

MILJØOVERVÅKNING

M-776 | 2017

Overvåking av havforsuring i norske farvann i 2016



KOLOFON

Utførende institusjon

Havforskningsinstituttet, Uni Research, Norsk institutt for vannforskning

Oppdragstakers prosjektansvarlig

Melissa Chierici

Kontaktperson i miljødirektoratet

Gunnar Skotte

M-nummer

M-776|2017

År

2017

Sidetall

102

Miljødirektoratets kontraktnummer

17078007

Utgiver

Miljødirektoratet

Prosjektet er finansiert av

Miljødirektoratet

Forfatter(e)

Chierici, M., I. Skjelvan, M. Norli, E. Jones, K.Y. Børsheim, S.K. Lauvset, H.H. Lødemel, K. Sørensen, A.L. King, T. Johannessen

Tittel - norsk og engelsk

Havforsuringsovervåking i norske farvann i 2016 /Monitoring ocean acidification in Norwegian seas in 2016

Sammendrag - Summary

Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring i 2016 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. IMR har gjort vannsøylemålinger, i hovedsak vinterstid, langs faste snitt i Nordsjøen, Norskehavet og i Barentshavet I tillegg til månedlige målinger i vannsøylen ved en kyststasjon i Lofoten. UNI har gjort vannsøylemålinger på Stasjon M i Norskehavet og kontinuerlige overflatemålinger på Stasjon M og på F/F G.O. Sars. NIVA har gjort overflatemålinger på strekningen Oslo-Kiel og Tromsø-Longyearbyen. I denne rapporten presenteres og diskuteres tidsserier fra perioden 2011-2016 for Norskehavet og Barentshavet.

This is the annual report from 2016 based on the program: "Monitoring ocean acidification in Norwegian waters" funded by the Norwegian Environment Agency. 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/North Sea in the south, through the Norwegian Sea, and the seasonally sea-ice covered northern part of the Barents Sea. IMR conducted water column measurements along repeated transects, mainly during winter in the North Sea, in the Norwegian Sea and in the Barents Sea, and at Skrova coastal station. UNI conducted water column measurements at Station M, continuous surface measurements at Station M and onboard the R/V G. O. Sars. NIVA performed surface water measurements on two sections in Skagerrak and the Barents Sea opening during all of 2016. This report also shows and discusses some time series and trends for the period 2011-2016, in the Norwegian and Barents seas.

4 emneord

Karbonmålinger, mellomårlig-og sesongs-variasjon, biogeokjemiske prosesser

4 subject words

Carbonate system, interannual and seasonal variability, biogeochemical processes

Forsidefoto

Agneta Fransson

Tromsø, mai 2017

Forfattere:

Melissa Chierici*, Ingunn Skjelvan**, Marit Norli***, Elizabeth Jones*, Knut Yngve Børsheim*, Siv Kari Lauvset**, Helene Hodal Lødemel*, Kai Sørensen***, Andrew Luke King***, og Truls Johannessen**

*Havforskningsinstituttet (IMR)

**Uni Research (UNI)

*** Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

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

Chierici, M., I. Skjelvan, M. Norli, E. Jones., K.Y. Børsheim, S. K. Lauvset, H.H. Lødemel, K. Sørensen, A.L. King, og T. Johannessen. 2017. Overvåking av havforsuring i norske farvann i 2016, Rapport, Miljødirektoratet, M-776|2017.

Innhold

Innhold	3
Sammendrag	5
Extended English Summary	7
1. Innledning	13
2. Metodikk og data	15
2.1 Prøvetaking og måleparametere	18
2.2 Måling av total alkalinitet og totalt uorganisk karbon	19
2.3 pH- og pCO ₂ -målinger	19
2.3.1 pH-målinger	19
2.3.2 pCO ₂ -målinger	20
2.4 Beregning av pH, pCO ₂ og metningsgraden av kalsitt og aragonitt	20
3. Resultater	21
3.1 Vannsøyledata fra Torungen-Hirtshals	21
3.2 Vannsøyledata fra Svinøy-NV	26
3.2.1 Mellomårlig variasjon på Svinøy-NV	30
3.3 Vannsøylen på Stasjon M	32
3.3.1 Vannprøvemålinger	32
3.3.2 Tidsserier i overflate og dypvann	36
3.3.3 Kontinuerlige målinger	38
3.4 Vannsøylen på Gimsøy-NV	43
3.5 Vannsøylen på Fugløya-Bjørnøya	47
3.6 Vannsøylen i nordøstlige Barentshavet	52
3.7 Vannsøylen ved kyststasjon Skrova: sesongvariasjon	56
3.8 Overflatedata	60
3.8.1 Barentshavsåpningen, Tromsø-Longyearbyen	60
3.8.2 Oslo-Kiel	66
3.9 Underveis pCO ₂ -data i de nordiske hav	71
4. Oppsummering og anbefalinger	74
4.1 Nordsjøen	75
4.2 Norskehavet	76
4.3 Barentshavet	76
5 Anbefalinger	77
6. Referanser	79
7. Vedlegg A. Datatabeller	83

8. Vedlegg B. Data fra F/F G.O. Sars	100
9. Vedlegg C: Definisjoner	101

Sammendrag

Denne rapporten gjelder undersøkelser av havforsuring som er utført i 2016 av Havforskningsinstituttet (IMR), Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Uni Research (UNI) på oppdrag fra Miljødirektoratet innenfor programmet "Havforsuringsovervåking i norske farvann". Rapporten er basert på vannsøylemålinger og overflatemålinger av total alkalinitet (A_T) og totalt uorganisk karbon (C_T) i tillegg til kontinuerlige målinger av pH og pCO_2 . Vannsøylemålinger er i hovedsak gjort vinterstid langs faste snitt i Nordsjøen (Torungen-Hirtshals), Norskehavet (Svinøy-NV og Gimsøy-NV), og i Barentshavet (Fugløya-Bjørnøya i januar og stasjoner i det nordøstlige Barentshavet i september), alle utført av IMR. UNI har gjort vannsøylemålinger gjennom store deler av året på Stasjon M i Norskehavet, og kontinuerlige overflatemålinger på Stasjon M og på *F/F G.O. Sars*, som dekker store deler av det Nordiske hav. NIVA har gjort overflatemålinger store deler av året i vestlige deler av Barentshavet (Tromsø-Longyearbyen) og Skagerrak samt deler av Oslofjorden (Oslo-Kiel). Dette er det andre året med månedlige målinger ved Skrova kyststasjon (IMR).

Karbonatsystemdata 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 det nordlige Barentshavet. De nye målingene i kystsonen som startet i 2015 gir økt informasjon om sesongvariasjon og prosesser som driver endringer i karbonatsystemet i dette området.

Den sesongmessige variasjonen i CO_2 -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. Vinterdata fra Torungen-Hirtshals i 2016 viser generelt lave verdier for A_T og C_T 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 innblanding av atlanterhavsvann og CO_2 -produksjon fra respirasjon av organisk materiale. Den laveste aragonittmetningen (Ω_{Ar}) ses bl.a. i kystvannet i nord (1,45) og i dypvannet midt på snittet.

I perioden 2011 til 2016 vises kun minkende pH-verdier og aragonittmetning i dypvannet (600 m) midt på snittet Torungen-Hirtshals. Her minker pH raskt med ca. 0,013 pH enheter/år og metningen minker med 0,03 per år. Dette er mye raskere enn det som er rapportert fra andre lengre tidsserier og raskere enn i Norskehavet. Det skyldes troligvis økt innstrømming av nordsjøvann og eldre vann med høy CO_2 fra respirasjon av organisk materiale. Men det er en kort tidsserie og flere år trengs for å bekrefte trenden.

Underveismålingene fra *M/S Color Fantasy* mellom Oslo og Kiel viser også disse sesongmessige variasjonene og ferskvannspåvirkningene i C_T og A_T i Skagerrak. Sommerstid ses generelt lavere C_T , A_T og pCO_2 -verdier og høyere pH og Ω_{Ar} . Nær kysten er variasjonen større enn i åpne havområder. Situasjonen er omvendt om vinteren (høyere C_T , A_T og pCO_2 og lavere pH), og da er Ω_{Ar} også lavest, spesielt i de kystnære områdene og Oslofjorden der vi ser metning <1 (middelverdi $1,28 \pm 0,39$). I Skagerrak har vi nå 5 år med data fra overflatevannet og vi ser økende pH og aragonittmetning over disse årene, noe som kan skyldes en økende alkalinitet og mulighet for at det har vært økt tilførsel av Atlantisk vann. Trendene vi ser er fortsatt svært usikre og vi trenger lengre tidsserier for å kunne si noe om langtidstrendene for området. Middelverdier i 2016 var $8,10 \pm 0,04$ for pH_T og $1,81 \pm 0,45$ for Ω_{Ar} , mens trendene viser en økning på 0,003 pH årlig og 0,037 årlig økning av Ω_{Ar} .

I Norskehavet påvirker den ferske kyststrømmen de kystnære stasjonene på Svinøy-NV og Gimsøy-NV i omtrent samme grad i 2016. Atlanterhavsvannet har høye A_T - og C_T -konsentrasjoner. I overflaten vinterstid er Ω_{Ar} relativt homogen på ca. 1,90. Metningen avtar med økende dyp, og undermetning av aragonitt ($\Omega_{Ar} < 1$) ses ved ca. 2000 m lengst vest på Svinøy-NV, mens det lengst vest på Gimsøy-NV er undermettet vann dypere enn 2100 m. Seks år med vinterdata (2011-2016) ved 2° øst langs Svinøy-NV viser minkende Ω_{Ar} i de øvre 500 m i raskere takt sammenlignet med en lengre tidsserie (Skjelvan m fl 2014). Det er spesielt tydelig på 100 m dyp ved 2° Ø der aragonittmetningen minker fra 2,0 til 1,85 i seksårs-perioden som gir ca. 0,03 per år. Dette er det samme som ved 500 m på samme stasjon.. I pH vises ingen tydelig trend.

På Stasjon M ses, som tidligere år, store sesongvariasjoner med avtakende C_T -verdier i øverste vannlag på grunn av biologisk produksjon fra april-mai og utover. Sesongvariasjonene er størst i overflatevannet og avtar nedover i dypet. I overflata finner vi den laveste Ω_{Ar} verdien om vinteren; på 1,91, som ligger mellom Svinøy- og Gimsøy-verdiene. Vinterverdier i de øvre 100 m viser at Ω_{Ar} avtar med 0,018 enheter i året i perioden 2011 til 2016, og dette er relativt likt det som observeres på 500 m dyp ($\Omega_{Ar} = -0,02$ per år). Metningshorisonten av Ω_{Ar} ligger på 1700 m dyp i 2016, og dette er noe grunnere enn målt tidligere. Dette er også grunnere enn ved de lengst vest-liggende stasjonene på Svinøy-NV og Gimsøy-NV. I perioden 2011 til 2016 blir det dype vannet årlig 0,0041 pH-enheter surere og Ω_{Ar} avtar hvert år med 0,0095 enheter. Dette er en noe raskere forsuring enn det som er rapportert tidligere, riktignok fra en større del av Norskehavet.

Data fra Fugløya-Bjørnøya langs Barentshavsåpningen (BSO) viser store mellomårslige variasjoner i hele karbonatsystemet. Nær kysten er A_T og C_T influert av ferskvann og har lave verdier i hele vannsøyla. Lenger nord, frem til polarfronten, er A_T mest påvirket av Atlanterhavsvann som gir homogene og høye verdier i hele vannkolonnen, som i 2014 og 2015. C_T øker gradvis langs snittet og er høyest ved Bjørnøya. For perioden 2011 til 2016 vises ingen signifikante trender i vannkolonnen. Det er sannsynligvis på grunn av manglende data i januar noen år som betyr at sesongvariasjon bidrar til å gjør det vanskelig å detektere trender. I nordlige delen av Barentshavet er tidsserien for kort for å si noe om trender, men generelt har vannet lavere pH og aragonittmetning enn lenger sør på grunn av is-prosesser som bidrar til CO_2 opptak men og undermetning i vannkolonnen.

Dataene fra målinger på strekningen Tromsø-Longyearbyen i Barentshavet (vest) viste både sesongvariasjon samt forskjeller mellom de ulike vannmassene på strekningen. I Atlantiske vannmasser var både pH, A_T og C_T høyere enn i de kystnære områdene langs norskekysten og Svalbard der vannmassene er påvirket av ferskvann og forskjellige vanntyper. Ω_{Ar} var høyest i kystvannet ved Norge i Atlantiske vannmasser, og lavest langs kysten av Svalbard. Trendene for pH og Ω_{Ar} viser at overflatevannet på snittet har en minkende pH på 0,0016 i året og en minkende Ω_{Ar} på 0,016 i året, men det er behov for lengre tidsserie for å kunne gi sikre svar på den langsiktige havforsuringstrenden i området ettersom sesongvariasjonen er høy.

Extended English Summary

This is the annual report from 2016 based on the program: "Monitoring ocean acidification in Norwegian waters" which began in 2013 and is funded by the Norwegian Environment Agency. 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 , pCO_2 and pH made by the Institute of Marine Research (IMR), Norwegian Institute for Water Research (NIVA) and Uni Research (UNI) with updated data from 2016. IMR conducted water column measurements along repeated transects during winter 2016 in the North Sea (Torungen-Hirtshals), at two sections in the Norwegian Sea (Svinøy-NW and Gimsøy-NW), and at two sections in the Barents Sea (Fugløya-Bjørnøya in January 2016, and in the northeastern part of the Barents Sea in August/September 2016). The Norwegian Sea water column was also investigated by UNI which performed seasonal studies at Station M. Moreover, UNI also contributed with continuous surface pCO_2 data at Station M as well as surface pCO_2 measurements from large parts of the Nordic Seas covering all seasons. NIVA performed surface water measurements on two sections; Oslo-Kiel (North Sea) and Tromsø-Longyearbyen (Barents Sea opening) during all of 2016, and present data on both seasonal and interannual basis. In addition, the report includes data from the 2nd year of monthly measurements at a coastal site in Skrova in Lofoten. All data positions are shown in **Figure 1a and b**.

This report includes carbonate chemistry data and ancillary variables such as salinity, temperature, and nutrients to provide baseline observations of variability attributed to oceanographic and anthropogenic processes such as influence of mixing of water masses, freshwater/meltwater input, CO_2 emissions, and biological processes including production and respiration. For water column data, this is explored each year and the observed interannual variability is largely derived from 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 as well as shoaling of the saturation horizon from 2011 to 2016. This occurred at a faster rate than reported for the period 1981-2013 (Skjelvan et al., 2014) and can partly be explained by progressive freshening in this period (salinity also display decreased values) and increased CO_2 in the deeper water column. However, the data in this report are from a smaller area compared to the data used in Skjelvan et al. (2014). Data also provides information to be used in projections of future CO_2 concentration scenarios and estimates of changes in the depth of the $CaCO_3$ 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. For the northern Norwegian Sea only includes 3-years of data and more data is needed to confirm whether the rate of decrease in aragonite saturation that is observed in the whole Norwegian Sea is larger than what the previous long-term trends suggest. 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

Winter data from the water column in the North Sea was sampled on the IMR repeated transect between Torungen and Hirtshals. **Figures 2 to 5** shows the variability of salinity, temperature, A_T , C_T , pH and Ω_{Ar} along the transect in January 2016. **Figure 2** 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. With the high biological activity and land-ocean interactions in this area, strong influences must come from production and riverine processes which were not measured in this study. The distribution of salinity shows that the Norwegian coastal station was characterised by relatively colder and fresher surface waters. Salinity increased throughout the water column. A core of higher temperature ($> 7.5^{\circ}\text{C}$) water 50-250 m deep represented the Atlantic water extending until 10 km from the coast. Below 500 m colder water occupied the deepest parts of the section. High A_T values occurred in the deeper waters from about 30 km from the coast. The highest A_T of $2331 \mu\text{mol kg}^{-1}$ and C_T of $2207 \mu\text{mol kg}^{-1}$ were found beneath the Atlantic water within the cold, older water mass at 600 m depth. The Atlantic water mass had C_T in the range 2160-2170 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, consistent with the 2015 data. The upper ocean was characterised by lower A_T (less than $2250 \mu\text{mol kg}^{-1}$) and lower C_T (less than $2120 \mu\text{mol kg}^{-1}$) from influences of freshwater along the coastal current. In addition, seasonal biological activity would reduce C_T to lowest values below $2100 \mu\text{mol kg}^{-1}$. This is very similar to that observed in 2015. High pH was found in the upper 50 m with maximum values at the central station. The Atlantic water layer could be distinguished by lower pH water being projected to within 10 km of the Norwegian coast. Lowest pH of 7.917 water was found at 600 m depth in the deepest parts of the section towards the Danish coast. The saturation state for aragonite (and calcite, not shown) had maximum values (Ω_{Ar} up to 2.02) in the upper layer, typically between 20-100 m depth. An exception was 40 km south of Torungen, where Ω_{Ar} was 1.79 at the surface. The saturation state was reduced at the sea surface at coastal stations at the northern and southern ends of the section. Within the Atlantic water, Ω_{Ar} was around 1.70 and saturation states followed a decreasing vertical gradient to minimum values close to 1.35 at 600 m depth. This distribution was very similar to that in 2015.

