.60	2316.4	2141.7	8.057	3.04	1.93
128	63.19	3.39	969	05/05	34.91	-0.79	2301.9	2165.4	8.064	1.94	1.23
128	63.19	3.39	790	05/05	34.91	-0.65	2296.8				
128	63.19	3.39	495	05/05	34.96	2.45	2300.1	2165.4	8.025	2.18	1.38
128	63.19	3.39	396	05/05	35.08	6.08	2307.4	2153.6	8.018	2.51	1.59
128	63.19	3.39	297	05/05	35.18	7.29	2315.2	2147.5	8.035	2.76	1.76
128	63.19	3.39	198	05/05	35.22	7.66	2316.5	2145.7	8.039	2.87	1.82
128	63.19	3.39	98	05/05	35.27	8.31	2319.0	2145.3	8.039	2.97	1.89
128	63.19	3.39	74	05/05	35.21	8.18	2321.5	2135.0	8.073	3.17	2.02
128	63.19	3.39	30	05/05	35.20	8.16	2319.7	2132.6	8.076	3.21	2.04
128	63.19	3.39	8	05/05	35.20	8.16	2319.2	2127.2	8.088	3.30	2.09

Tabell 2b. Svinøy-NV, 2014.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Dato	Salt	т	A _T	C _T	рНт	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}
	°N	°E	(m)	mm/dd		(C°)	(µmoi kg⁻¹)	(μποι kg⁻¹)			
134	64.37	0.73	1480	05/06	34.91	-0.73	2297.8	2161.9	8.041	1.71	1.09
134	64.37	0.73	988	05/06	34.91	-0.50	2293.8	2166.2	8.035	1.83	1.17
134	64.37	0.73	790	05/06	34.91	-0.34	2294.7	2168.3	8.037	1.91	1.21
134	64.37	0.73	495	05/06	34.91	0.16	2293.3	2170.5	8.031	2.02	1.27
134	64.37	0.73	395	05/06	34.93	0.90	2295.1	2171.6	8.025	2.08	1.31
134	64.37	0.73	198	05/06	34.93	3.51	2298.7	2155.3	8.043	2.46	1.55
134	64.37	0.73	98	05/06	35.09	6.43	2308.5	2144.9	8.048	2.82	1.78
134	64.37	0.73	49	05/06	35.14	6.98	2312.8	2138.6	8.066	3.00	1.90
134	64.37	0.73	28	05/06	35.16	7.10	2314.0	2142.3	8.059	2.98	1.89
134	64.37	0.73	10	05/06	35.16	7.13	2314.3	2143.0	8.058	2.99	1.89

 Tabell 2b. Svinøy-NV, 2014 - fortsettelse. Continuation.

Τ	abell	2c.	Stasjon	Μ,	2014.
---	-------	-----	---------	----	-------

Stn	Lat	Lon	Dyp	Dato	Salt	т	Ατ	Cτ	pH⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO₃	PO ₄	SiOH ₄
			71-				(µmol	(µmol						
	°N	°E	(m)	mm/dd		(C°)	kg ⁻¹)	 kg⁻¹)				(µM)	(µM)	(µM)
18	66.00	2.00	2020	01/21	34.91	-0.80	2310.2	2172.8	8.022	1.52	0.98	14.7	1.1	13.3
18	66.00	2.00	1774	01/21	34.91	-0.77	2310.3	2168.2	8.044	1.66	1.06	14.6	1.1	12.3
18	66.00	2.00	1481	01/21	34.91	-0.74	2306.0	2168.4	8.044	1.73	1.11	14.4	1.0	11.6
18	66.00	2.00	987	01/21	34.91	-0.58	2308.8	2171.4	8.061	1.94	1.24	13.8	1.0	9.6
18	66.00	2.00	790	01/21	34.91	-0.41	2306.4	2173.0	8.056	1.99	1.26	13.8	1.0	8.7
18	66.00	2.00	495	01/21	34.91	0.19	2308.2	2174.9	8.058	2.15	1.36	13.4	1.0	6.9
18	66.00	2.00	395	01/21	34.94	1.15	2308.8	2173.8	8.051	2.23	1.41	13.3	1.0	6.4
18	66.00	2.00	196	01/21	35.12	5.71	2321.1	2165.3	8.035	2.65	1.68	12.3	0.9	6.1
18	66.00	2.00	99	01/21	35.09	6.45	2316.8	2145.4	8.066	2.93	1.85	10.7	0.8	4.7
18	66.00	2.00	49	01/21	35.10	6.52	2320.6	2146.6	8.072	3.00	1.90	10.9	0.8	4.7
18	66.00	2.00	30	01/21	35.10	6.52	2321.8	2147.6	8.073	3.01	1.91	10.9	0.8	4.7
18	66.00	2.00	11	01/21	35.10	6.52	2323.8	2151.7	8.069	3.00	1.90	10.6	0.8	4.7
179	66.00	2.00	1476	03/03	34.91	-0.74	2299.6	2165.3	8.036	1.70	1.09	13.8	1.0	10.7
179	66.00	2.00	1186	03/03	34.91	-0.66	2299.1	2165.3	8.046	1.81	1.16	13.8	1.0	10.5
179	66.00	2.00	989	03/03	34.91	-0.56	2300.0	2168.2	8.047	1.88	1.20	13.5	1.0	9.3
179	66.00	2.00	791	03/03	34.91	-0.40		2171.4				13.4	1.0	8.4
179	66.00	2.00	495	03/03	34.90	0.07	2304.6	2175.3	8.050	2.09	1.32	13.1	1.0	6.9
179	66.00	2.00	395	03/03	34.92	0.78	2303.1	2173.2	8.044	2.16	1.36	13.0	1.0	6.5
179	66.00	2.00	296	03/03	34.97	2.33	2305.4	2170.1	8.036	2.29	1.45	12.5	0.9	5.7
179	66.00	2.00	197	03/03	34.97	3.78	2306.7	2159.1	8.049	2.52	1.59	11.1	0.8	5.0
179	66.00	2.00	98	03/03	34.99	4.96	2309.5	2150.3	8.062	2.74	1.73	10.6	0.8	4.8
179	66.00	2.00	47	03/03	35.03	5.64	2313.0	2148.3	8.066	2.86	1.81	10.6	0.8	4.8
179	66.00	2.00	27	03/03	35.05	5.94	2313.4	2143.2	8.075	2.95	1.86	10.5	0.8	4.7
179	66.00	2.00	8	03/03	35.05	5.94	2313.7	2146.3	8.069	2.92	1.85	10.3	0.8	4.8
193	65.82	2.13	963	03/22	34.91	-0.53	2294.9	2166.6	8.038	1.85	1.18			
193	65.82	2.13	494	03/22	34.91	0.36	2295.3	2168.8	8.038	2.06	1.30			
193	65.82	2.13	296	03/22	34.97	3.05	2302.7	2162.4	8.038	2.36	1.49			
193	65.82	2.13	199	03/22	35.03	5.56	2305.4	2146.3	8.048	2.69	1.70			
193	65.82	2.13	99	03/22	35.06	5.87	2306.6	2142.2	8.060	2.82	1.79			
193	65.82	2.13	48	03/22	35.06	5.90	2307.2	2144.8	8.056	2.82	1.79			
193	65.82	2.13	28	03/22	35.06	5.88	2308.9	2144.3	8.062	2.87	1.81			
193	65.82	2.13	18	03/22	35.06	5.87	2307.4	2144.2	8.060	2.85	1.80			
193	65.82	2.13	8	03/22	35.05	5.88	2308.2	2138.6	8.076	2.95	1.86			
193	65.82	2.13	3	03/22	35.06	5.88	2307.8	2144.1	8.061	2.87	1.81			
147	66.00	2.00	989	05/09	34.91	-0.45	2300.4	2171.1	8.038	1.86	1.18	13.7	1.1	9.0
147	66.00	2.00	791	05/09	34.91	-0.24	2298.8	2172.1	8.036	1.92	1.22	13.5	1.0	8.1
147	66.00	2.00	495	05/09	34.95	1.93	2297.6	2172.0	8.009	2.07	1.31	12.8	1.0	6.1
147	66.00	2.00	396	05/09	34.97	3.91	2299.7	2159.0	8.021	2.32	1.47	11.9	0.9	5.8
147	66.00	2.00	297	05/09	35.16	6.77	2312.5	2146.7	8.039	2.73	1.73	10.8	0.8	4.5
147	66.00	2.00	198	05/09	35.18	7.27	2312.4	2151.5	8.023	2.73	1.73	11.2	0.8	4.5
147	66.00	2.00	148	05/09	35.19	7.45	2315.4	2146.5	8.041	2.87	1.82	11.0	0.8	4.4
147	66.00	2.00	100	05/09	35.20	7.63	2315.3	2143.4	8.047	2.94	1.87	10.6	0.8	4.4
147	66.00	2.00	74	05/09	35.21	7.83	2318.1	2142.8	8.052	3.01	1.91	9.3	0.7	3.9
147	66.00	2.00	50	05/09	35.20	7.85	2317.3	2140.1	8.058	3.05	1.94	7.7	0.7	2.9
147	66.00	2.00	31	05/09	35.20	7.86	2317.2	2127.0	8.088	3.25	2.06	7.4	0.6	2.9
147	66.00	2.00	10	05/09	35.19	8.04	2317.7	2121.7	8.099	3.35	2.12	7.0	0.8	2.8