The mean Ω_{Ar} was 1.72 ± 0.14 for all stations and depth, which is similar to the value in 2015 and 2014, but is significantly lower (ca. 0.3 Ω_{Ar} units) compared to the 2012 value.

The underway measurements made by NIVA in 2016 from *M/S Color Fantasy* between Oslo and Kiel also show the seasonal variations and fresh water impacts in Skagerrak (**Figures 45-48**). Near the coast during summer, C_T , A_T , and $p\text{CO}_2$ were generally lower, and pH and Ω_{Ar} were higher than during the winter when C_T , A_T , and $p\text{CO}_2$ were generally higher, and pH and Ω_{Ar} were lower. The mean values in Skagerrak were $2010 \pm 88 \mu\text{mol/kg}$ for C_T , $2162 \pm 95 \mu\text{mol / kg}$ for A_T , $339 \pm 42 \mu\text{atm}$ for $p\text{CO}_2$, 8.10 ± 0.04 for pH_T and 1.81 ± 0.45 for Ω_{Ar} . Ω_{Ar} was very low in the coastal areas and the Oslo Fjord in winter where we see saturation <1 (mean value 1.28 ± 0.39).

UNI has performed underway $p\text{CO}_2$, temperature and salinity measurements onboard *R/V G.O. Sars* in the North Sea during the spring season in 2016. The variability is large even within only one season, and pH varies between 8.05 and 8.19 while Ω_{Ar} varies between 1.8 and 2.3 (see **Figure 49**). The area consists of different water masses with different temperatures and salinity, and the biological production is patchy.

Norwegian Sea

Data from the Norwegian Sea was collected from two sections Svinøy-NW (**Figures 6 to 10**) and Gimsøy-NW (**Figures 23 to 25**) and one fixed point station (Station M, **Figures 11 to 21**). The report also includes data from the first year of monthly sampling at Skrova coastal station in northern coastal Norway. **Figures 1a and b, 6a** show the position of these sites. Station M includes data from large parts of the year while Svinøy-NW and Gimsøy-NW is measured once a year (in January and March). **Figures 7 and 23** show how salinity and temperature varied south

and north in the Norwegian Sea during winter. The fresh coastal currents affected the coastal stations at Svinøy-NW repeat transect and the more northerly located Gimsøy-NW repeat transect.

Figure 7 shows the salinity and temperature data along the section showing the warm and salty Atlantic water present until about 400 m depth. The coastal station was characterised by relatively colder and fresher surface layer water influenced by the Norwegian coastal current. Beneath the warm Atlantic layer lies the Arctic water mass. The distribution of water properties along the section in 2016 are very similar to those observed in 2015.

The distribution of A_T and C_T show reduced values towards the coast, which are typical of the Norwegian coastal current in this region. From about 50 km away from the coast, higher A_T of 2315-2325 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ is observed, extending across the length of the section to around 400 m depth. This represents the core of Atlantic water. This situation is very similar to that observed in the 2015 data and as such shows reveals some interannual variation of Atlantic water in this region. Underlying the Atlantic water is the fresher Arctic water, which is distinguished by lower A_T in the range 2300-2308 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. The upper ocean was characterised by lower C_T from seasonal biological activity, where values increased from around 2120 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ at the coastal station to about 2150 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ furthest offshore. Similarly, this is very similar to that observed in 2015 with a signal of interannual variability. Furthest offshore at 500-1000 m depth revealed high concentrations of C_T exceeding 2170 $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

pH showed similar values of about 8.04-8.05 in the upper waters of the whole section and at 750-2000 m depth from 150-250 km away from the coast. Patches of low pH ~8.02 water occurred around 500 m depth in the central part of the section and at the deepest point, furthest offshore. The saturation state for aragonite varied from highest values at the surface to lowest in the deepest parts of the section. The upper 400 m of the water column was saturated with respect to aragonite ($\Omega_{Ar} > 1.8$), which had a decreasing vertical gradient to reach the saturation horizon at around 2000 m depth offshore. Waters below 2000 m were undersaturated ($\Omega_{Ar} < 1.0$) with lowest values of 0.91. This distribution was very similar to that in 2015.

Figure 10 shows the aragonite saturation state for stations along the Svinøy section at 2°E and 1°E that were occupied during the winter each year from 2011. The data show interannual variability related to the variations in the presence of cold and fresh Arctic water at these locations. Ω_{Ar} at 1000 m at both sites is more variable, perhaps due to interactions between the Arctic water with the overlying warm and salty Atlantic water. This is also the case for the distribution of Ω_{Ar} over time at 1500 m at 2°E, which is close to the maximum water depth and thus likely experiences enhanced mixing of water masses over the topography. The aragonite saturation at 1500 m at 1°E is furthest offshore and shows a general decrease over time, following on from the trends identified in 2015.

Measurements from Station M (**Figures 11 to 21**) show seasonal variability for 2016 as for the previous years. C_T decreases in the upper water layer as early as April-May due to onset of biological production. Seasonal variations are greatest in the surface water and are less pronounced at depth. pH and aragonite saturation in the surface water are also affected by biological activity, and instances of low pH and Ω at depth were likely due to CO_2 produced from respiration of accumulated remineralized material. In the surface water the aragonite saturation increased from 1.91 to 2.73 from winter to summer of 2016, and this is comparable to the continuous surface measurements from the same site. Undersaturation with respect to aragonite is seen at 1700 m throughout the year, which is shallower compared to earlier years.

When comparing the years 2011 to 2016 at Station M we see that the deep water pH is decreasing with 0.0041 units each year, while the Ω_{Ar} is decreasing by 0.0095 units/year.

The section from Gimsøy is dominated by warm and salty Atlantic water in the upper 500 m overlying cold Arctic water at intermediate depths. The two coastal stations are characterised by fresher surface waters from the Norwegian coastal current. The Atlantic water had high A_T of around $2320 \mu\text{mol kg}^{-1}$ and C_T of $2155\text{-}2160 \mu\text{mol kg}^{-1}$. The deeper parts of the section heading northwest into the Norwegian Sea show the influence of Arctic water characterised by lower A_T of $2310\text{-}2315 \mu\text{mol kg}^{-1}$ and higher C_T up to $2170 \mu\text{mol kg}^{-1}$. This was very similar to the 2015 data. High pH water occurred from 150 km away from the coast towards the most offshore station, where values were 8.07-8.10 in the upper 1000 m. These values are higher than those from the 2015 data, perhaps a signal of interannual variability in the Atlantic water. High pH water was also detected near the continental slope at 1500 m depth, 100 km from the coast. Lowest pH of 7.98 water was found close to 3100 m depth, 400 km from the coast, within the deepest part of the section in the Norwegian Sea. Aragonite saturation showed a general decreasing gradient from highest values 1.80-1.85 in surface waters to the deepest parts of the section, reaching undersaturation ($\Omega_{Ar} < 1$) in the most north west station around 2500 m depth. This was deeper compared to the saturation horizon found at 2100 m in 2015, as such showing variations in the colds and C_T -rich Arctic water layer each year.

Monthly measurements at coastal station Skrova in Vestfjorden (**Figures 33 to 38**) shows that A_T follows the salinity and that C_T in winter is relatively homogenous in the top 150-100 meters. In May, C_T and $p\text{CO}_2$ decrease in the surface and pH increases. These changes are likely to be a combination of freshwater (shown and in salinity) and CO_2 uptake during the bloom. This is supported by decreasing nutrient salt concentrations and shows that measurements of the entire carbonate system provide information on far more processes than marine acidification. Aragonite varies with water masses, primary production and melting water, and is supersaturated throughout the year in the whole water column.

Data from *R/V G.O. Sars* from the Norwegian Sea during spring and fall show large variations in surface temperature, and $p\text{CO}_2$ (**Figure 50**, which reflects high diversity in sampled areas as well as seasons. Off the coast of Nordland the spring pH was low (ca. 8.04 to 8.1), while the aragonite saturation ranged from ca. 1.8 to 2.0. No areas with undersaturation with respect to aragonite in the surface were visited by *R/V G.O. Sars* in 2016.

The Barents Sea

In this project, sampling was performed on the IMR repeat transects Fugløya-Bjørnøya in the Barents Sea opening in southwestern Barents Sea (**Figures 27 to 29**) and along the Vardø-North transect in eastern Barents Sea (**Figures 30 to 32**). The latter transect is sampled in conjunction with the IMR-PINRO Barents Sea ecosystem surveys “Økotokt” (**Figure 23a**). Coastal waters near Fugløya are influenced by the fresh Norwegian coastal current. The section extends into the Barents Sea where deepest levels (500 m depth) at 73.5°N are occupied by Atlantic water with salinity >35.1 and temperature -6°C . From the coast to 73°N seawater temperature was relatively homogenous at $6\text{-}7^\circ\text{C}$. across the full water column into the Barents Sea. Near Bjørnøya the inflow of polar waters travelling south from north east Svalbard creates strong horizontal gradients at the polar front at around 73.5°N that lead to reduced salinity (< 34.7) and lower temperatures ($< 1^\circ\text{C}$) in the upper 100 m at the northern limit of the section. The trends in these water properties are very similar to those observed in 2015.

A_T and C_T at the coastal station were relatively low compared to the rest of the section. The distribution of A_T reflects the key water masses of this region of the Barents Sea; coastal water, Atlantic water and Arctic water. The central station shows the Atlantic water to have A_T of 2325-2330 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ with a strong horizontal gradient in A_T to lowest values around 2290 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ in the polar water. C_T showed a slightly different pattern, from lowest values near the coast and an increasing horizontal gradient around 72°N to values 2146-2150 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ in the upper 200 m along the rest of the section. Highest A_T and C_T was found below 350 m in the centre of the section.

High pH (>8.08) occurred at the southern and northern limits of the section and also in the deepest layer below 400 m depth. Lowest values 8.04-8.05 were found overlying the seafloor at 71.5°N. This had slight variation to the 2015 data. The saturation state for aragonite had a general decreasing gradient northwards, from more homogenous values 1.8-2.0 in the upper 200 m until intercepting the polar front region at 73,5°N. North of the front, Ω_{Ar} decreased with increasing latitude to lowest values of 1.6 near Bjørnøya.

Carbonate chemistry from surface waters was measured throughout 2016 by NIVA in the BSO between Tromsø, Norway and Longyearbyen, Svalbard (**Figures 40 to 43**). C_T , A_T , and calculated $p\text{CO}_2$ values were generally low during summertime, while pH and Ω_{Ar} were relatively high compared to the opposite situation during winter with higher C_T , A_T , and $p\text{CO}_2$ (**Figure 40 and 41**), and lower pH and Ω_{Ar} . Freshwater input, biological production during summer, and circulation likely played important roles in the observed variability. Mean values for the Atlantic water masses were $2153 \pm 20 \mu\text{mol/kg}$ for C_T , $2331 \pm 13 \mu\text{mol/kg}$ for A_T , $332 \pm 41 \mu\text{atm}$ for $p\text{CO}_2$, 8.12 ± 0.05 for pH_T and 1.96 ± 0.12 for Ω_{Ar} . Mean values for fresher bodies of water near coast and fjords on Svalbard were $2120 \pm 43 \mu\text{mol/kg}$ for C_T , $2290 \pm 33 \mu\text{mol / kg}$ for A_T , $342 \pm 59 \mu\text{atm}$ for $p\text{CO}_2$, 8.10 ± 0.07 for pH_T and 1.88 ± 0.3 for Ω_{Ar} . Coastal waters near Norway had mean values of $2097 \pm 48 \mu\text{mol/kg}$ for C_T , $2278 \pm 51 \mu\text{mol/kg}$ for A_T , $343 \pm 37 \mu\text{atm}$ for $p\text{CO}_2$, 8.10 ± 0.04 for pH_T and 2.00 ± 0.3 for Ω_{Ar} .

Sea surface $p\text{CO}_2$ was measured in parts of the Barents Sea opening and in the western part of the Barents Sea during winter, summer and fall using R/V G.O. Sars (**Figur 51, Vedlegg B**). $p\text{CO}_2$ varied between 360-370 μatm during winter and 290-300 μatm during summer, with lowest values in the north during summer. Winter pH and Ω_{Ar} were the lowest observed in this area: 8.06 to 8.07 and 1.5 to 1.8, respectively, while summer values varied between 8.11 and 8.15 and between 1.9 and 2.1. The Barents Sea opening was supersaturated with respect to aragonite during all seasons.

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 were analyzed onboard the ship, but most frequently the samples were preserved using saturated mercuric chloride solution and stored cool and dark before analysis at the partner laboratories.

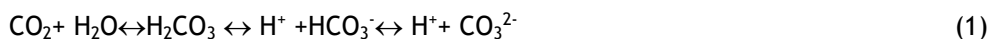
A_T was determined using potentiometric titration with 0.1 N hydrochloric acid in closed cell, and C_T was measured using an acidified sample followed by coulometric titration and photometric detection (IMR, UNI, and NIVA). The VINDTA analytical systems (Marianda, Germany) have been used by IMR and UNI for years, and this instrumentation has been used by NIVA since 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 the chemical speciation equilibrium model CO2SYS (Pierrot *et al.*, 2006) to calculate the other CO₂-system-components such as *in situ* pH, and 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 ([Ca²⁺]) was assumed to be proportional to salinity by Mucci (1983), and corrected for pressure following Ingle (1975). NIVA and UNI measured pH by use of indicator dye and optical detection. Continuous surface *f*CO₂ 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 *f*CO₂ instrument at *R/V G.O. Sars* has a NDIR CO₂/H₂O-spectrophotometer (LI-COR 6262) which measures the CO₂ 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 pCO₂ instrument runs with a Li-COR 820 IR spectrophotometer and one NOAA standard gas, while the sub-surface mooring uses a pCO₂ instruments based on indicator and optical detection.

1. Innledning

I 2013 ble det opprettet et eget havforsuringsprogram i Miljødirektoratet. Bakgrunnen for et slikt initiativ er at havet for tiden absorberer omtrent 25 % av de årlige menneskeskapte utslippene av karbondioksid (CO₂) fra forbrenning av fossile brensler og avskoging (Takahashi *m fl.*, 2009), og dette vil påvirke hele det uorganiske karbonsystemet i havet, med påfølgende reduksjon i havets pH og aragonittmetningsgrad. Havforsuringen i våre dager 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. Derfor er det viktig at forvaltningen holder øye med graden av havforsuring. De nordligste norske havområdene har et naturlig høyt innhold av uorganisk karbon, og lave havtemperaturer fører i tillegg til høy CO₂ -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 svært viktig del av det globale karbonkretsløpet. Ca. 90 % av det uorganiske karbonet i havet finnes i form av hydrogenkarbonat (HCO₃⁻), ca. 9 % er karbonat (CO₃²⁻) og omkring 1% eksisterer som CO₂. Når CO₂ fra luften absorberes i havet vil gassen løses i sjøvann og karbonsyre (H₂CO₃) dannes. Dette fører også 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).



I sum vil havets opptak av CO₂ føre til økt konsentrasjonen av hydrogenioner og lavere tilgjengelighet av karbonationer i sjøvannet. Dette resulterer i at sjøvannets pH avtar, og derfor har prosessen fått navnet 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).



Når svært store mengder med CO₂ absorberes, kan havet bli surt nok til at vannet blir undermettet med hensyn på karbonat-ioner (CO₃²⁻) og da vil kalk (CaCO₃) oppløses og skallet til enkelte organismer blir kjemisk ustabilisert (Orr *m fl.*, 2005). Det er rimelig å anta at organismer med kalkskall vil ha lavere evne til å overleve når konsentrasjon av karbonat blir redusert som følge av

CO₂-opptak. I følge Talmange og Gobler (2009), Andersen *m fl.* (2013) og Agnalt *m fl.* (2013) kan havforsuringen svekke en rekke økonomisk viktige skalldyrarter, og Mortensen *m fl.* (2001), Turley *m fl.* (2007) og Järnegren og Kutti (2014) viser at dette også kan være tilfelle for de store forekomstene av kaldtvannskoraller langs norskekysten. Andre kalsifiserende arter, som vingesnegl *Limacina helicina* viser en kobling mellom høye CO₂ verdier og avtakende skalltykkelse og andre skader på skall ved aragonittmetning på ca. 1,2 til 1,4 i California og Antarktis (Bednarsek *m fl.*,.). Det har vist seg at ikke-kalkskalldannende organismer også kan bli påvirket negativt av endring i CO₂ eller lav pH. Stiansny *m. fl.* (2016) viste f.eks. økt dødelighet for torskelarver ved høye CO₂ konsentrasjoner. Det finnes også organismer som reagerer positivt på høyt CO₂-innhold og lav pH (Dupont og Pörtner, 2013). Det er derfor vanskelig å forutsi hvilke arter som vil klare å tilpasse seg endringene i karbonatsystemet.. 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 f eks opptak av CO₂ fra luften.
- Havforsuring betyr også at metningsgraden av kalsiumkarbonat (kalsitt og aragonitt) blir lavere. Det er viktig å vite både pH og metningsgrad for å få et komplett bilde av havforsuring.
- Havet vil aldri bli surt (pH lavere enn 7), bare mindre basisk.
- At havet blir mindre basisk vil primært påvirke organismer med kalkskjell eller kalkskjelett, siden kalk vil løses når pH-verdien er for lav.

2. Metodikk og data

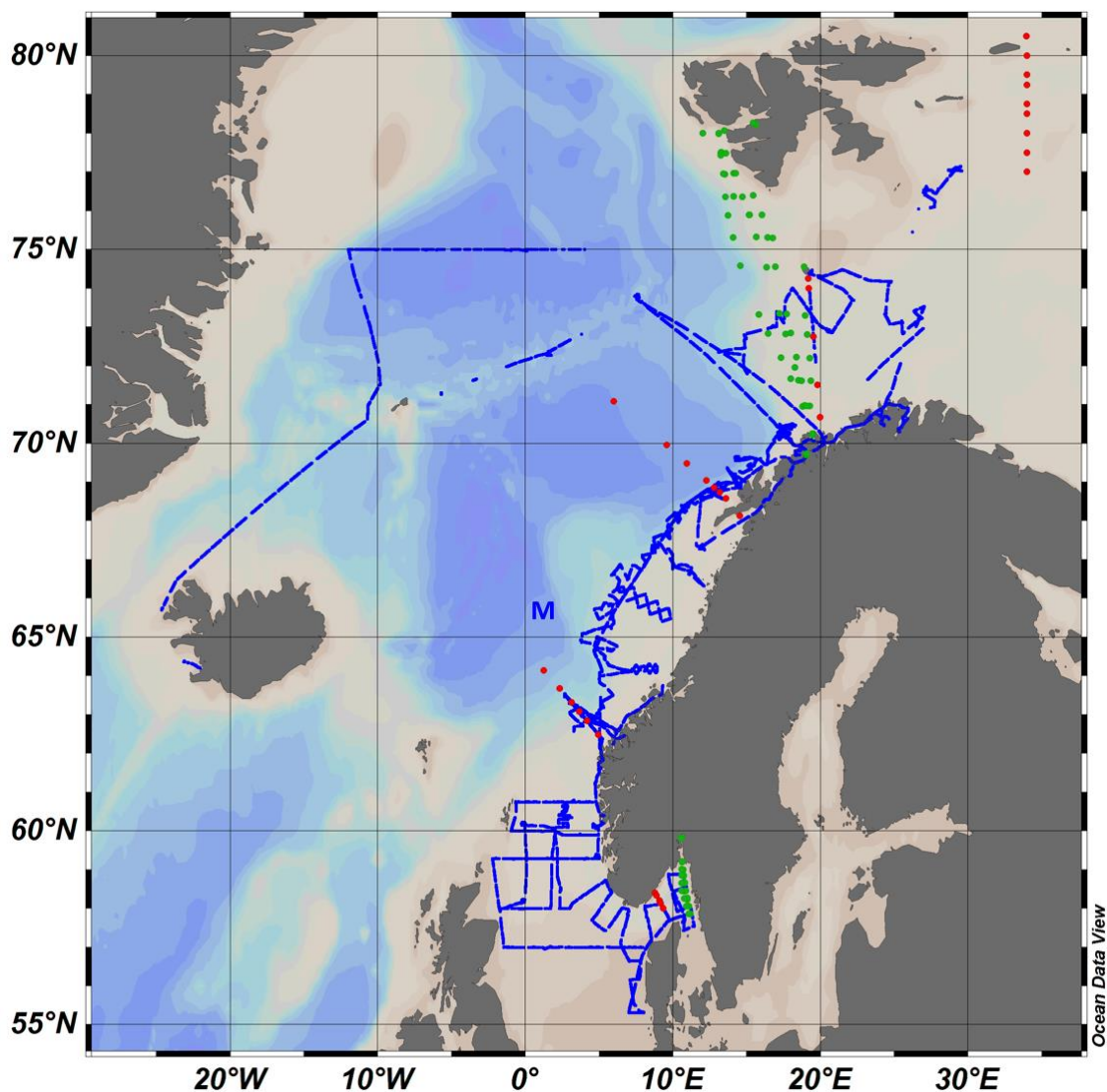
Overvåkningsprogrammet har som mål å få oversikt over status og utvikling av forsuring i norske havområder. I tillegg skal programmet legge til rette for overvåkning av forsurings-effekter i framtida. De fleste dataene er tilgjengelig i de internasjonale databasene CARINA, CDIAC og SOCAT (<http://cdiac.ornl.gov/oceans/CARINA/>, www.socat.info). Dataene publiseres også i Vannmiljø og i Norsk Marin Data Senter (NMDC).

Tabell 1

Tabellen nedenfor viser en oversikt over alle toktene som ble gjennomført i 2016.

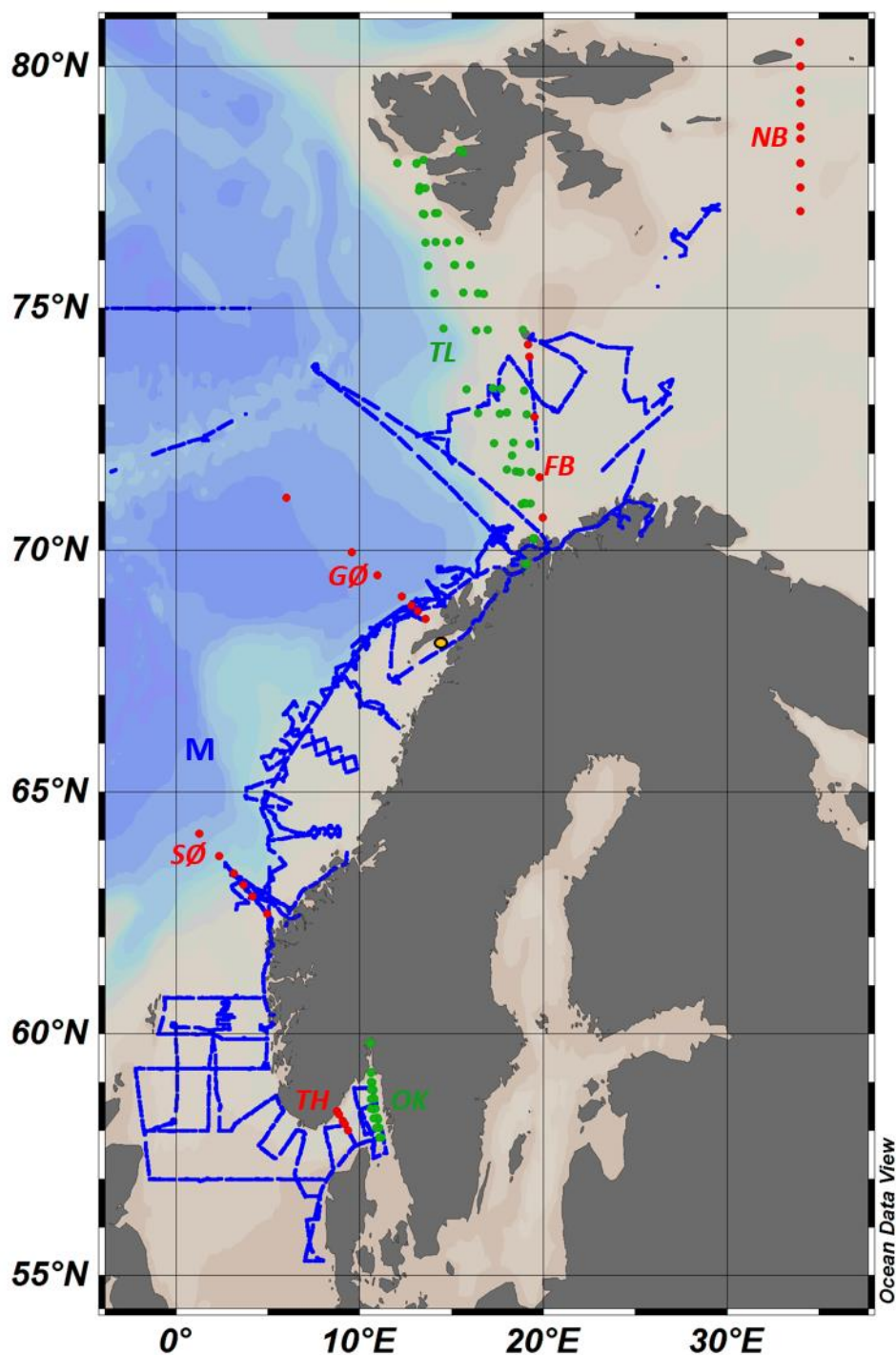
The table below shows a summary of transects and cruises where sampling were performed from south to north in 2016.

Snitt/stasjon (prøvetype)	Prøvetakings-måned	Dyp	Målte parametere	Utførende institusjon	Finansiering
Torungen-Hirtshals (diskrete)	februar	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødirektoratet
Svinøy-NV (diskrete)	januar	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødirektoratet
Gimsøy-NV (diskrete)	mars	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødirektoratet
Fugløya-Bjørnøya (diskrete)	januar	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødirektoratet
NØ Barentshav (diskrete)	august/september	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødirektoratet/ FRAM
Tromsø-Longyear-byen/Ny-Ålesund (diskrete)	mars, juni, september, november	overflate	A _T , C _T , pH,	NIVA	Miljødirektoratet/ FRAM
Oslo-Kiel (diskrete)	februar, april, august, november	overflate	A _T , C _T , pH,	NIVA	Miljødirektoratet
Stasjon M (diskrete)	januar, mars, mai, juli, november	vannsøyle	A _T , C _T	UNI	Miljødirektoratet /NFR/EU
Kyststasjon Skrova (diskrete)	månedlig	vannsøyle	A _T , C _T	IMR	Miljødirektoratet
Stasjon M (kontinuerlige)	oktober 2011 - desember 2015	Overflate,	pCO ₂ , pH	UNI	Miljødirektoratet
Nordiske hav (kontinuerlige)	januar-november	overflate	pCO ₂	UNI	Miljødirektoratet



Figur 1a. Kart over hele innsamlingsområdet for havforsuringsprogrammet 2016. Forklaring følger i Figur 1b, der det er fokusert på kysten.

Figure 1a. Map showing the whole area of sampling in the ocean acidification program 2016. For explanation, see Figure 1b, where the focus is on the coast.



Figur 1b. Kart over stasjoner som inngår i måleprogrammet i 2016. Røde prikker viser faste snitt med vannsøyleprøver (IMR); TH=Torungen-Hirtshals, SØ=Svinøy-NV, GØ=Gimsøy-NV, FB=Fugløya-Bjørnøya, NB=stasjoner i nordøstlige Barentshav. Gult punkt med svart kant markerer Skrova kyststasjon. Grønne prikker er stasjoner der NIVA har tatt overflateprøver; OK=Oslo-Kiel, TL=Tromsø-Longyearbyen. Blå farge viser der UNI har tatt prøver: blå streker viser kontinuerlige overflatemålinger fra F/F G.O. Sars, som også dekker området vest til 25°W (Figur 1a) (UNI), og blå M markerer posisjon for Stasjon M (vannsøyleprøver).

Figure 1b. Map showing positions for all collected data in 2016. Red dots 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. Yellow dot with black outline show the Skrova coastal station. Green dots are stations where NIVA has collected surface samples; OK=Oslo-Kiel,

TL=Tromsø-Longyearbyen. Blue color indicate UNIs sampling positions: blue lines show continuous surface samples from R/V G.O. Sars, which reach as far west as 25°W (Figure 1a), and the blue M is the position for Station M (water column sampling).

Posisjoner til faste snitt, transekt og fast stasjon som er del av måleprogrammet i 2016 vises i **Figur 1a og b**. Havforskningsinstituttet (IMR) har utført faste snitt i Nordsjøen (Torungen - Hirtshals), Norskehavet (Svinøy-NV, Gimsøy-NV), og i Barentshavet (Fugløy-Bjørnøya og ti stasjoner i det nordøstlige Barentshavet). Den månedlige prøvetakingen ved Skrova kyststasjon som ble startet av IMR i 2015 er fortsatt i 2016 (**Figur 1b**, nr. 1) i samarbeid med ØKOKYST-programmet (Miljødirektoratet). Uni Research har i 2016 gjort målinger på Stasjon M i tillegg til overflatemålinger i store deler av de nordiske hav. NIVA har målt transekt i Barentshavsåpningen (Longyearbyen-Tromsø) og i Skagerrak (Oslo-Kiel). Posisjoner for prøvetaking vises detaljert i senere figurer.

Miljødirektoratet har finansiert aktiviteter som er presentert i denne rapporten, men deltakerne i programmet har i tillegg bidratt med data og kompetanse fra andre prosjekter. UNI sine data er samlet inn med bidrag fra EU-prosjektet FixO3 og NFR-prosjektet ICOS-OTC. NIVA sine aktiviteter knyttet til havforsuring (OA-SIS) er benyttet i arbeidet og dekker kostnader knyttet til metodeutviklingen på analyser (C_T , A_T og pH) og kontinuerlige målinger av pH og pCO_2 . Noen data fra disse programmene og Framsenterets Flaggskip på havforsuring er inkludert for å styrke datagrunnlaget i rapporten. Fra IMRs 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

I dette prosjektet brukes internasjonalt anerkjente metoder og rutiner for vannprøvetaking og instrumentering, og disse finnes i Dickson *m fl.*(2007); Guide to Best Practices for Ocean CO_2 Measurements.

Som før ble prøvetaking av vannsøylen på faste snitt utført manuelt av IMR (**Figur 1a og b**) 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 ble samlet inn manuelt av UNI ved bruk av primært *F/F Håkon Mosby* og *F/F Johan Hjort*. NIVA samlet manuelt inn vannprøver v.h.a. Ferrybox-nettverket fra overflaten mellom Tromsø og Longyearbyen med containerskipet *M/S Norbjørn* og Oslo-Kiel med *M/S Color Fantasy*.

Karbonatsystemet i sjøvann kan beskrives ved hjelp av fire målbare parametere og disse er: total alkalinitet (A_T), total uorganisk karbon (C_T), pH, og partialtrykk av CO_2 (pCO_2). 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, Appendiks). I sjøvann utgjør karbonater og hydrogenkarbonat den største delen av disse basene. C_T defineres som summen av karbonsyre og løst CO_2 i vann (CO_2^*), karbonater og hydrogenkarbonater (Eq. 5, Vedlegg C). Surhetsgraden eller pH angir konsentrasjonen av hydrogen-ioner (H^+) i sjøvannet (Eq.6, Vedlegg C). Partialtrykket (deltrykket) av CO_2 (pCO_2) er

enkelt definert som forholdet mellom konsentrasjon av løst $[\text{CO}_2^*]$ i vann og løselighet av CO_2 -gass, K_0 (Eq. 7, Vedlegg C).

Gjennom hele rapporten har vi brukt $p\text{CO}_2$ for deltrykket av CO_2 . I realiteten måles $f\text{CO}_2$, fugasitet av CO_2 , som tar hensyn til at CO_2 ikke er en ideell gass. Forskjellen mellom $p\text{CO}_2$ og $f\text{CO}_2$ er rundt 0,3%. For å unngå biologisk aktivitet i vannprøven etter at den er samlet inn, noe som vil forskyve balansen mellom organisk og uorganisk karbon i prøven, fikseres vannprøvene for totalt uorganisk karbon (C_T) og total alkalinitet (A_T) med mettet kvikksølvklorid løsning. I tillegg oppbevares prøvene mørkt ved ca. +4 °C før de blir 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, Gimsøya-NV, nordøstlige Barentshav, Skrova kyststasjon, , fra den faste stasjonen M, , og fra overfarten Tromsø-Longyearbyen og Oslo-Kiel. Prøvene ble analysert ved IMR, UNI og NIVA med VINDTA 3C (Marianda, Tyskland) og CM5011 coulometer (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).