Stn	Lat	Lon	Dyp	Dato	Salt	т	Ατ	Ст	рН⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO₃	PO ₄	SiOH ₄
							(µmol	(µmol	-					
	°N	°E	(m)	mm/dd		(C°)	 kg⁻¹)	 kg⁻¹)				(μM)	(μM)	(μM)
500	65.82	2.16	988	06/14	34.91	-0.40	2298.0	2172.7	8.026	1.81	1.15			
500	65.82	2.16	493	06/14	34.94	1.59	2301.8							
500	65.82	2.16	297	06/14	35.10	6.19	2310.3	2151.2	8.033	2.64	1.67			
500	65.82	2.16	197	06/14	35.17	7.09	2314.5	2150.0	8.034	2.78	1.76			
500	65.82	2.16	98	06/14	35.19	7.57	2317.6	2136.7	8.069	3.07	1.95			
500	65.82	2.16	47	06/14	35.19	8.07	2317.8	2130.9	8.077	3.19	2.03			
500	65.82	2.16	29	06/14	35.19	8.34	2318.4	2124.8	8.089	3.31	2.10			
500	65.82	2.16	19	06/14	35.15	8.75	2317.6	2112.9	8.108	3.48	2.21			
500	65.82	2.16	10	06/14	35.09	10.49	2317.4	2084.1	8.140	3.93	2.50			
500	65.82	2.16	2	06/14	35.07	10.67	2317.1	2085.9	8.134	3.91	2.49			
517	66.00	2.00	1992	08/02	34.91	-0.83	2301.8	2167.5	8.016	1.50	0.97	15.5	1.1	13.5
517	66.00	2.00	1972	08/02	34.91	-0.81	2310.2	2167.5	8.038	1.59	1.02	15.3	1.1	13.3
517	66.00	2.00	1481	08/02	34.91	-0.75	2299.2	2164.3	8.037	1.70	1.09	15.0	1.1	12.0
517	66.00	2.00	990	08/02	34.91	-0.54	2296.0	2166.9	8.039	1.85	1.18	14.5	1.1	9.6
517	66.00	2.00	792	08/02	34.91	-0.37	2295.9	2169.4	8.038	1.91	1.21	14.3		8.4
517	66.00	2.00	493	08/02	34.91	0.29	2297.7	2173.7	8.032	2.03	1.28	14.1	1.0	7.2
517	66.00	2.00	397	08/02	34.94	1.45	2298.5	2173.2	8.020	2.11	1.33	13.9	1.0	6.4
517	66.00	2.00	199	08/02	35.02	5.57	2305.1	2154.5	8.027	2.57	1.63	13.1	0.9	5.8
517	66.00	2.00	100	08/02	35.16	7.30	2313.6	2145.2	8.044	2.89	1.83	11.7	0.8	4.2
517	66.00	2.00	50	08/02	35.17	8.07	2314.0	2147.9	8.028	2.89	1.84	11.6	0.9	3.7
517	66.00	2.00	29	08/02	35.11	10.90	2316.8	2113.5	8.070	3.48	2.21	4.3	0.5	1.0
517	66.00	2.00	10	08/02	34.89	14.43	2318.0	2059.7	8.129	4.36	2.80	0.2	0.1	0.2
824	66.00	2.00	1526	11/13	34.91	-0.73	2296.2	2162.7	8.034	1.68	1.08	15.3	1.2	11.4
824	66.00	2.00	1218	11/13	34.91	-0.60	2299.1	2163.2	8.050	1.83	1.17	14.8	1.1	10.0
824	66.00	2.00	1013	11/13	34.91	-0.45	2298.9	2168.1	8.042	1.87	1.19	14.7	1.1	8.8
824	66.00	2.00	810	11/13	34.90	-0.25	2297.6	2172.1	8.032	1.90	1.21	14.5	1.1	8.0
824	66.00	2.00	508	11/13	34.94	1.24	2299.3	2167.8	8.036	2.13	1.35	14.3	1.1	6.5
824	66.00	2.00	405	11/13	34.97	3.60	2302.2	2163.7	8.020	2.29	1.45	13.7	1.0	6.2
824	66.00	2.00	306	11/13	35.10	6.26	2314.0	2152.8	8.036	2.66	1.69	13.2	0.9	5.3
824	66.00	2.00	201	11/13	35.20	7.69	2315.6	2154.9	8.015	2.73	1.73	13.2	0.9	5.1
824	66.00	2.00	102	11/13	35.25	8.51	2321.4	2149.0	8.033	2.96	1.88	13.0	0.9	4.8
824	66.00	2.00	50	11/13	35.04	8.84	2308.9	2119.3	8.074	3.24	2.06	7.1	0.6	2.3
824	66.00	2.00	29	11/13	35.04	8.84	2310.2	2119.6	8.076	3.27	2.07	7.2	0.6	2.3
824	66.00	2.00	11	11/13	35.04	8.83	2306.3	2118.7	8.071	3.23	2.05	6.7	0.6	2.3

Tabell 2c. Stasjon M, 2014 - fortsettelse. Continuation.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	A _T	CT (umol	рН⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO₃	PO ₄	SiOH ₄
	°N	°E	(m)		(°C)	(µmor kg⁻¹)	(µmoi kg ⁻¹)				(µM)	(μM)	(µM)
185	68.58	13.59	128	34.62	6.60		2147				8.1	0.60	3.7
185	68.58	13.59	74	34.27	5.80		2141				7.0	0.60	3.5
185	68.58	13.59	50	34.18	5.60	2299	2163	8.008	2.50	1.60	6.8	0.50	3.4
185	68.58	13.59	30	34.12	5.50	2296	2129	8.088	2.90	1.80	6.7	0.50	3.4
185	68.58	13.59	20	33.97	5.10	2287	2126	8.084	2.80	1.80	6.5	0.50	3.3
185	68.58	13.59	10	33.93	5.00	2292	2132	8.082	2.80	1.80	6.5	0.50	3.2
185	68.58	13.59	4	33.93	5.00	2285	2125	8.085	2.80	1.80	6.5	0.50	3.2
183	68.85	12.80	673	35.06	3.40	2309	2181	7.982	2.00	1.30	12.3	0.90	5.6
183	68.85	12.80	599	35.14	4.70		2183				11.5	0.90	4.8
183	68.85	12.80	500	35.15	5.40		2182				11.3	0.90	4.8
183	68.85	12.80	400	35.19	6.00	2315	2170	7.995	2.40	1.50	11.1	0.80	4.7
183	68.85	12.80	299	35.19	6.60	2324	2176	7.997	2.50	1.60	11.0	0.80	4.6
183	68.85	12.80	199	35.17	6.90	2315	2166	8.000	2.60	1.60	10.8	0.80	4.4
183	68.85	12.80	150	35.18	7.10	2326	2166	8.025	2.80	1.70	10.8	0.80	4.4
183	68.85	12.80	73	35.20	7.30	2322	2167	8.011	2.70	1.70	10.9	0.80	4.4
183	68.85	12.80	47	35.20	7.30	2319	2151	8.045	2.90	1.90	10.8	0.80	4.4
183	68.85	12.80	29	35.19	7.30	2320	2163	8.018	2.80	1.80	10.6	0.80	4.3
183	68.85	12.80	10	35.11	7.00	2315	2150	8.044	2.90	1.80	9.8	0.70	4.2
182	69.03	12.28	1485	34.91	-0.70		2170				13.9	1.00	9.8
182	69.03	12.28	1200	34.91	-0.50		2169				14.0	1.00	9.3
182	69.03	12.28	1000	34.90	-0.30	2296	2173	8.020	1.80	1.10	13.9	1.00	8.4
182	69.03	12.28	799	34.90	-0.10		2175				13.6	1.00	7.4
182	69.03	12.28	499	35.01	2.70	2305	2170	8.022	2.20	1.40	13.0	1.00	6.2
182	69.03	12.28	201	35.18	6.60	2319	2152	8.047	2.80	1.80	11.0	0.80	4.5
182	69.03	12.28	100	35.17	6.90	2321	2164	8.022	2.70	1.70	10.8	0.80	4.4
182	69.03	12.28	49	35.19	7.20	2324	2165	8.024	2.80	1.80	10.8	0.80	4.3
182	69.03	12.28	30	35.19	7.20	2319	2151	8.048	2.90	1.90	10.7	0.80	4.3
182	69.03	12.28	8	35.19	7.20		2145				10.5	0.80	4.3