Saltsyren for A_T -titrering tilsettes NaCl for å bli sammenlignbar med ionestyrken til naturlig sjøvann på ca. 0,7 M og pH-elektroden som benyttes av alle parter er tilpasset sjøvannsprøver/høy ionestyrke (Metrohm 6.0259.100). C_T -metoden er beskrevet i Johannessen *m fl.* (2011).

VINDTA-instrumentet for A_T bruker lukket titreringscelle med 100 ml prøvevolum og 20 ml prøvevolum før C_T . 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).

2.3 pH- og $p\text{CO}_2$ -målinger

2.3.1 pH-målinger

På overflatetoktene (Oslo-Kiel og Tromsø-Longyearbyen) 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 modellen CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006), se kap. 2.4. Den spektrofotometriske pH-metoden er beskrevet i tidligere rapporter fra overvåkingsprogrammet (Johannessen *m fl.*, 2011; Chierici *m fl.*, 2012; 2013; 2014; 2015). 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.

UNI har målt pH_T 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.

2.3.2 pCO_2 -målinger

UNI bruker som før flere ulike pCO_2 -instrumenter. Egentlig måles parameteren $f\text{CO}_2$ (fugasitet av CO_2) som tar hensyn til at CO_2 ikke er en ideell gass, men for enkelhets skyld brukes benevnelsen pCO_2 i hele rapporten. pCO_2 -instrumentet i bruk på *F/F G.O. Sars* er produsert av General Oceanics i USA, men instrumentet ble i utgangspunktet utviklet av en av ingeniørene på Uni Research og er i dag i bruk på forskningsskip og cargobåter i alle verdenshav. Instrument ble installert på *F/F G.O. Sars* i 2003 da båten var ny, og i april 2015 ble en oppdatert versjon av måleinstrumentet installert ombord. Instrumentet måler deltrykket av CO_2 (pCO_2) i overflatevann og sjøvannstemperatur, samt oppløst oksygen i sjøvann. Prinsippet er å bruke en infrarød $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -gassanalysator (LI-COR 6262) til å måle CO_2 -konsentrasjonen i luft som er i likevekt med en kontinuerlig strøm av sjøvann (Pierrot *m fl.*, 2009). Målinger blir gjort hvert tredje minutt, og instrumentet kalibreres omtrent hver sjetten time ved å bruke tre referansegasser med konsentrasjoner på ca. 200, 400 og 480 ppm CO_2 . Kalibreringsgassene er levert av National Oceanic and Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory (NOAA / ESRL), og målinger gjort med slike instrumenter leverer pCO_2 data med en usikkerhet på ± 2 μatm . pCO_2 -dataene fra 2016 har gått gjennom primær og sekundær kvalitetskontroll og er sendt til databasen SOCAT (Surface Ocean Carbon Atlas Portal - www.socat.info).

På overflatebøya på Stasjon M brukes et pCO_2 -instrument som er levert fra Battelle Memorial Institute, USA, og det bruker, som General Oceanics-instrumentet på *F/F G.O. Sars*, også en infrarød CO_2 -gassanalysator (LI-COR 820), men her brukes bare én kalibreringsgass (NOAA / ESRL) i tillegg til en gasstandard uten CO_2 . Målefrekvensen er en gang hver tredje time, og med måling menes CO_2 i vann, CO_2 i luft eller kalibreringskjøringer. Instrument med bare en kalibreringsgass har en usikkerhet for pCO_2 i sjøvann på ± 5 μatm .

På undervannsriggen på Stasjon M brukes et pCO_2 -instrument fra Sunburst Technologies, USA; SAMI2- CO_2 . I dette instrumentet strømmer sjøvann forbi en semi-permeabel beholder med indikator, som forandrer farge når CO_2 diffunderer gjennom beholderveggen. Fargeendringen registreres optisk, og usikkerhet i disse målingene er ± 5 μatm for pCO_2 i sjøvann. Data fra dette instrumentet finnes ikke fra 2015-2016 fordi riggen har slitt seg og forsvunnet fra posisjon.

NIVA måler pCO_2 kontinuerlig ved hjelp av et membranbasert målesystem der CO_2 diffunderer over en membran og detekteres på en NDIR (non-dispersive infrared) sensor. Instrumentet er under utvikling i samarbeid med Franatech (Tyskland).

2.4 Beregning av pH, pCO_2 og metningsgraden av kalsitt og aragonitt

Kjenner vi to av de fire karbonparameterne; C_T , A_T , pH og pCO_2 , kan de to andre beregnes. Det man i tillegg får ut av disse beregningene er metningsgraden av kalsitt og aragonitt, Ω_{Ca} og Ω_{Ar} . Metningsgraden forteller om konsentrasjonen av karbonationer i vannet, og hvis $\Omega > 1$ betyr det

at vannet er overmettet med karbonat. Hvis $\Omega < 1$ betyr det at vannet er undermettet med karbonat og det kjemiske miljøet er dermed ugunstig for organismer med karbonatskjell, som f.eks. vingesnegl eller korallrev.

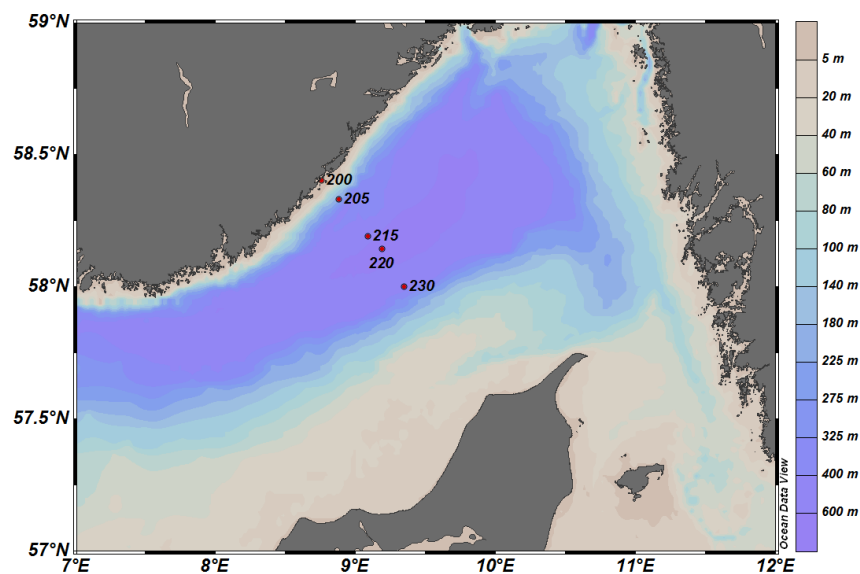
For å beregne karbonparametere bruker vi den kjemiske modellen CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006). I mange sammenhenger ble A_T og C_T brukt sammen med temperatur, dybde (trykk), saltholdighet, fosfat og kiseltsyre som input-verdier i CO2SYS, og det som ble beregnet var *in situ* pH, pCO_2 og metningsgrad for kalsitt og aragonitt (Ω_{Ca} og Ω_{Ar}). I disse beregningene ble det benyttet karbonsyrekonstanter fra Mehrbach *m fl.*, (1973), modifisert av Dickson og Millero (1987). pH er gitt i totalskala (pH_T), og konstanten for HSO_4^- fra Dickson (1990) og temperatur 25 °C er brukt i pH-beregningene. Kalsiumkonsentrasjonen ($[Ca^{2+}]$) ble antatt proporsjonal med saltholdighet (Mucci, 1983), og korrigert for trykk i følge Ingle (1975). NIVA måler pH og bruker CO2SYS (Pierrot *m fl.*, 2006) sammen med *in situ* temperatur og saltholdighet til å beregne *in situ* pH fra målt pH ved 25 °C. Konstantene er de samme som over.

Ved hjelp av CO2SYS ble pCO_2 beregnet som funksjon av T, S, pH_T og A_T , og ved hjelp av samme modell ble metningsgraden for kalsitt og aragonitt ($\Omega_{kalsitt}$ og $\Omega_{aragonitt}$) beregnet som funksjon av T, S, C_T og A_T .

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 2016 (**Figur 2a**). Snittet ligger i et område som er påvirket av innstrømmende varmt og salt Atlanterhavsvann (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 2016 (røde punkter). Se også Figur 1b (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 (red dots). See also Figure 1b (TH).

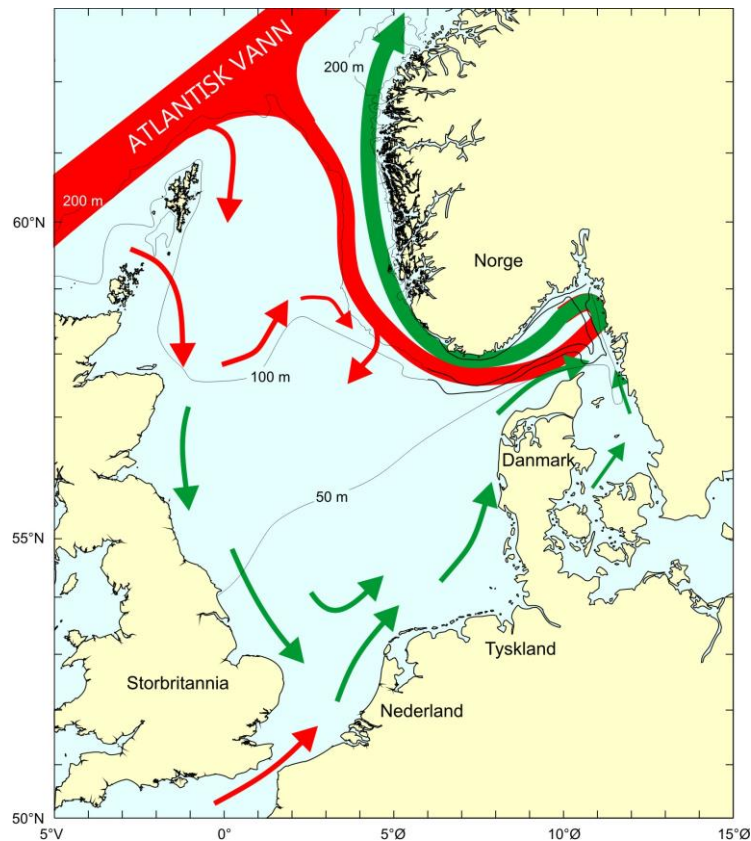


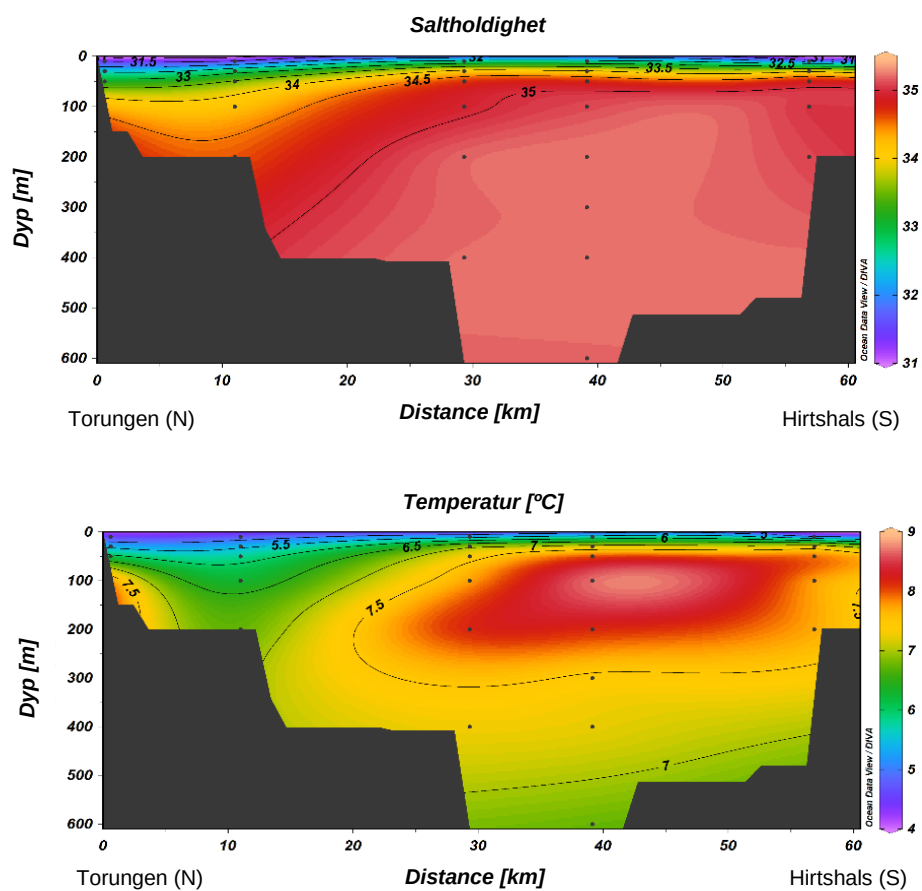
Figure 2b. Skjematisk kart over de viktigste transportveiene i Nordsjøen og Skagerrak. De røde pilene indikerer innstrømming av atlantisk vann, for det meste i 100-200 m dybde, mens de grønne pilene angir hovedretningene til sirkulasjon av kystvann, typisk beliggende i de øverste 20m (kart og tekst fra www.imr.no). Kyststrømmen får tilførsler fra Østersjøen.

Figure 2b. Overview map on major currents in the North Sea area; Atlantic water (red), coastal water (green arrows). The coastal water is also affected by additions from Baltic Sea water.

Fordelingen av saltholdighet og temperatur i vannsøylen i februar 2016 ligner på den i tidligere år der stasjonen nærmest kysten er preget av innblanding av relativt kaldere og ferskere overflatevann (**Figur 3**). Saltholdigheten økte gjennom vannkolonnen og Atlanterhavsvannet vises som en kjerne av høyere temperatur ($> 7,5^{\circ}\text{C}$) i vannlaget mellom 50-250 m dyp som strekker seg ut fra 20 km fra norske kysten. Under 500 m okkuperte kaldere vann de dypeste delene av seksjonen.

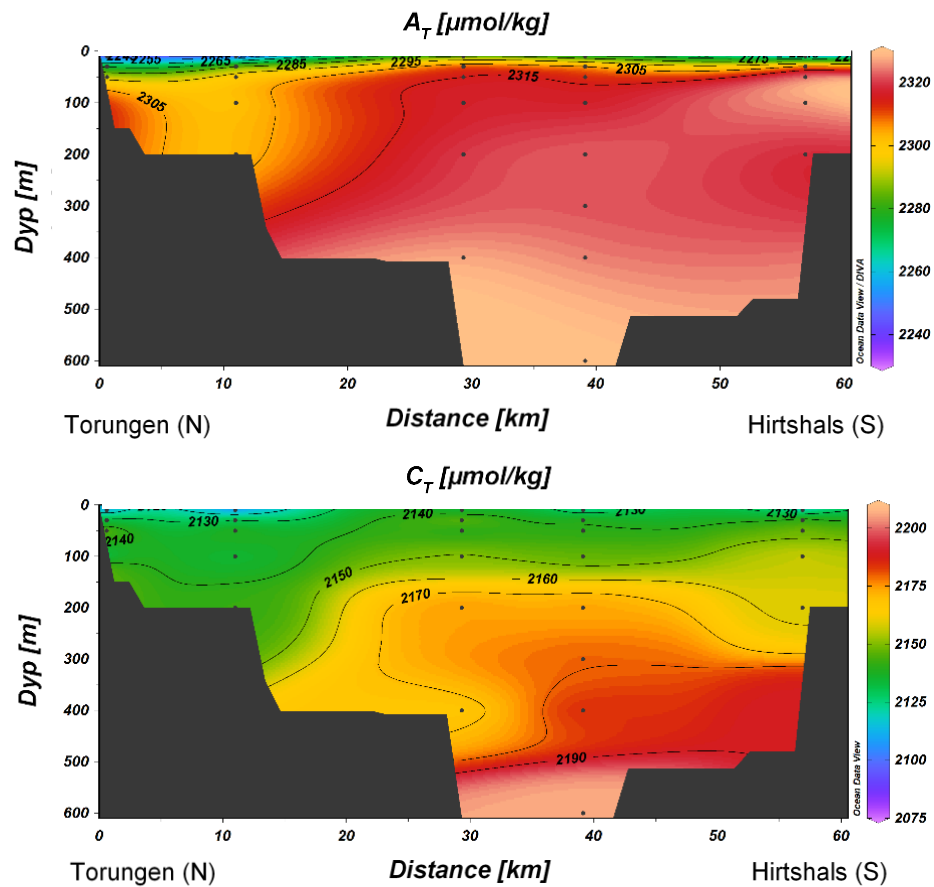
Høye A_T -verdier vises i det dypere vannet fra ca. 30 km fra kysten. Den høyeste A_T på $2331 \mu\text{mol kg}^{-1}$ og C_T på $2207 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ble funnet under Atlanterhavsvannet i den kalde, eldre vannmassen på 600 m dybde av vann som er resirkulert vann fra Arktis med høyere CO_2 innhold (**Figur 4**). C_T i Atlanterhavsvannmassen var mellom 2160 - $2170 \mu\text{mol kg}^{-1}$, i samsvar med 2014 og 2015-dataene. Overflatevannet er preget av lavere A_T (mindre enn $2250 \mu\text{mol kg}^{-1}$) og lavere C_T (mindre enn $2120 \mu\text{mol kg}^{-1}$) på grunn av påvirkning av ferskvann langs kyststrømmen (**Figur 4**).