Tabell 3. Gimsøy-NV, mars 2014. March 2014.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	Ατ	Cτ	pH⊤	Ω_{Ca}	$\Omega_{ m Ar}$	NO₃	PO ₄	SiOH₄
						(µmol	(µmol						
	°N	°E	(m)		(°C)	kg⁻¹)	kg⁻¹)				(µM)	(µM)	(µM)
277	70.67	19.97	150	35.04	6.00	2317	2153	8.054	2.80	1.80	10.2	0.80	4.6
277	70.67	19.97	100	34.95	6.10	2314	2150	8.055	2.80	1.80	8.7	0.70	4.1
277	70.67	19.97	75	34.90	6.10	2316	2145	8.073	2.90	1.90	8.0	0.70	3.9
277	70.67	19.97	50	34.80	6.10	2313	2134	8.097	3.10	1.90	5.9	0.60	3.4
277	70.67	19.97	30	34.73	6.20	2312	2122	8.121	3.20	2.10	4.5	0.50	3.0
277	70.67	19.97	20	34.73	6.20	2313	2123	8.121	3.30	2.10	4.4	0.50	3.0
277	70.67	19.97	10	34.70	6.30	2311	2120	8.122	3.30	2.10	4.0	0.50	2.7
282	71.50	19.78	228	35.11	5.80	2320	2159	8.045	2.70	1.70	10.4	0.80	4.6
282	71.50	19.78	150	35.08	6.10	2320	2151	8.062	2.90	1.80	9.9	0.80	4.4
282	71.50	19.78	100	35.04	6.40	2321	2154	8.056	2.90	1.80	10.3	0.80	4.5
282	71.50	19.78	75	34.96	6.20	2319	2147	8.072	2.90	1.90	7.8	0.70	4.0
282	71.50	19.78	50	34.95	6.20	2316	2138	8.089	3.10	1.90	7.3	0.60	3.8
282	71.50	19.78	30	34.90	6.20	2319	2132	8.112	3.20	2.00	6.6	0.60	3.7
282	71.50	19.78	20	34.86	6.20	2321	2131	8.121	3.30	2.10	5.4	0.50	3.6
282	71.50	19.78	10	34.85	6.20	2316	2126	8.121	3.30	2.10	5.3	0.50	3.5
287	72.75	19.52	380	35.07	2.90	2315	2169	8.050	2.40	1.50	10.5	0.90	5.2
287	72.77	19.52	300	35.11	3.80	2317	2159	8.067	2.60	1.60	10.6	0.80	4.7
287	72.78	19.52	200	35.14	4.80	2328	2159	8.082	2.80	1.80	10.3	0.80	4.7
287	72.80	19.52	150	35.13	5.10	2324	2157	8.073	2.80	1.80	10.3	0.80	4.7
287	72.82	19.52	100	35.13	5.30	2326	2137	8.124	3.20	2.00	7.8	0.70	3.1
287	72.83	19.52	75	35.13	5.30	2329	2139	8.126	3.20	2.00	7.8	0.70	2.8
287	72.85	19.52	50	35.11	5.40	2323	2133	8.127	3.20	2.00	6.9	0.70	1.9
287	72.87	19.52	30	35.11	5.50	2324	2134	8.127	3.20	2.00	6.7	0.60	2.4
287	72.88	19.52	20	35.11	5.50	2333	2136	8.141	3.30	2.10	6.3	0.60	2.0
287	72.90	19.52	10	35.11	5.60	2327	2127	8.148	3.40	2.10	6.0	0.60	2.0
293	74.00	19.36	125	34.79	0.50	2311	2138	8.170	2.90	1.80	3.9	0.50	1.8
293	74.00	19.36	100	34.79	0.40	2311	2141	8.166	2.90	1.80	3.8	0.50	1.7
293	74.00	19.36	75	34.78	0.40	2307	2137	8.169	2.90	1.80	3.7	0.50	1.0
293	74.00	19.36	50	34.76	0.20	2309	2132	8.189	3.00	1.90	3.4	0.50	1.1
293	74.00	19.36	30	34.76	0.10	2307	2130	8.192	3.00	1.90	3.3		0.8
293	74.00	19.36	20	34.74	0.00	2308	2130	8.197	3.00	1.90	2.7	0.50	1.0
293	74.00	19.36	10	34.74	0.30	2311	2114	8.235	3.30	2.10	1.9	0.40	1.0
294	74.17	19.18	60	34.67	-0.50	2302	2170	8.088	2.40	1.50	3.4	0.50	2.0
294	74.17	19.18	50	34.67	-0.50	2294	2136	8.158	2.70	1.70	3.4	0.50	1.8
294	74.17	19.18	30	34.67	-0.50	2295	2136	8.163	2.80	1.70	3.4	0.50	2.0
294	74.17	19.18	20	34.67	-0.50	2302	2129	8.196	3.00	1.90	3.4	0.40	1.9
294	74.17	19.18	10	34.67	-0.50	2302	2128	8.198	3.00	1.90	3.4	0.50	1.9

Tabell 4. Fugløya-Bjørnøya, mai 2014. May 2014.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	Ατ	Ст	pH⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO₃	PO ₄	SiOH ₄
						(µmol	(µmol						
	°N	°E	(m)		(°C)	kg⁻¹)	kg⁻¹)				(μM)	(μΜ)	(µM)
375	77.00	34.00	145	34.93	0.80	2325	2191	8.063	2.40	1.50	11.2	1.00	4.5
375	77.00	34.00	125	34.94	0.80	2328	2191	8.069	2.40	1.50	11.3	0.90	4.5
375	77.00	34.00	100	34.94	0.90	2323	2185	8.073	2.40	1.50	10.8	0.90	4.0
375	77.00	34.00	75	34.91	0.70		2162				9.2	0.80	3.2
375	77.00	34.00	50	34.83	0.10	2316	2095	8.287	3.60	2.30	6.7	0.70	1.5
375	77.00	34.00	30	34.37	2.80	2287	2079	8.224	3.50	2.20	0.1	0.10	0.2
375	77.00	34.00	20	34.26	2.70	2273	2077	8.203	3.30	2.10	0.1	0.10	0.2
375	77.00	34.00	10	34.15	2.40	2271	2190	7.902	1.80	1.10	0.2	0.10	0.2
375	77.00	34.00	5	34.15	2.40	2279	2084	8.207	3.30	2.10	0.1	0.10	0.2
385	78.00	34.00	180	34.92	0.20	2311	2197	8.015	2.10	1.30	13.1	1.00	6.5
385	78.00	34.00	149	34.92	0.30	2311	2187	8.044	2.20	1.40	12.8	1.00	5.4
385	78.00	34.00	124	34.88	-0.10	2309	2191	8.035	2.10	1.30	11.7	0.90	4.4
385	78.00	34.00	99	34.81	-0.50	2305	2185	8.051	2.20	1.40	9.6	0.80	2.5
385	78.00	34.00	74	34.75	-0.80	2302	2180	8.066	2.20	1.40	8.9	0.80	1.2
385	78.00	34.00	50	34.67	-0.20	2299	2117	8.209	3.10	1.90	2.5	0.40	0.4
385	78.00	34.00	29	34.14	0.90	2259	2071	8.218	3.10	2.00	0.2	0.20	0.1
385	78.00	34.00	21	33.18	1.50	2173	2006	8.182	2.90	1.80	0.0		0.2
385	78.00	34.00	9	32.50	0.40	2155	1997	8.187	2.70	1.70	0.0	0.10	0.1
385	78.00	34.00	4	32.44	0.40	2153	1993	8.197	2.80	1.70	0.0	0.10	0.2
687	76.00	31.22	5	35.01	5.10	2312	2108	8.168	3.50	2.20	1.9	0.30	1.0
687	76.00	31.22	10	35.01	5.10	2313	2113	8.159	3.40	2.10	2.1	0.30	0.9
687	76.00	31.22	20	35.01	5.10	2310	2107	8.164	3.40	2.20	2.0	0.30	0.9
687	76.00	31.22	30	35.01	5.10	2314	2114	8.157	3.40	2.10	2.4	0.30	1.1
687	76.00	31.22	50	35.10	4.30	2321	2162	8.072	2.80	1.80			
687	76.00	31.22	100	35.10	3.70	2323	2154	8.103	2.90	1.80	11.3	0.80	4.5
687	76.00	31.22	150	35.07	2.90	2324	2163	8.095	2.70	1.70	10.9	0.80	3.9
687	76.00	31.22	200	35.06	2.20	2328	2159	8.124	2.80	1.80	10.8	0.80	2.9
687	76.00	31.22	250	35.06	1.80	2323	2175	8.075	2.50	1.60	11.6	0.90	4.6
687	76.00	31.22	310	35.05	0.60	2327	2201	8.034	2.20	1.40	12.2	1.00	8.1
689	75.50	31.21	5	35.07	5.70	2315	2106	8.167	3.50	2.20	3.2	0.30	1.3
689	75.50	31.21	10	35.07	5.70	2315	2113	8.152	3.40	2.20	3.4	0.30	1.2
689	75.50	31.21	20	35.07	5.70	2315	2112	8.153	3.40	2.20	3.5	0.30	1.3
689	75.50	31.21	30	35.07	5.70	2313	2113	8.148	3.40	2.10	3.6	0.40	1.3
689	75.50	31.21	50	35.07	5.50	2314	2121	8.133	3.30	2.10			
689	75.50	31.21	100	35.10	4.10	2324	2153	8.102	2.90	1.80	11.0	0.80	4.0
689	75.50	31.21	150	35.09	3.60	2319	2161	8.076	2.70	1.70	11.1	0.80	4.3
689	75.50	31.21	200	35.08	3.00	2319	2166	8.072	2.60	1.60	11.0	0.80	4.1
689	75.50	31.21	345	35.04	0.50	2320	2200	8.022	2.10	1.30	12.1	1.00	7.0
690	75.00	31.23	5	35.08	6.00	2317	2122	8.132	3.30	2.10	4.8	0.40	1.9
690	75.00	31.23	10	35.08	6.00	2318	2124	8.130	3.30	2.10	5.1	0.40	1.9
690	75.00	31.23	20	35.08	6.00	2316	2123	8.127	3.30	2.10	5.2	0.40	1.9
690	75.00	31.23	30	35.08	6.00	2318	2120	8.136	3.40	2.10	5.2	0.40	1.9
690	75.00	31.23	50	35.08	6.00	2316	2123	8.125	3.30	2.10	5.2	0.40	1.9
690	75.00	31.23	100	35.09	4.20	2327	2150	8.114	3.00	1.90	7.3	0.60	2.2
690	75.00	31.23	150	35.09	3.50	2324	2164	8.081	2.70	1.70	10.6	0.80	4.1
690	75.00	31.23	200	35.09	3.20	2326	2171	8.071	2.60	1.60	11.3	0.90	4.7
690	75.00	31.23	345	35.05	0.70	2324	2195	8.044	2.20	1.40	12.1	1.00	7.0