I tillegg reduserte sesongbiologisk aktivitet C_T til laveste verdier under $2100 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Dette er samme situasjon som ble observert i 2015.



Figur 3. Februardata fra Torungen-Hirtshals 2016. Øvre panel: saltholdighet, nedre panel: temperatur (°C).

Figure 3. Salinity and temperature data from Torungen-Hirtshals from February 2016.

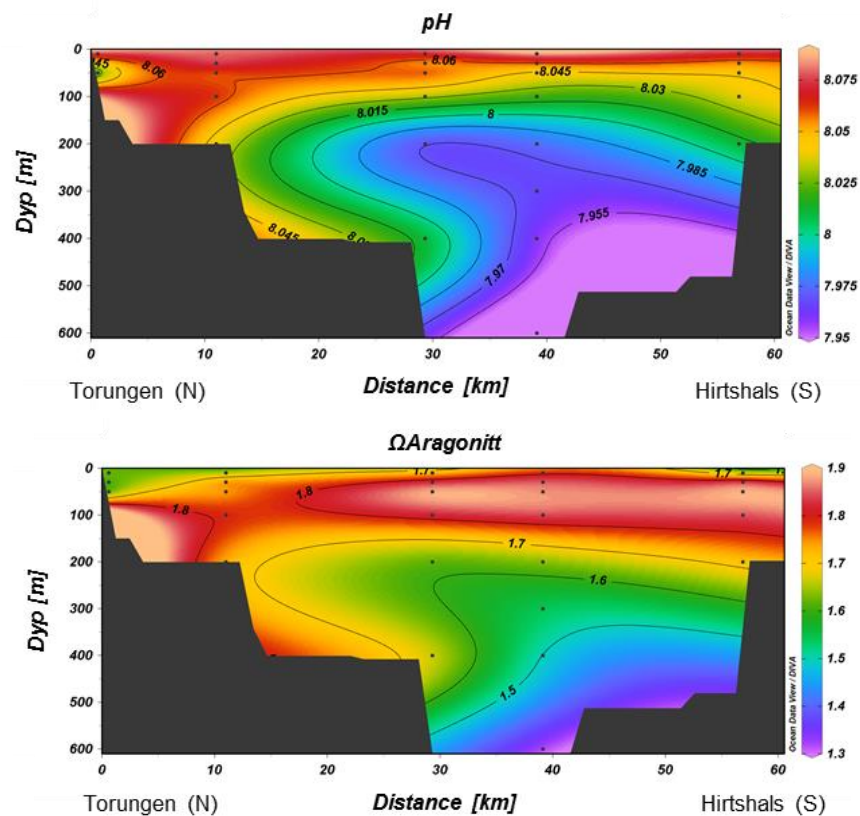


Figur 4. Februardata fra Torungen-Hirtshals. Øvre panel: total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$), nedre panel: totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$).

Figure 4. A_T and C_T data from Torungen-Hirtshals from February 2016.

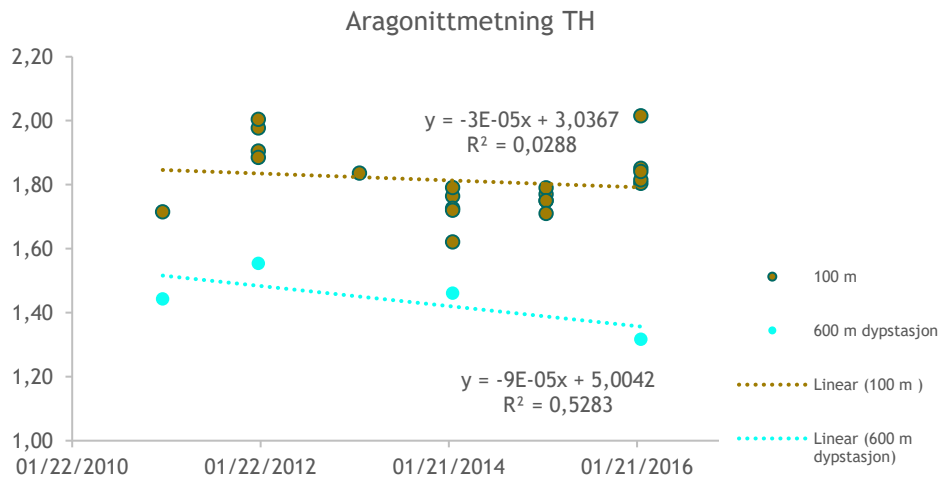
Høy pH ble funnet i de øvre 50 m med maksimumsverdier på $>8,080$ ved sentralstasjonen. Atlanterhavsvannet skiller seg ut med lavere pH utenfor 10 km fra den norske kysten (Figur 5a). Laveste pH på 7,917 ble funnet på 600 m dybde i de dypeste delene ved stasjoner i retning mot den danske kysten. Det er det laveste som har blitt målt på denne seksjonen siden 2012 og skyldes sannsynligvis innblanding av annet vann og høy CO_2 fra bakterie-respirasjon i dypvannet. Dette bekreftes av høye C_T - verdier (Figur 4) og næringssalter (Tabell 1). Det betyr at det også er her en finner den laveste metningsgraden av aragonitt ($\Omega_{\text{Aragonitt}}$) på 1,32 (Figur 5a). Vannet mellom 20-100 m dybde var overmettet med både kalsitt (ikke vist) og aragonitt, med maksimale verdier på opptil 2,02. Et unntak var 40 km sør for Torungen, hvor Ω_{Ar} var 1,79 i overflaten. Metningsgraden er redusert ved overflaten ved kyststasjonene i den nordlige og sørlige delen av seksjonen, noe som indikerer påvirkning av ferskvann. Metningsgraden i Atlanterhavsvannet var ca 1,70 og fulgte en avtagende vertikal gradient til minimumsverdier nær 1,32 ved 600 m dybde (Figur 5a). Denne fordeling var lik den i 2014 og 2015, men lavere enn i 2012.

I **Figur 5b** vises endringer i aragonittmetning langs snittet ved 100 meter og i dypvannet ved 600 m. Ved 100 vises ikke noen signifikant trend, men ved 600 m dyp ses en tendens til minkende aragonittmetning fra 2011 til 2016 på ca. 0,03 per år. Den nedgående trenden i dypvannet vises på 600 m i Figur 5b. Dette må undersøkes ytterligere og en lengre tidsserie vil vise hvilke prosesser som påvirker trender i kalkmetning. Den lavere kalkmetning i dypvannet er trolig på grunn av innstrømming av eldre dypvann fra Nordsjøen og en høyere anrikning av CO₂ fra nedbrytning av organisk materiale akkumulert i eldre vann.



Figur 5a. Februardata fra Torungen-Hirtshals. Øvre panel: pH, nedre panel: Ω Aragonitt metning.

Figure 5a. pH and aragonite saturation (Ω Aragonitt) data from Torungen-Hirtshals from February 2016.



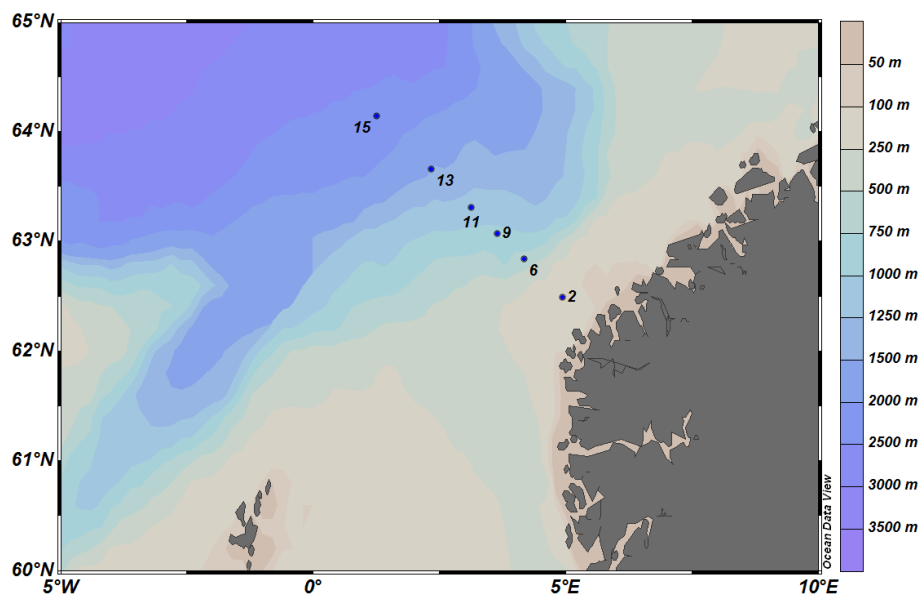
Figur 5b. Trender i aragonittmetning i perioden 2011 til 2016 ved 100 m (oransje) og 600 m (blå) dyp langs Torungen Hirtshals.

Figure 5b. Trends in aragonite saturation from 2011 to 2016 at 100 m (orange) and 600 m (blue) depth along Torungen Hirtshals. Note that the trend at 600 m is the average at the deepest station.

3.2 Vannsøyledata fra Svinøy-NV

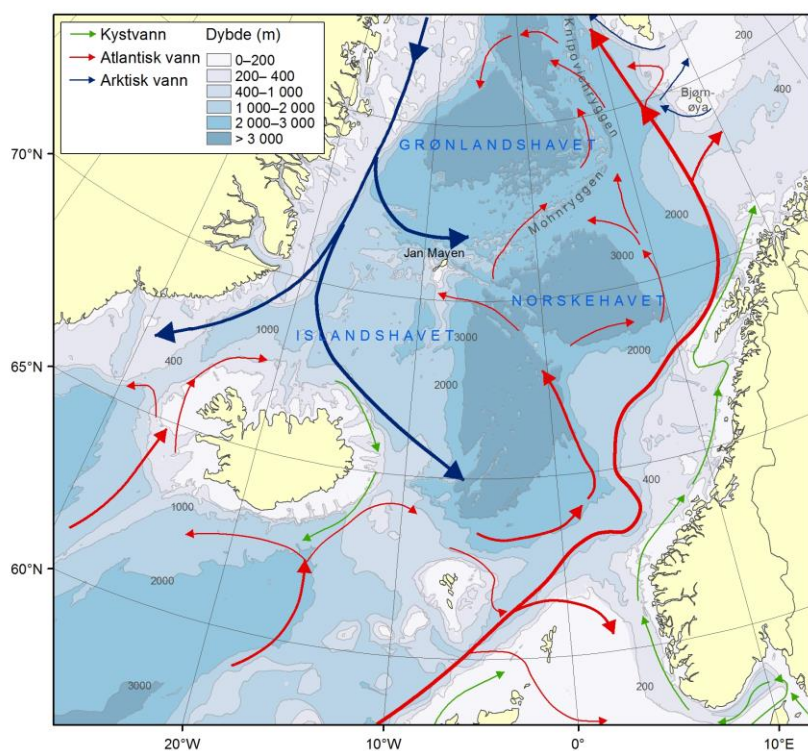
I 2016 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannkolonnen på vannprøver fra seks av de faste stasjonene i det hydrografiske snittet mellom Svinøy og 64°40'N, 1°26'Ø; Svinøy-NV. Prøvene ble hentet i januar av IMR (**Figur 6a**). I **Tabell 2a** i **Vedlegg A** finnes detaljer om posisjon, karbonatsystemdata og dyp.

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**). Atlanterhavsvannet avkjøles på vei nordover og tar opp mye antropogent CO₂. Dette snittet har hydrografisk historie tilbake til 1935.



Figur 6a. Kart og nummer over stasjoner på Svinøy-NV i januar 2016. Se også Figur 1 (SØ).

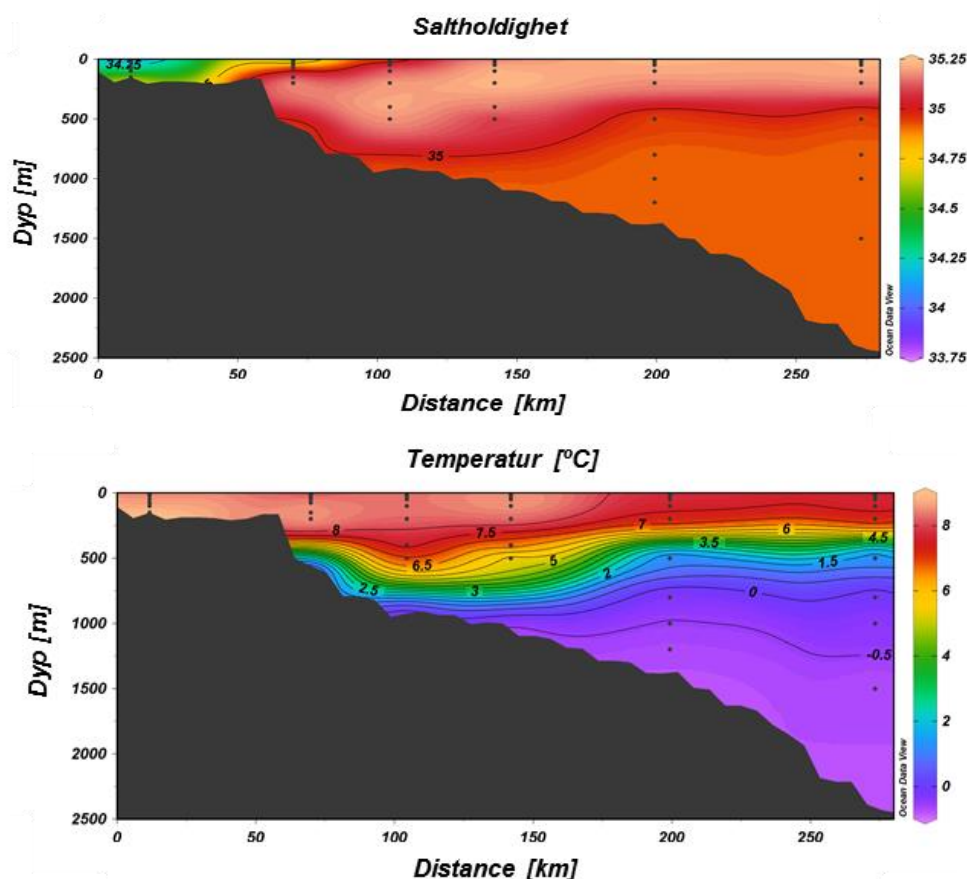
Figure 6a. Stations and station numbers from the transect in the Norwegian Sea along Svinøy-NW (blue dots) sampled in January 2016. See also Figure 1 (SØ).



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 temperaturer langs snittet. Det varme og salte Atlanterhavsvannet vises til ca. 400 m dybde langs hele snittet. Kyststasjonen er preget av relativt kaldere og ferskere overflatelag som er påvirket av den Norske kyststrømmen. Under det varme Atlantiske vann laget ligger den Arktiske vannmassen med betydelig lavere temperatur og saltholdighet. I overflaten ved kysten er det mer påvirket av ferskvann i 2016 sammenlignet med samme stasjon i 2015. Før øvrig er fordelingen langs seksjonen i 2016 er svært lik dem som ble observert i 2015.