Tabell 5. Nordøstlige Barentshavet, september 2014. September 2014.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Salt	т	Ατ	C τ	pH⊤	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	NO ₃	PO ₄	SiOH ₄
						(µmol	(µmol						
	°N	°E	(m)		(°C)	kg⁻¹)	kg⁻¹)				(μM)	(μM)	(µM)
691	74.50	31.22	10	35.07	6.00	2316	2119	8.138	3.40	2.10	3.6	0.40	1.4
691	74.50	31.22	20	35.07	6.00	2303	2115	8.117	3.20	2.00	3.6	0.40	1.4
691	74.50	31.22	30	35.07	6.00	2307	2118	8.120	3.20	2.00	3.7	0.40	1.4
691	74.50	31.22	50	35.06	6.00	2318	2118	8.140	3.40	2.10	3.9	0.40	1.4
691	74.50	31.22	100	35.11	4.30	2320	2159	8.074	2.80	1.70	11.1	0.80	4.0
691	74.50	31.22	125	35.11	4.00	2319	2159	8.075	2.70	1.70	11.0	0.80	4.1
691	74.50	31.22	150	35.11	3.80	2323	2161	8.083	2.70	1.70	11.6	0.90	4.7
691	74.50	31.22	200	35.08	3.20	2324	2163	8.090	2.70	1.70	11.6	0.90	4.9
691	74.50	31.22	254	35.06	1.30	2318	2180	8.060	2.30	1.50	11.7	0.90	6.0
693	74.00	31.22	5	35.06	5.90	2310	2120	8.123	3.20	2.10	3.7	0.40	1.5
693	74.00	31.22	10	35.06	5.90	2306	2116	8.122	3.20	2.00	4.0	0.40	1.5
693	74.00	31.22	20	35.06	5.90	2305	2116	8.120	3.20	2.00	4.1	0.40	1.5
693	74.00	31.22	30	35.06	5.90	2318	2113	8.156	3.50	2.20	4.0	0.40	1.5
693	74.00	31.22	50	35.06	5.90	2310	2116	8.129	3.30	2.10	4.2	0.40	1.5
693	74.00	31.22	100	35.11	4.70	2318	2156	8.070	2.80	1.80	11.7	0.80	4.2
693	74.00	31.22	125	35.11	4.40	2318	2159	8.067	2.70	1.70	11.5	0.80	4.2
693	74.00	31.22	150	35.10	4.20	2326	2161	8.084	2.80	1.80	11.6	0.90	4.5
693	74.00	31.22	200	35.08	3.40	2319	2164	8.071	2.60	1.60	12.0	0.90	5.7
693	74.00	31.22	264	35.04	0.20	2323	2198	8.040	2.20	1.40	12.2	1.00	6.4

Tabell 5. Nordøstlige Barentshavet, september 2014 - fortsettelse. September 2014 - continuation.

Dato	Lat	Lon	Salt	Temp	AT	ст	рН⊤	рН _{NBS}	pCO ₂	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	PO ₄	NO₃	SiOH ₄
	°N	°E		(°C)	(µmol kg⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)	in situ	in situ	µatm			(μM)	(μM)	(µM)
17.1	69.71	19.05	33.36	3.53	2246.3	2125.9	8.048	8.139	384.9	2.27	1.42	0.60	6.22	4.48
17.1	70.22	19.47	33.85	5.27	2277.0	2116.2	8.073	8.158	364.2	2.84	1.79	0.54	6.28	2.67
18.1	71.02	18.74	34.20	5.51	2303.4	2133.6	8.082	8.167	359.3	2.98	1.88	0.60	6.98	2.96
18.1	71.63	18.17	35.02	6.27	2319.5	2166.4	8.066	8.149	378.7	2.74	1.73	0.82	9.35	4.13
18.1	72.22	17.59	35.09	6.28	2328.3	2163.9	8.063	8.148	381.5	2.90	1.83	0.88	9.77	4.24
18.1	72.81	17.05	35.08	6.80	2337.6	2180.2	8.054	8.143	394.3	2.81	1.78	0.85	9.77	4.16
18.1	73.30	16.56	35.12	5.78	2331.6	2166.3	8.070	8.150	374.8	2.90	1.84	0.88	10.0	4.40
18.1	74.52	15.24	35.16	5.97	2332.5	2171.9	8.062	8.136	383.4	2.84	1.79	1.10	10.3	4.50
19.1	75.29	14.64	35.17	5.52	2314.6	2177.6	8.070	8.142	375.5	2.50	1.58	0.85	9.07	4.26
19.1	/5.8/	13.66	35.13	5.93	2329.4	21/6.9	8.066	8.147	379.8	2.73	1.72	0.85	8.93	4.21
19.1	76.36	13.06	35.16	4.94	2328.6	2189.0	8.071	8.149	3/5.5	2.54	1.60	0.85	8.93	4.44
19.1	/0.95 77 0	12.59	35.10	5.58	2342.7	2180.9	8.067	8.140	3/9.2	2.80	1.81	0.85	9.77	4.20
19.1	77.8	12.35	34.80 25 1 2	2 42	2313.0	2100.0	0.003	0.100	354.7	2.31	1.45	0.85	9.77	4.10
20.1	70.09	15.01	2/ 92	5.4Z	2320.3	2105.4	0.004 0.111	0.151 0.170	220 5	2.00	1.04	0.00	10.0	4.59
20.1	70.25	15.41	25 12	2.94	2317.5	21/0.2	0.111	8 204	226.1	2.50	1.57	0.85	10.5	4.5Z 2.02
27.5	78.08	13.57	35.13	3.76	2303.4	2150.5	8 086	8 176	356.1	2.30	1.05	0.85	10.4	3.52 4 11
27.5	77 47	13.30	35.17	3.68	2200.0	2168.7	8 094	8 180	349 1	2.57	1.45	0.85	10.4	3 93
27.5	76.87	13.57	35.07	3.63	2309.9	2163.9	8.151	8.232	303.8	2.61	1.65	0.69	7.05	2.32
28.5	76.33	14.15	35.13	5.65	2307.0	2167.9	8.072	8.172	372.1	2.53	1.60	0.85	9.70	3.74
28.5	75.87	14.67	35.14	5.80	2320.5	2168.7	8.082	8.165	363.8	2.71	1.71	0.88	9.63	3.69
28.5	75.29	15.24	35.14	5.65	2306.7	2167.9	8.082	8.170	363.9	2.52	1.60	0.88	9.97	3.88
28.5	74.52	15.94	35.13	5.99	2308.2	2170.3	8.081	8.166	365.9	2.51	1.59	0.91	9.70	3.77
28.5	73.30	16.98	35.14	6.04	2319.7	2166.3	8.091	8.175	356.1	2.74	1.73	0.79	9.35	3.74
28.5	72.81	17.48	35.13	6.39	2311.7	2164.6	8.110	8.198	340.4	2.65	1.68	0.73	7.46	1.80
29.5	72.18	17.94	35.00	6.76	2311.6	2159.2	8.104	8.186	345.6	2.73	1.73	0.66	6.91	3.02
29.5	71.53	18.45	34.75	6.89	2304.7	2142.5	8.135	8.215	318.5	2.87	1.82	0.50	3.84	2.28
29.5	70.97	18.91	34.58	7.63	2304.6	2137.0	8.126	8.208	325.9	2.95	1.87	0.79	3.42	1.69
29.5	70.28	19.42	34.22	6.31	2293.5	2124.6	8.114	8.214	331.8	2.97	1.87	0.50	2.86	1.71
29.5	69.71	19.050	34.00	6.73	2210.9	2062.2	8.123	8.230	316.3	2.64	1.67	0.44	1.88	3.12
21.8	78.25	15.498	31.68	7.49	2125.5	1942.6	8.198	8.268	252.0	3.16	1.99	0.22	0.28	4.92
22.8	77.47	13.367	34.57	6.99	2277.8	2070.3	8.192	8.292	268.0	3.51	2.22	0.22	0.14	1.33
22.8	76.92	13.953	34.61	5.63	2277.6	2095.5	8.174	8.280	281.4	3.13	1.98	0.25	0.98	1.89
22.8	76.36	14.488	35.07	7.81	2316.9	2117.5	8.125	8.253	324.0	3.41	2.16	0.41	3.35	2.44
22.8	75.87	15.058	35.06	6.95	2322.6	2120.0	8.135	8.228	314.8	3.45	2.18	0.44	3.28	2.55
22.8	75.29	15.713	35.12	6.82	2307.6	2116.6	8.134	8.198	314.9	3.27	2.07	0.44	3.49	2.11
22.8	74.55	16.420	35.02	7.97	2315.8	2120.1	8.125	8.190	324.6	3.30	2.13	0.41	3.28	2.28
23.8	73.30	17.413	34.64	9.23	2298.8	2093.0	8.131	8.203	318.1	3.52	2.24	0.22	0.77	1.15
23.8	72.80	18.025	34.74	9.30	2303.0	2101.0	0.122	0.201	320.7	3.48	2.21	0.25	0.03	1.51
23.0	71 52	10.903	34.04	10.24	2299.4	2090.2	8 105	8 200	323.0	3.49	2.21	0.22	0.77	1.30
23.8	70.97	20 330	34.22	10.24	2207.5	2002.2	8 120	8 203	326.9	3.54	2.25	0.10	0.14	1.22
23.0	70.27	20.330	37.88	10.75	2197 3	1995 5	8 127	8 228	310.3	3.00	2.33	0.16	0.14	1 77
24.8	69.72	19.066	32.77	9.00	2198.3	2008.7	8.143	8.268	298.9	3.28	2.08	0.22	0.14	1.07
14.11	69.71	19.049	33.35	5.50	2240.4	2104.0	8.051	8.158	382.3	2.50	1.57	0.60	6.36	3.89
14.11	70.27	19.425	34.02	7.30	2272.2	2103.7	8.067	8.184	370.8	2.96	1.87	0.47	4.75	2.15
15.11	70.97	17.510	34.68	7.07	2298.0	2121.4	8.081	8.180	360.6	3.07	1.94	0.57	6.35	2.31
15.11	71.52	16.253	34.31	7.25	2290.1	2108.1	8.081	8.184	358.6	3.16	2.00	0.50	5.37	2.21
15.11	72.17	15.673	34.73	7.31	2305.5	2119.7	8.079	8.181	361.8	3.21	2.03	0.60	6.77	2.44
15.11	72.80	15.348	34.79	7.08	2306.6	2131.8	8.077	8.179	365.3	3.05	1.93	0.60	7.05	2.52
15.11	73.30	15.141	34.87	6.55	2312.2	2120.3	8.085	8.190	355.2	3.29	2.08	0.60	7.19	2.47
15.11	74.52	14.848	35.10	6.30	2319.9	2149.2	8.080	8.188	363.3	2.98	1.88	0.76	9.00	3.09
16.11	75.45	14.486	35.10	5.95	2314.9	2147.6	8.082	8.190	361.3	2.93	1.85	0.73	8.86	2.99
16.11	75.88	14.273	35.12	5.63	2318.5	2145.1	8.089	8.200	353.4	3.01	1.90	0.73	8.93	2.99
16.11	76.35	13.950	35.11	5.39	2316.5	2151.7	8.085	8.192	357.5	2.89	1.82	0.73	9.07	3.09
16.11	76.92	13.627	34.54	1.58	2278.1	2149.3	8.107	8.216	332.1	2.36	1.48	0.60	6.14	3.07
16.11	77.47	13.398	34.47	1.29	2267.2	2135.6	8.112	8.221	325.1	2.39	1.50	0.57	5.51	2.88
16.11	78.07	13.075	34.83	1.95	2302.4	2140.7	8.114	8.224	325.7	2.82	1.77	0.63	7.12	3.14
16.11	78.26	15.495	34.84	0.70	2289.6	2147.2	8.136	8.247	306.9	2.54	1.60			3.25