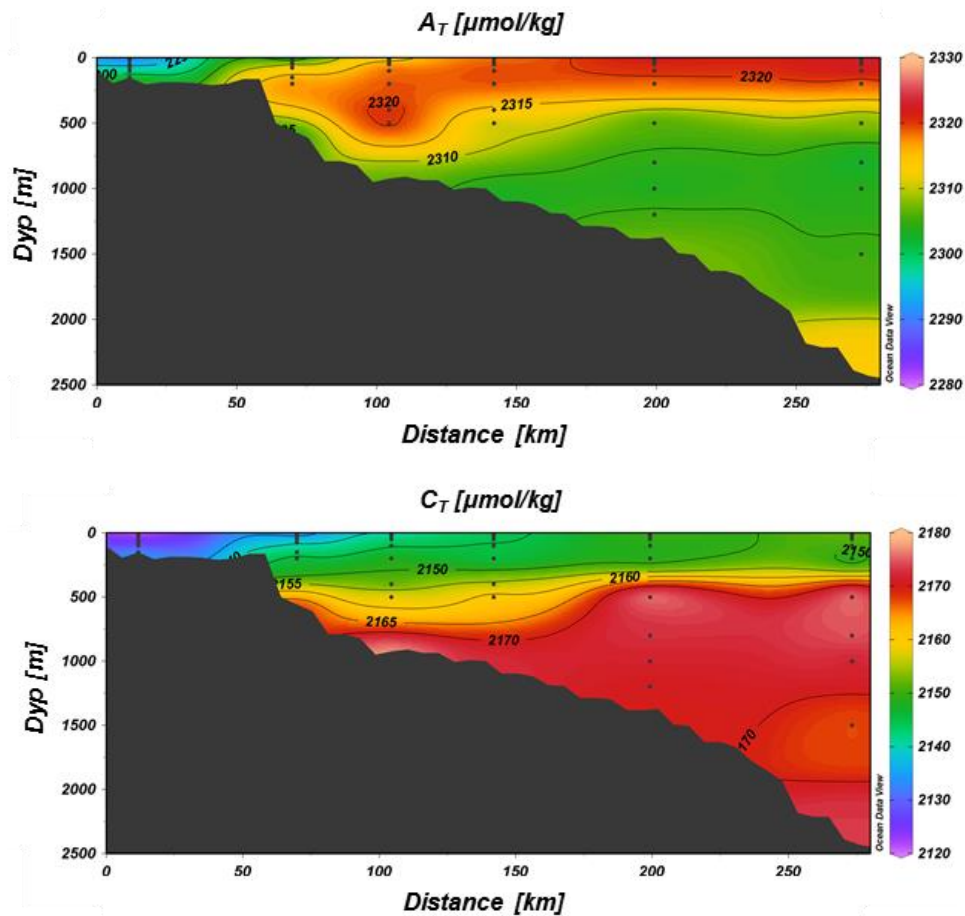


Figur 7. Data fra det faste snittet Svinøy-NV i januar 2016. Fra øverst til nederst: saltholdighet og temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

Figure 7. Salinity and temperature data from Svinøy-NW from January 2016.

Fordelingen av A_T og C_T viser lave verdier ved kysten, og er typisk for kyststrømmen som strekker seg til ca. 50 km fra kysten (**Figur 8**). Fra ca. 50 km fra kysten vises høyere A_T på 2315-2325 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, som strekker seg over hele snittet fra overflaten til rundt 400 m dybde. Dette representerer kjernen i Atlanterhavsvannet. Under Atlanterhavsvannet vises det ferskere og kaldere arktiske vannet, som preges av lavere A_T (2300-2308 $\mu\text{mol kg}^{-1}$). De øvre vannlagene er preget av lavere C_T (fra 2120 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ ved kysten og 2150 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i lengst ut i åpent hav). Samme situasjon observeres i 2015 og viser lav mellomårlig variasjon i 2015 og 2016 for de fleste stasjoner på snittet (**Figur 8**). Lengst ut fra kysten på 500-1000 m dybde vises høye C_T

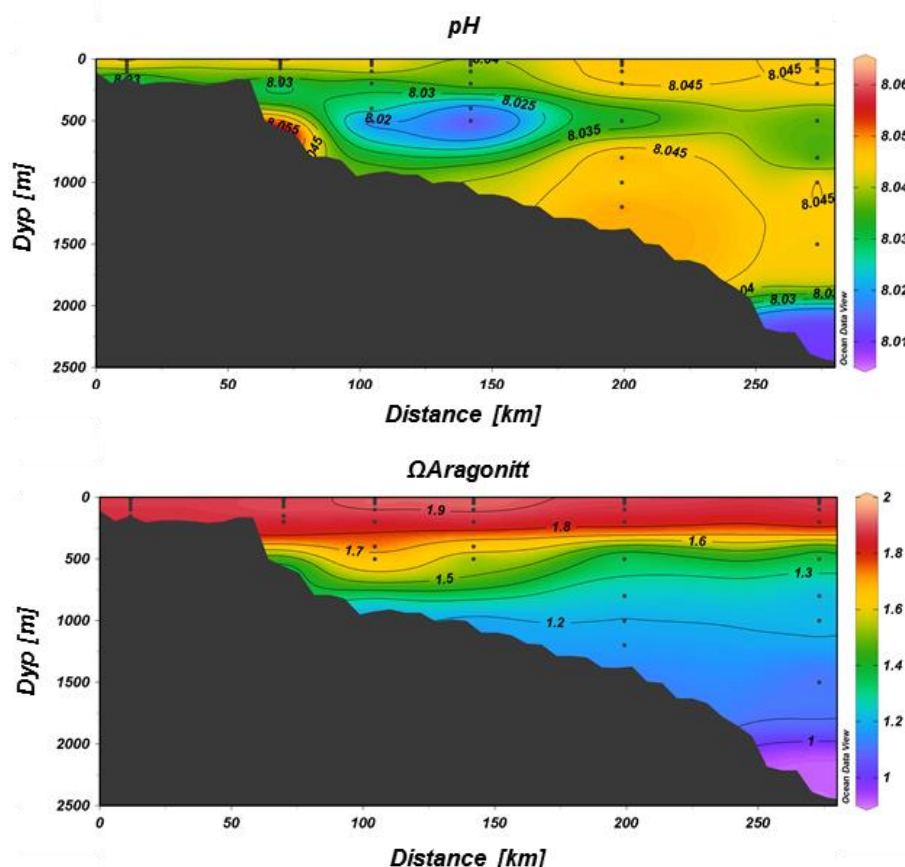
konsentrasjoner som overstiger $2170 \mu\text{mol kg}^{-1}$ og er på grunn av de Arktiske vannmassene. I de øvre vannlagene ved denne stasjonen i 2015 var A_T og C_T verdiene mer påvirket av Arktiske vannmasser sammenlignet med i 2014 (Chierici m fl., 2015) og i 2016, som var mer preget av Atlanterhavsvannet.



Figur 8. Januardata fra det faste snittet Svinøy-NV i 2016. Fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) og totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$).

Figure 8. A_T and C_T data in January 2016 along Svinøy-NW.

pH viste liten variasjon i øvre vannlagene med verdier på ca 8,04-8,05 i hele seksjonen og samme verdier ved 750-2000 m dybde fra 150-250 km fra kysten (**Figur 9**). Områder med lav pH ~ 8,02 fantes ved ca 500 m dybde i den sentrale delen av seksjonen og på det dypeste punktet lengst offshore. Metningsgraden for aragonitt varierte fra høyeste verdier på overflaten >2 til laveste i de dypeste delene av seksjonen der undermetning av aragonitt (<1) observeres (**Figur 9**). I de øvre 400 m av vannkolonnen var aragonittmetningen $\Omega_{Ar} > 1,8$, og dypere enn dette avtok aragonittmetningen gradvis til metningshorisonten ($\Omega_{Ar}=1$) på rundt 2000 m. Vann dypere enn 2000 m var undermettet med hensyn til aragonitt ($\Omega_{Ar} < 1,0$) med laveste verdier på 0,91 (**Figur 9**). Denne fordelingen var svært lik den i 2015. På 1500 m ved stasjonen lengst vest var Ω_{Ar} omkring 1,11 i 2016, som er litt høyere enn i 2015 og 2014, da verdien var 1,08 på dette dypet. Undermetning ($\Omega_{Ar} < 1$) ses ved ca. 2000 m dyp og er omtrent det samme dypet der undermetning er blitt påvist siden 2012 (Chierici m fl., 2013; 2014;2015; 2016).



Figur 9. pH in situ (øvre panel) og aragonittmetning (nedre panel) i januar 2016 langs det faste snittet Svinøy-NV.

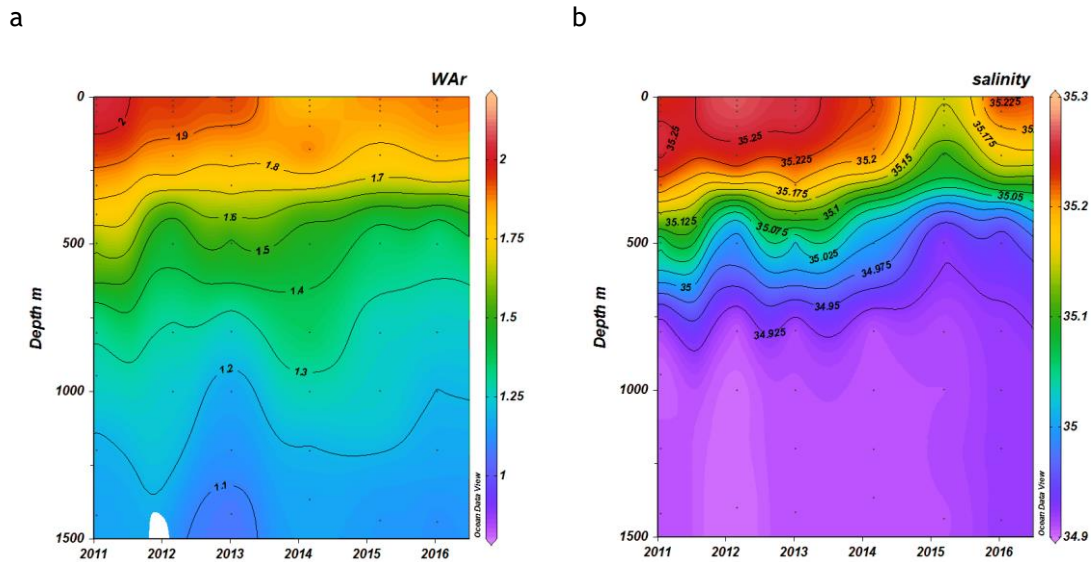
Figure 9. pH in situ and aragonite saturation in January 2016 along Svinøy-NW.

3.2.1 Mellomårlig variasjon på Svinøy-NV

Figur 10 viser tidsserier for aragonittmetning for stasjoner langs Svinøy-snittet ved 2°Ø og 1°Ø som ble målt om vinteren hvert år fra 2011. Dataene viser mellomårsvariasjoner knyttet til variasjonene i nærvær av kaldt og mindre salt Arktisk vann på disse stedene. Ω_{Ar} på 1000 m på begge steder er mer variabel, kanskje på grunn av samspill mellom det Arktiske vannet med det overliggende varme og saltere Atlanterhavsvannet. Dette gjelder også for distribusjon av Ω_{Ar} over tid på 1500 m ved 2°Ø, som ligger nært maksimalt vanddyb, og dermed sannsynligvis opplever økt topografisk blanding av vannmassene. I 2016 fortsetter reduksjonen i metningsgrad som begynte i 2014, men dette er innenfor usikkerheter i beregningen av metningen og må følges nøye opp videre for å bekrefte eller avkrefte trenden. Aragonittmetning på 1500 m ved 1°Ø, som er den vestligste stasjonen, viser en generell reduksjon fra 2011 til 2014, etterfulgt av en økende trend identifisert i 2015, som fortsetter i 2016. Generelt vises svært små endringer og disse 6 årene er ikke tilstrekkelig for å verifisere trender.

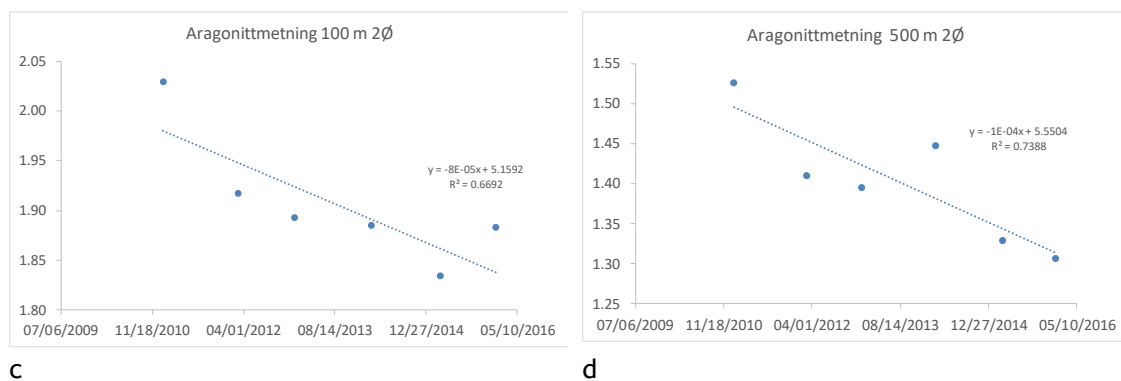
Seks års (2011-2016) middelerverdi av aragonittmetning på alle dyp mellom 0 og 500 m er på $1,82 \pm 0,16$ som er betydelig lavere enn fem årsmiddelerverdien (2011-2015) på $1,94 \pm 0,07$ (Chierici m fl., 2016). Vi ser også en indikasjon på at Ω_{Ar} i de øvre 750 meterne er flyttet seg oppover i

vannkolonnen og f.eks. at dypet med $\Omega_{Ar}=1,6$ har gått fra ca. 500 m i 2011 til ca. 380 m i 2015 og samme i 2016 (**Figur 10a**). Trenden med lavere saltholdighet i øvre 750 m som fantes i 2014 og 2015 vises også i 2016 (**Figur 10b**). Det er sannsynlig at den generelle trenden med synkende aragonittmetning skyldes ferskere vann i overflata ned til 750 m dyp sammenlignet med 2011 (**Figur 10b**). Det vises tydeligst ved 2°Ø ved der metningen minker ved 100 m og 500 m med ca. 0,15 og 0,2 fra 2011 til 2016 (**Figur 10c og 10d**). Ved 1500 m dyp ses ingen signifikant endring i saltholdigheten disse seks årene. I 2012 og 2013 ved 1500 m (bunn) vises litt lavere Ω_{Ar} sannsynligvis på grunn av tilførsel av vann fra dypere lag lenger nordvest.



Figur 10. Fem års vinterdata fra 2011 til 2016 i vannkolonnen ved 1°Ø og 2°Ø langs Svinøy-NV, a) aragonittmetning (Ω_{Ar}), b) saltholdighet.

Figure 10. Interannual variability in the water column based on winter data from the water column at 1°E and 2°E along Svinøy-NW section from 2011 to 2016: a) aragonite saturation, b) salinity.



Figur 10. (fortsettelse) viser aragonittmetningstrenden ved 100 m (c) og 500 m (d) dyp ved stasjon 2Ø langs Svinøy-snittet i perioden 2011 til 2016.

Figure 10. (continue) The trend in aragonite saturation at 100 m (c) and 500 m (d) depth at station 2Ø in Svinøy transect.

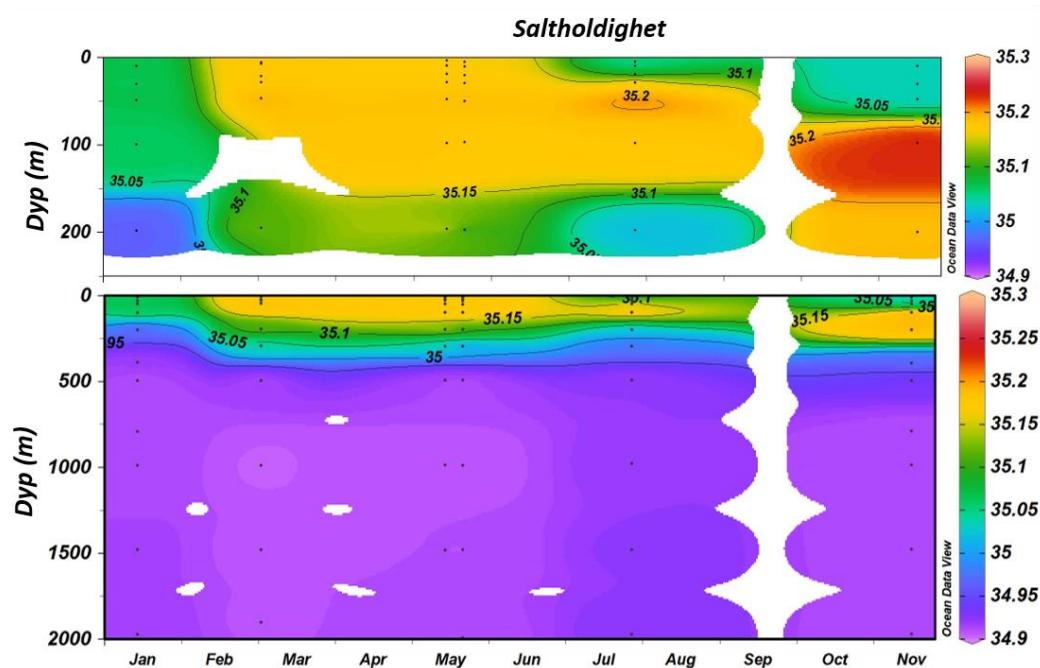
3.3 Vannsøylen på Stasjon M

I Norskehavet, mellom Svinøysnittet og Gimsøysnittet, ligger værstasjon M med posisjon 66°N 2°E (se **Figur 1**). Hydrografiske data fra denne stasjonen ble samlet inn helt fra starten i 1948, og i 2001 startet målinger av karbonatkjemien i vannsøylen. På seks tokt fordelt over året 2016 har UNI samlet inn diskrete prøver mellom overflata og 2000 m dyp, og prøvene er analysert for C_T og A_T . I tillegg er kontinuerlige målinger av pCO_2 og pH gjort fra en overflatebøye og en dypvannsrigg ved Stasjon M. Dessverre mistet vi dypvannsriggen i april i 2016 og dermed fins ingen kontinuerlige karbonatsystem data fra blandingslaget ved stasjonen fra juni 2015 til mars 2016, men her viser vi kontinuerlige målinger fra blandingslaget i perioden 2013 til 2015.

Diskrete og kontinuerlige målinger fra samme stasjon gir supplerende informasjon, og mens de diskrete prøvene fra stasjon M gir et bilde på hvordan karbonatsystemet i hele vannsøylen varierer mellom årstider så vil de kontinuerlige prøvene fortelle om variasjoner på en mye mindre tidsskala (døgn) på noen utvalgte dyp. På Stasjon M skjer den kontinuerlige målinga i overflatevann og på 150 m dyp. **Tabell 2b** i **Vedlegg A** viser dato, dyp, stasjonsnummer og data.

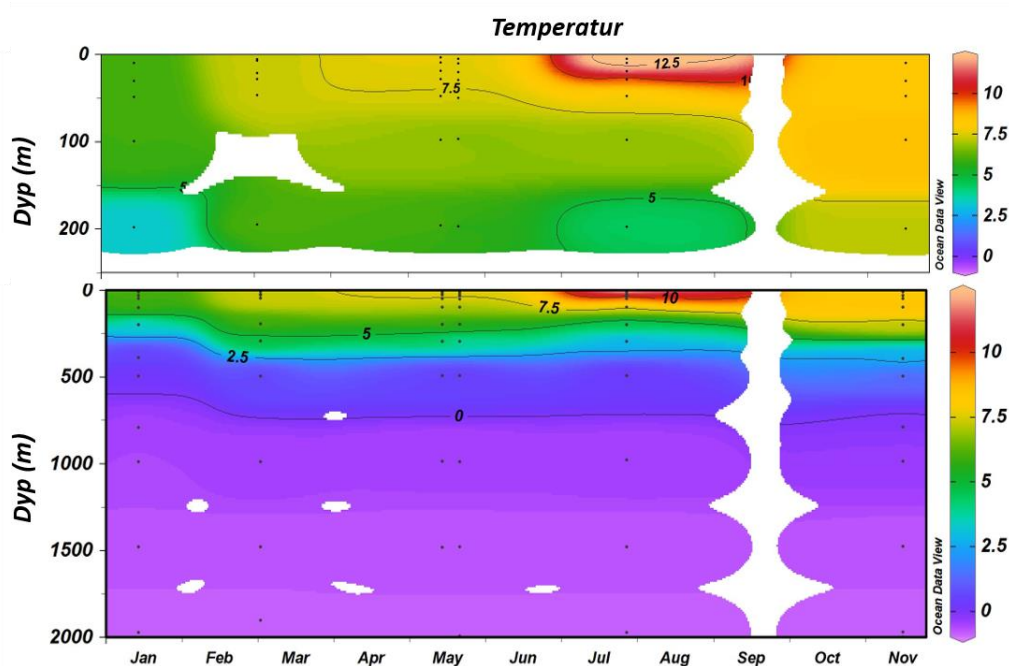
3.3.1 Vannprøvemålinger

I 2016 ble karbonatsystemet i vannsøylen på Stasjon M ble målt i januar, mars, mai (to ganger), juli og november. Hver gang ble 12 vannprøver samlet inn fra dyp fordelt over hele vannsøylen (0 til 2000 m dyp). Salt og temperatur i vannsøylen ved Stasjon M påvirkes av den norske Atlanterhavsstrømmen som flyter nordover langs kysten av Norge (**Figur 11 og 12**), og ved stasjonen har det atlantiske strømmen en tykkelse på 300-500 m. Som tidligere år måler vi også i 2016 vintertemperaturer i overflata på rundt 6°C, mens temperaturen seint i juli er over 13°C. I 2016 startet oppblomstringen i april og dette ses som en reduksjon i C_T -konsentrasjonen og en økning i pH og Ω_{Ar} i de øvre vannlagene (**Figur 14, 15 og 16**). Biologisk produksjon og i noen grad blanding av omliggende vannmasser driver sesongendringene i de øverste 100-150 meterne på stasjonen. Under den norske Atlanterhavsstrømmen finner vi det intermediære vannet (ca. 500 til 1000 m dyp), og her ses ingen sesongvariasjoner. Endringer gjennom året i dette vannlaget er knyttet til blanding av vannmasser og dette skjer med varierende frekvens og uten faste mønster. Dypere enn ca. 1000-1200 m er Norskebassenget fylt opp av kaldt og relativt ferskt vann og endringer her skjer svært langsomt, men har absolutt vært påvist (Skjelvan *m. fl.*, 2008; Skjelvan *m. fl.*, 2014). I det dype vannet på Stasjon M er temperaturen rundt -0,78°C, saltinnholdet ca. 34,91, og A_T , C_T , pH og Ω_{Ar} -verdier er henholdsvis 2300 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 2166 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 8,01 og 0,97. Metningshorisonten i 2016 ligger stabilt på ca. 1700 m dyp (**Figur 16**), som er noe grunnere enn tidligere rapportert. I 2016 finner vi følgende verdier i overflata: C_T , pH og aragonittmetning på henholdsvis 2146 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 8,07 og 1,91 om vinteren, og ca. 2059 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 8,14 og 2,73 om sommeren.



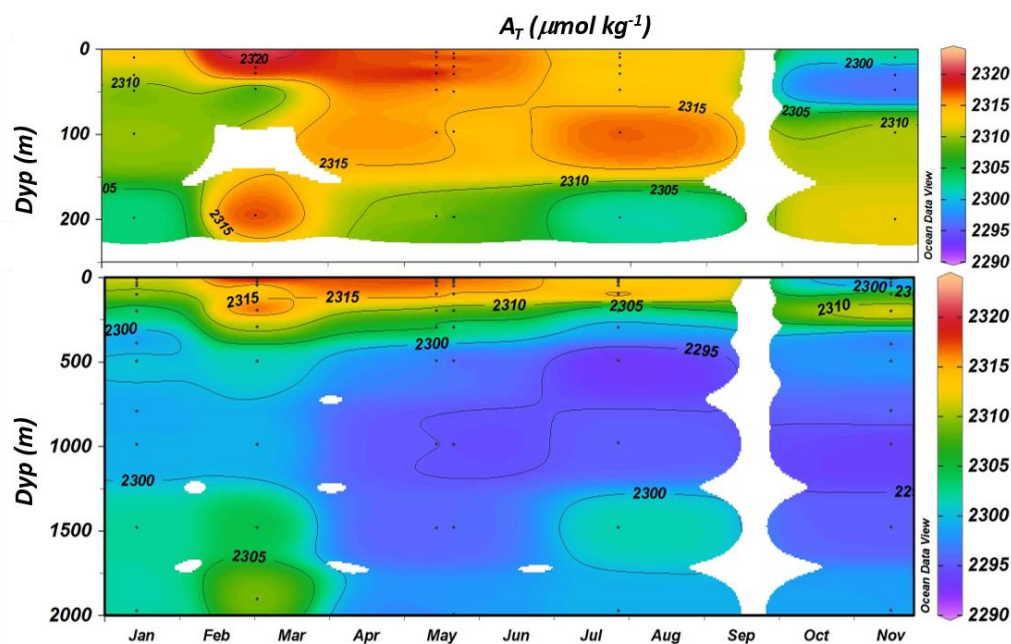
Figur 11. Saltinnhold på Stasjon M i 2016. Svarte prikker viser prøvedyp.

Figure 11. Salinity at Station M during the year 2016. Black dots indicate the depths of the samples.



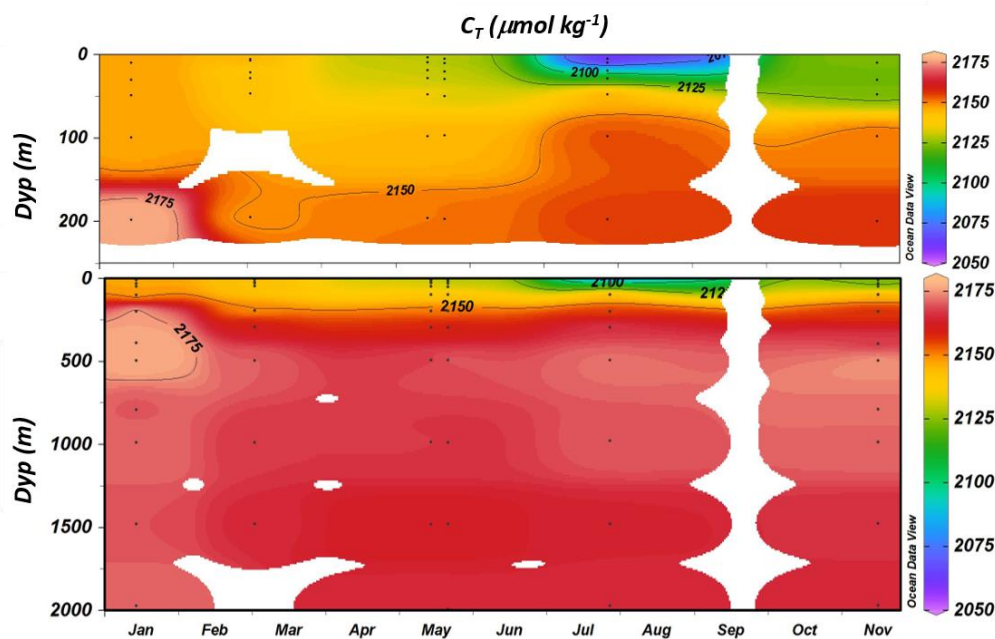
Figur 12. Temperatur (°C) på Stasjon M gjennom året 2016. Svarte prikker viser prøvedyp.

Figure 12. Temperature (°C) at Station M through the year 2016. Black dots indicate the depths of the samples.



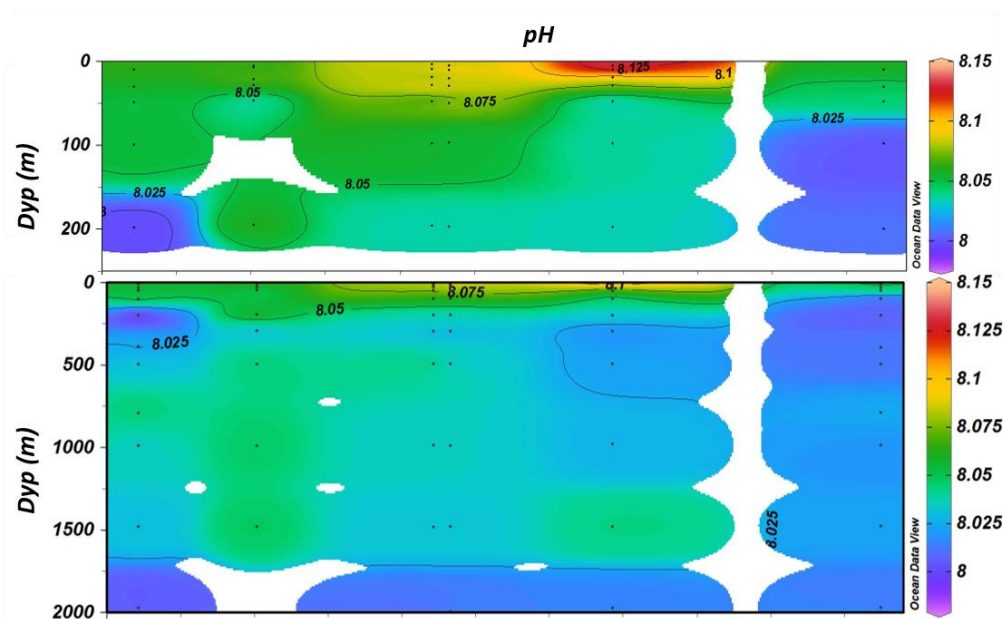
Figur 13. Innhold av total alkalinitet (A_T ; $\mu\text{mol kg}^{-1}$) på Stasjon M gjennom året 2016. Svarte prikker viser prøvedyp.

Figure 13. A_T at Station M through the year 2016. Black dots indicate the depths of the samples.



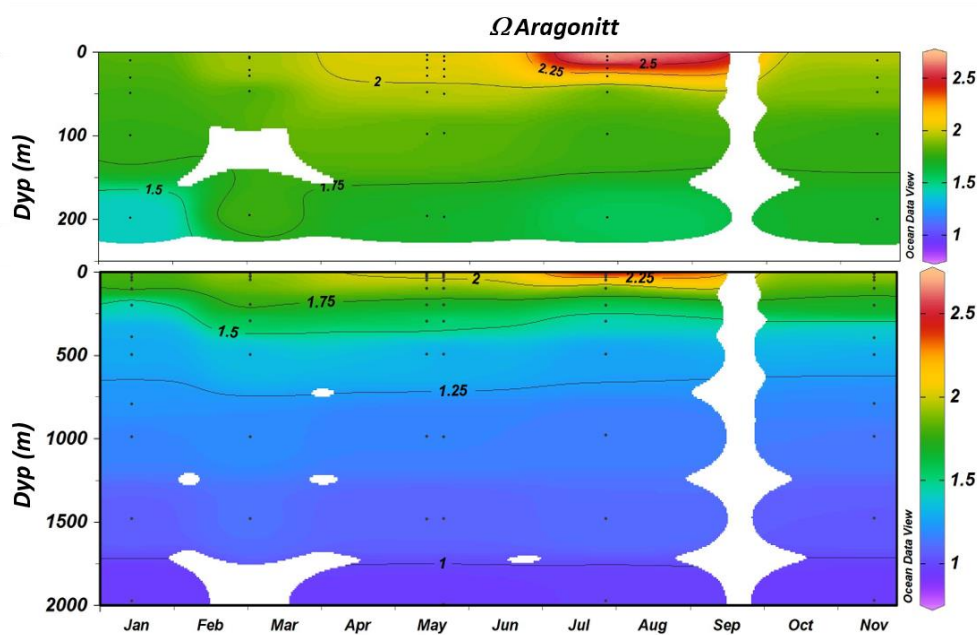
Figur 14. Innhold av totalt uorganisk karbon (C_T ; $\mu\text{mol kg}^{-1}$) på Stasjon M gjennom året 2016. Svarte prikker viser prøvedyp.

Figure 14. C_T at Station M through the year 2016. Black dots indicate the depths of the samples.



Figur 15. pH in situ på Stasjon M gjennom året 2016. Svarte prikker viser prøvedyp.

Figure 15. pH in situ at Station M through the year 2016. Black dots indicate the depths of the samples.