Tabell 6. Tromsø-Longyearbyen, overflate i Barentshavsåpning 2014. Surface 2014.

Tabell 7. Oslo-Kiel, overflatevann i Skagerrak 2014. Surface 2014.

Dato	Lat	Lon	Salt	Temp (°C)	AT	Cτ	pH⊤	рН _{NBS}	pCO₂	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	PO ₄	NO₃	SiOH ₄
	°N	°E		. ,	(µmol kg⁻¹)	(µmol kg⁻¹)	in situ	in situ	µatm			(µmol kg⁻¹)	(µmol kg⁻¹)	(µmol kg⁻¹)
18.1	59.7849	10.5652	25.833	2.264	1933.01	1802.12				2.38	1.46	0.67	16.86	19.48
18.1	59.1854	10.6325	28.159	4.212	2095.20	1931.55				2.92	1.81	0.57	9.33	14.98
18.1	59.0358	10.6339	30.639	5.009	2252.65	2133.78				2.31	1.45	0.60	7.63	9.88
18.1	58.8463	10.6259	32.167	5.837	2295.52	2172.15				2.38	1.49	0.63	6.85	9.38
18.1	58.6491	10.6065	32.883	6.062	2304.38	2150.62				2.79	1.76	0.66	6.08	8.68
18.1	58.4492	10.6151	33.97	5.95	2295.97	2153.78				2.60	1.64	0.57	5.52	5.84
18.1	58.252	10.7781	30.791	5.046	2277.09	2151.51				2.42	1.51	0.70	6.86	11.50
18.1	58.0494	10.9577	29.251	4.354	2230.74	2123.72				2.16	1.34	0.60	6.38	9.88
18.1	57.8502	11.1221	28.383	4.695	2203.22	2083.37				2.35	1.46	0.57	5.54	8.07
19.1	54.5193	10.4116	20.205	5.126	2047.46	1920.76				2.58	1.54	0.86	4.30	19.56
14.5	59.8208	10.5844	24.371	9.926	1878.30	1661.32	8.16	8.30	262.02	3.86	2.37	0.13	6.19	1.49
14.5	59.0039	10.6856	21.11	10.849	1723.48	1506.63	8.22	8.38	218.82	3.94	2.38	0.10	1.76	4.76
14.5	58.8497	10.7304	21.685	10.383	1863.41	1650.66	8.19	8.34	254.75	3.94	2.39	0.10	1.20	3.73
14.5	58.6529	10.788	23.022	11.103	2063.48	1878.97	8.30	8.29	206.87	3.54	2.16	0.13	0.14	1.53
14.5	58.45	10.852	22.587	11.788	2035.07	1842.61	8.14	8.30	311.65	3.68	2.25	0.13	0.00	2.28
14.5	58.2351	10.9555	26.791	12.071	2155.40	1949.07	8.13	8.27	322.63	3.80	2.37	0.13	0.49	1.31
14.5	58.0496	11.0497	33.364	11.023	2297.20	2067.54	8.14	8.26	316.20	3.95	2.51	0.16	0.14	0.46
14.5	57.8529	11.1447	26.67	11.823	2137.81	1945.96	8.16	8.30	296.42	3.55	2.21	0.13	0.14	1.90
15.5	54.4992	10.3404	13.395	11.878	1882.68	1740.28	8.05	8.24	421.63	3.20	1.85	0.16		4.08
26.8	59.8214	10.5707	24.245	19.628	1845.79	1613.89	8.20	8.36	238.15	4.24	2.66	0.13	0.14	1.15
26.8	59.2009	10.6247	23.128	18.559	1840.52	1654.64								
26.8	59.0032	10.6816	22.821	18.736	1849.91	1679.66	8.09	8.25	323.78	3.27	2.03	0.10	0.77	4.99
26.8	58.7987	10.7298	28.888	17.44	2184.63	1973.84	8.09	8.23	353.75	3.87	2.46	0.13	0.14	1.22
26.8	58.6546	10.7636	28.198	17.258	2164.45	1960.94	8.10	8.24	344.08	3.77	2.39	0.10	0.14	0.59
26.8	58.4532	10.8394	28.034	16.809	2210.86	1984.91	8.11	8.24	344.33	4.17	2.64	0.10	0.14	0.41
26.8	58.2422	10.9537	31.662	16.657	2237.43	2014.67	8.10	8.22	349.25	3.95	2.53	0.09	0.14	0.72
26.8	58.0525	11.0385	26.924	16.828	2154.41	1948.05	8.12	8.25	330.26	3.86	2.43	0.10	0.14	0.65
26.8	57.8495	11.162	31.957	16.785	2271.20	2046.04	8.10	8.22	352.28	4.00	2.56	0.13	0.14	1.69
27.8	54.5012	10.3511	16.578	17.143	1955.75	1821.15								
8.12	59.8203	10.5826	22.498	5.399	1654.47	1604.48	7.97	8.08	379.46	1.20	0.73	0.41	12.32	19.03
8.12	59.2019	10.6314	25.071	6.233	1928.20	1836.76	8.05	8.15	350.76	1.87	1.15	0.48	4.50	6.55
8.12	58.9999	10.6383	26.558	7.22	2081.37	1972.34	8.06	8.16	368.38	2.18	1.35	0.51	9.62	5.33
8.12	58.8183	10.6358	27.167	7.576	2151.46	2022.21	8.06	8.16	377.09	2.51	1.56	0.48	3.58	4.37
8.12	58.6539	10.6419	26.688	7.414	2141.32	2018.01	8.07	8.16	372.17	2.43	1.50	0.51	7.51	4.20
8.12	58.4524	10.7175	26.078	7.752	2142.88	2018.10	8.06	8.16	386.70	2.47	1.52	0.51	3.58	5.20
8.12	58.25	10.8453	24.307	7.16	2090.86	1973.99	8.06	8.16	382.40	2.36	1.44	0.51	3.02	5.19
8.12	58.0515	11.0014	25.507	7.402	2131.69	2010.76	8.06	8.16	381.10	2.42	1.49	0.51	7.52	5.35
8.12	57.8481	11.1649	24.576	7.104	2103.53	1988.36	8.06	8.16	384.46	2.33	1.43	0.51	3.23	5.83
9.12	54.5007	10.3584	17.793	7.424	1982.28	1908.54	7.94	8.07	528.11	1.79	1.06	0.99	4.66	17.95

Dato	Lat	Lon	Salt	Tomp	AT	C τ	pH⊤	рН _{NSB}	pCO ₂			PO ₄	NO ₃	SiOH₄
	°N	°E		Salt	(°C)	(µmol kg⁻¹)	(µmol kg⁻¹)	in situ	in situ	µatm	Ω_{Ca}	Ω_{Ar}	(µmol kg⁻¹)	(µmol kg⁻¹)
23.2	69.852	30.118	33.92	2.23	2224.2	2026.5	8.091	8.163	338.3	3.30	2.07	0.69	7.47	8.49
23.2	70.451	30.988	33.99	4.04	2281.9	2115.2	8.090	8.173	350.8	2.91	1.83	0.69	7.40	3.33
23.2	70.936	28.951	34.06	4.32	2285.2	2111.8	8.085		356.0	3.01	1.90	0.63	6.49	3.61
24.2	70.982	25.955	33.69	4.83	2286.8	2105.0	8.078	8.146	364.6	3.15	1.98	0.60	6.35	3.51
24.2	70.834	23.901	33.75	4.74	2289.1	2110.6	8.076	8.160	366.2	3.10	1.95	0.60	6.07	3.42
24.2	70.313	22.299	33.62	5.40	2270.7	2103.5	8.059	8.149	380.6	2.94	1.85	0.57	6.21	3.32
24.2	70.366	21.588	33.56	4.76	2265.8	2099.5	8.056	8.141	382.3	2.92	1.84	0.57	5.87	3.35
24.2	69.770	19.160	33.21	3.45	2266.4	2118.8	8.038	8.114	398.9	2.65	1.66	0.60	6.43	3.91
25.2	68.908	16.932	33.32	4.62	2257.2	2086.1	8.081	8.153	356.9	2.98	1.88	0.54	4.96	3.09
25.2	68.973	16.031	33.32	4.10	2262.5	2093.4	8.080	8.157	358.3	2.96	1.86	0.51	5.17	2.96
25.2	68.110	13.954	32.57	4.98	2242.0	2077.4	8.063	8.147	374.2	2.91	1.83	0.47	4.54	2.75
26.2	66.761	13.226	33.21	5.81	2274.5	2122.1	8.041	8.107	401.6	2.74	1.73	0.63	6.71	4.46
26.2	66.531	12.963	33.16	5.70	2253.4	2093.6	8.038	8.111	400.5	2.83	1.78	0.63	6.92	4.69
26.2	66.144	12.861	33.33	6.51	2278.6	2128.4	8.015	8.098	430.9	2.72	1.71	0.69	7.40	4.87
26.2	65.629	12.238	33.61	6.13	2273.5	2137.7	8.031	8.111	410.6	2.50	1.58	0.66	7.05	4.85
26.2	64.557	10.540	33.59	6.47	2284.7	2137.0	8.045	8.127	398.5	2.68	1.69	0.57	7.19	4.10
27.2	63.475	10.243	32.54	6.78	2247.5	2093.0	8.012	8.093	430.3	2.78	1.75	0.73	8.60	6.29
27.2	63.493	9.057	33.55	5.98	2290.6	2124.8	8.052	8.123	392.3	2.94	1.85	0.57	6.63	4.25
27.2	63.078	7.446	33.31	6.61	2296.2	2126.0	8.040	8.111	407.0	3.02	1.90	0.57	5.17	3.97
28.2	62.441	5.974	32.98	6.76	2268.6	2118.4	8.028	8.103	415.7	2.72	1.72	0.60	5.38	4.51
28.2	61.816	5.160	31.69	6.85	2202.3	2022.5	8.030	8.127	405.6	3.15	1.98	0.54	5.45	4.55
28.2	61.386	4.822	32.76	6.50	2295.7	2147.3	8.031	8.113	418.1	2.72	1.71	0.60	6.08	5.37

Tabell 8. Bergen-Kirkenes, overflaten, februar 2014. Surface February 2014.

Miljødirektoratet

Telefon: 03400/73 58 05 00 | Faks: 73 58 05 01 E-post: post@miljodir.no Nett: www.miljødirektoratet.no Post: Postboks 5672 Sluppen, 7485 Trondheim Besøksadresse Trondheim: Brattørkaia 15, 7010 Trondheim Besøksadresse Oslo: Grensesvingen 7, 0661 Oslo

Miljødirektoratet jobber for et rent og rikt miljø. Våre hovedoppgaver er å redusere klimagassutslipp, forvalte norsk natur og hindre forurensning.

Vi er et statlig forvaltningsorgan underlagt Klimaog miljødepartementet og har mer enn 700 ansatte ved våre to kontorer i Trondheim og Oslo, og ved Statens naturoppsyn (SNO) sine mer enn 60 lokalkontor.

Vi gjennomfører og gir råd om utvikling av klimaog miljøpolitikken. Vi er faglig uavhengig. Det innebærer at vi opptrer selvstendig i enkeltsaker vi avgjør, når vi formidler kunnskap eller gir råd. Samtidig er vi underlagt politisk styring. Våre viktigste funksjoner er at vi skaffer og formidler miljøinformasjon, utøver og iverksetter forvaltningsmyndighet, styrer og veileder regionalt og kommunalt nivå, gir faglige råd og deltar i internasjonalt miljøarbeid.