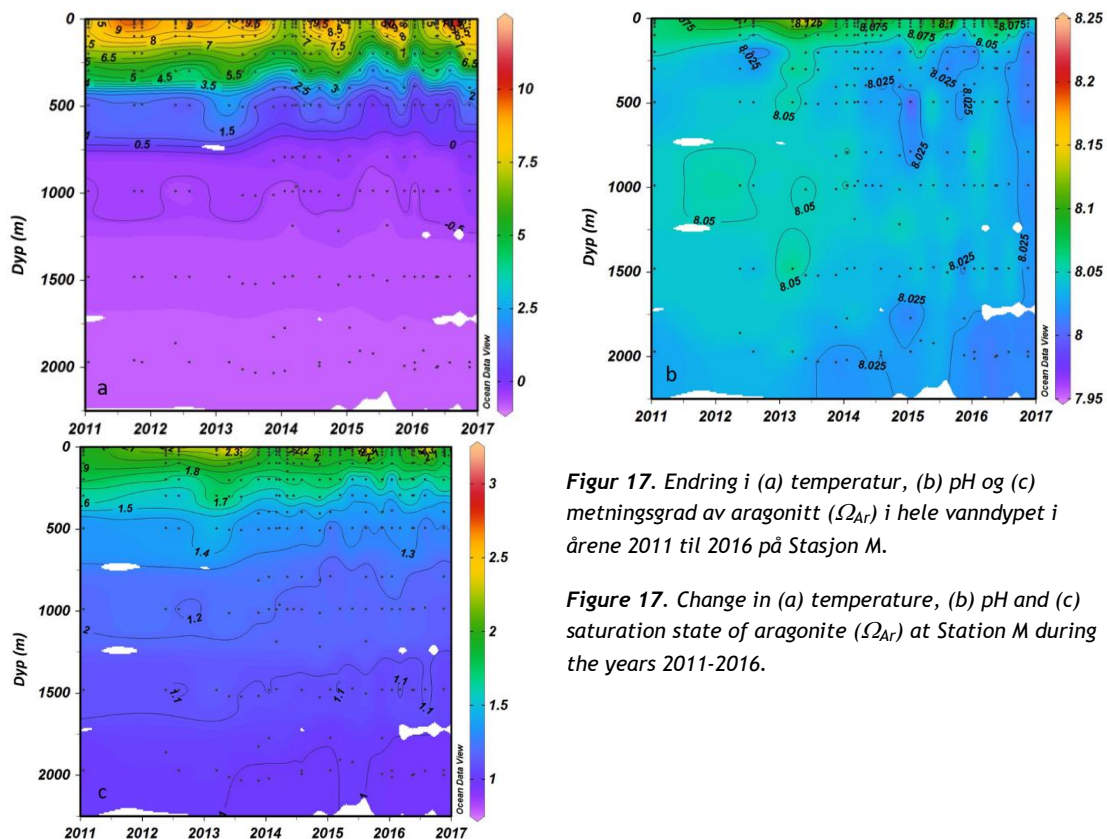


Figur 16. Metningsgrad av aragonitt (Ω_{Ar}) på Stasjon M gjennom året 2016. Svarte prikker viser prøvedyp.

Figure 16. Saturation of aragonite at Station M through the year 2016. Black dots indicate the depths of the samples.

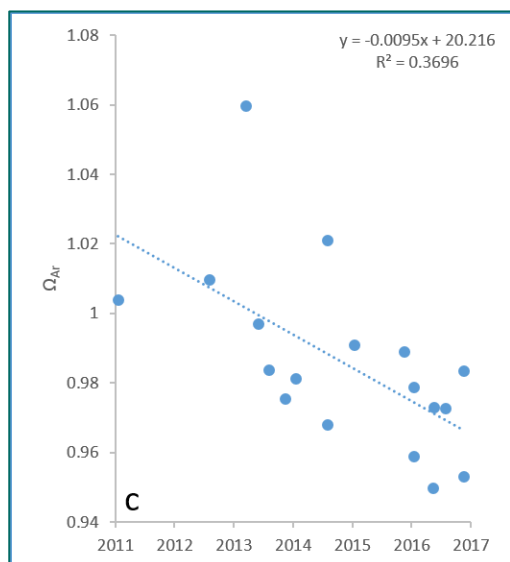
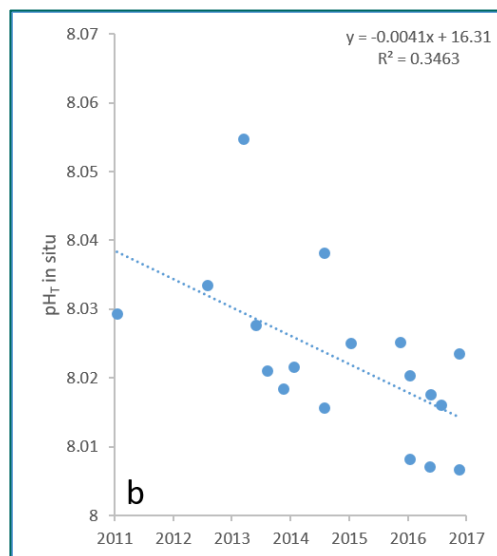
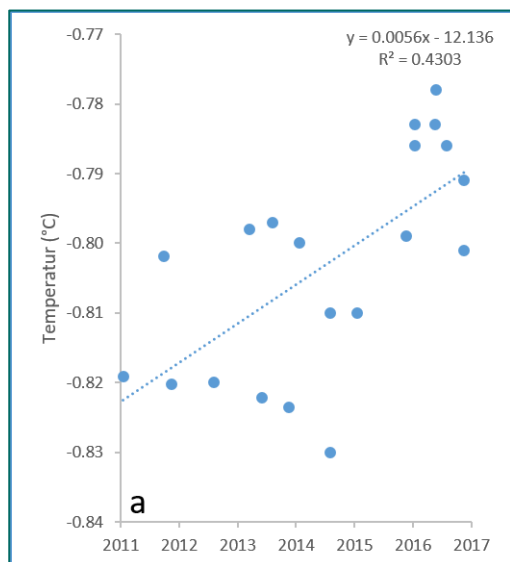
3.3.2 Tidsserier i overflate og dypvann

Vi har sammenlignet verdier fra flere år på Stasjon M og **Figur 17** viser hvordan temperatur, pH og Ω_{Ar} endres i hele vannlaget i perioden 2011 til 2016. I øverste vannlag ses sesongvariasjonene som er store mellom vinter og sommer. I det dype vannlaget ses en gradvis endring mot surere vann der Ω_{Ar} også avtar. Vi har først fokusert på det dypeste vannet på Stasjon M (1950-2100 m dypt) og **Figur 18** viser utviklingen over år i dette vannlaget. Midlere temperatur i dypvannet har økt med ca. $0,03^{\circ}\text{C}$ i denne 5-årsperioden, og dette er i tråd med tidligere målinger som viser en temperaturøkning på $0,14$ - $0,16^{\circ}\text{C}$ fra midten på 80-tallet og fram til i dag. En forklaring på dette finner vi i den reduserte dypvannsdannelsen i Grønlandshavet og påfølgende endring i vannsirkulasjonen mellom det dype Arktis og det dype Norske- og Grønlandshavet. Det dype vannlaget har hvert år blitt $0,0041$ pH-enheter surere og metningsgraden for aragonitt (Ω_{Ar}) har avtatt med $0,0095$ pr år. Disse trendene er høyere enn tidligere beregninger fra Skjelvan *m. fl.* (2014), der trender over perioden 1981 til 2013 ble regnet ut for ulike deler av de Nordiske hav. Årsaken til de høye trendverdiene er trolig at her undersøkes bare området rundt Stasjon M, mens i Skjelvan *m. fl.* (2014) ble et mye større område undersøkt. Resultatene er et godt eksempel på at lange tidsserier er ekstremt viktig for å kunne kvantifisere den pågående havforsuringstrenden.



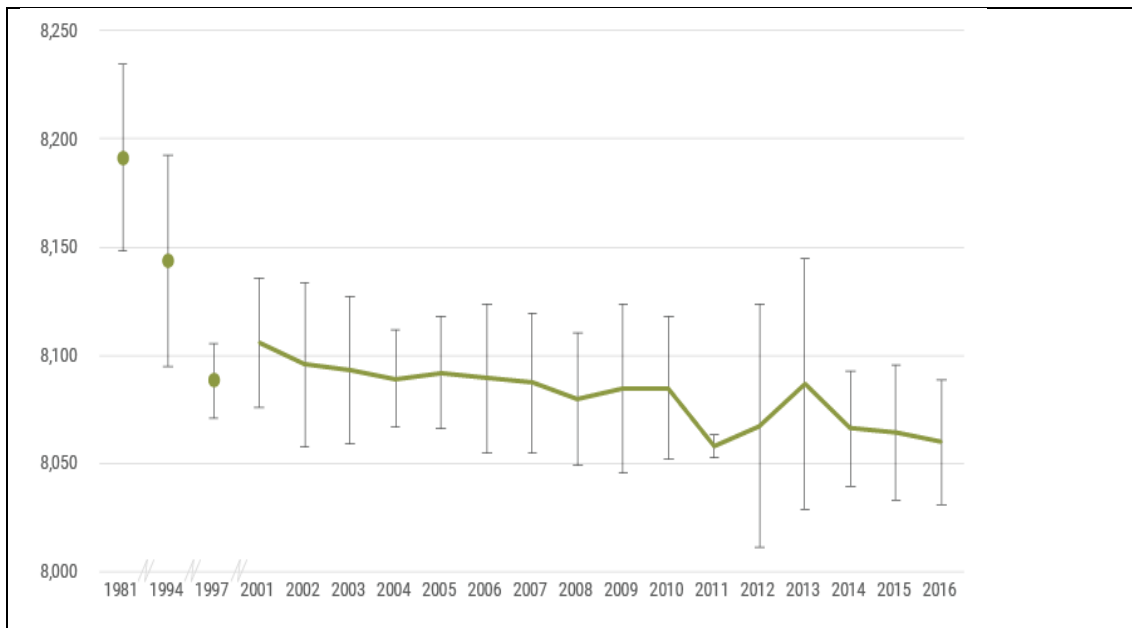
Figur 17. Endring i (a) temperatur, (b) pH og (c) metningsgrad av aragonitt (Ω_{Ar}) i hele vannlaget i årene 2011 til 2016 på Stasjon M.

Figure 17. Change in (a) temperature, (b) pH and (c) saturation state of aragonite (Ω_{Ar}) at Station M during the years 2011-2016.



Figur 18. Endring i (a) temperatur, (b) pH og (c) metningsgrad av aragonitt (Ω_{Ar}) i vanddyptet 1950-2100 m over årene 2011 til 2016 på Stasjon M.

Figure 18. Change in (a) temperature, (b) pH and (c) saturation state of aragonite (Ω_{Ar}) in the deep water at Station M during the years 2011-2016.



Figur 19. pH i Norskebassenget over tidsperioden 1891 til 2016. Merk at tidsaksen har et brudd mellom 1891 og 2001. pH-verdiene er årsmidler, og de vertikale stolpene viser standardavvikene. Data er fra de øverste 200 m og har følgende kilder: Skjelvan m fl., 2014, Chierici m fl., 2015; 2016; 2017, og kommunikasjon med Ingunn Skjelvan.

Figur 19. pH in the Norwegian Basin over the years 1891 to 2016. Note that the x-axis is not linear between 1891 and 2001. The pH values are annual averages and the vertical lines show the standard deviation. The data are from the upper 200 m (Skjelvan et al., 2014, Chierici et al., 2015; 2016; 2017, and Ingunn Skjelvan, personal communication).

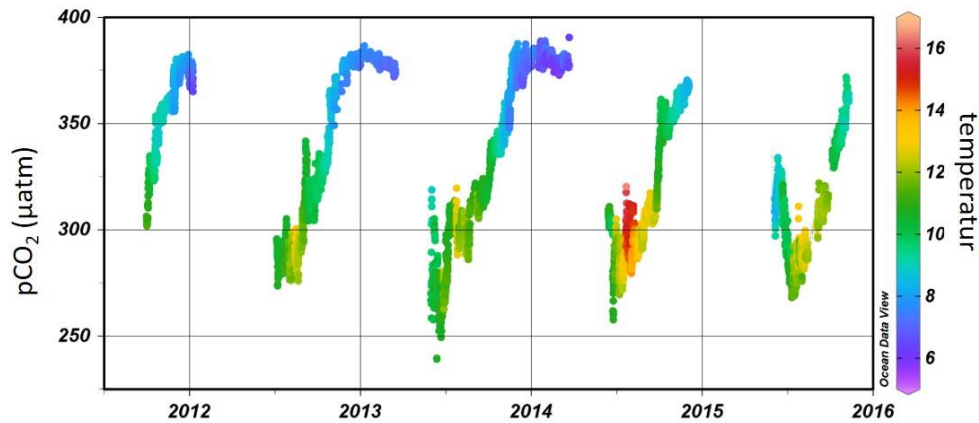
Målingene fra 2016 er satt inn i en større sammenheng, og vi har tatt utgangspunkt i en trendanalyse der data fra Norskebassenget i årene 1891 til 2013 ble brukt (Skjelvan m fl., 2014). Denne dataserien er utvidet med nye sesongmålinger fra Stasjon M og vintermålinger fra ytterste Svinøy-NV-stasjon. **Figur 19** viser at pH i de øverste 200 m har minnet med mer enn 0,13 pH-enheter over tidsperioden på 35 år.

3.3.3 Kontinuerlige målinger

UNI og IMR har plassert ei bøy med ulik instrumentering på Stasjon M og den måler kontinuerlig temperatur, salt, oksygen og CO₂-trykk (pCO₂) i overflatevann (ca. 2 m dyp) ved stasjonen. I tillegg måler den CO₂-trykk i atmosfæren. Stasjon M er plassert på et værhardt sted og vi har gjentatte ganger opplevd problemer med måleinstrumenter som bryter sammen p.g.a. ytre påvirkninger som slag fra ekstrembølger eller sterk vind. Det viste seg at data fra januar til mars 2016 er dårlige, og siden resten av 2016-dataene ikke er tilgjengelige før etter juni 2017 så velger vi her å sette de eksisterende data inn i en større sammenheng og presenterer data fra 2011 til 2015. Merk at siden vedlikehold av måleinstrumentene er blitt gjort på vårparten hvert år, så mangler data fra denne delen av året.

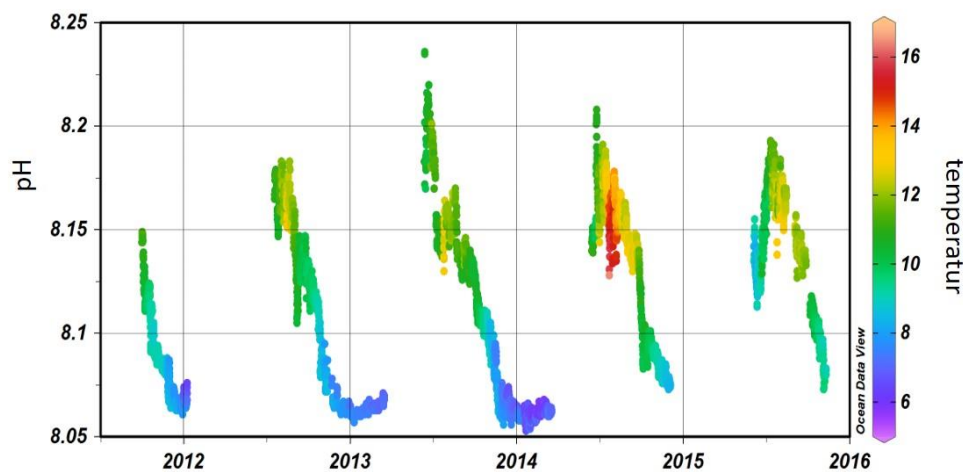
Figur 20a viser hvordan pCO₂ i havoverflata ved Stasjon M varierer fra oktober 2011 til november 2015, og de store sesongvariasjonene (ca. 130 µatm) dominerer bildet, med høy pCO₂ og lave temperaturer om vinteren og lav pCO₂ og høye temperaturer om sommeren. Variasjoner

fra år til år (trender) ses lettest når man sammenligner vinterverdier og dermed unngår den biologisk aktive delen av året, og vinterverdiene av $p\text{CO}_2$ (2012-2014) viser en gradvis økning ettersom årene går. Dette henger sammen med at stadig mer CO_2 fra atmosfæren blir absorbert i havet. Tilsvarende trender ses i årene 2012-2014 for pH (*Figur 20b*) og Ω_{Ar} (*Figur 20c*), som gradvis blir lavere.



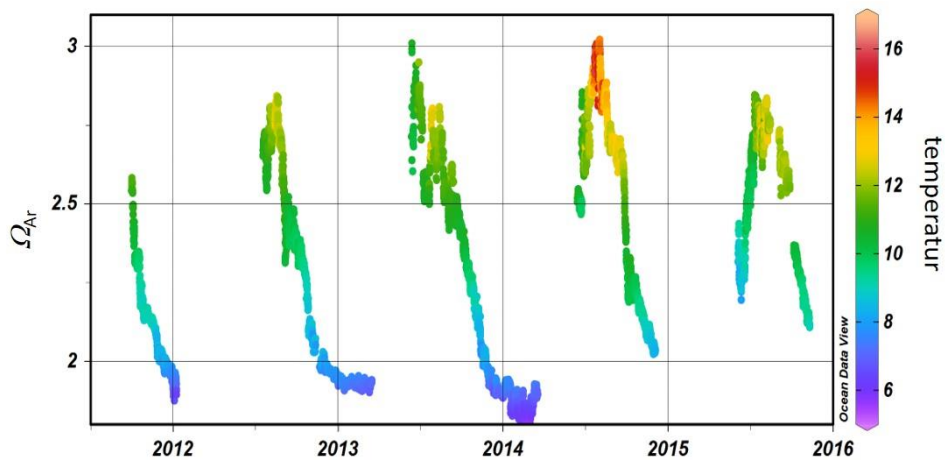
Figur 20a. $p\text{CO}_2$ i havoverflata på Stasjon M fra høsten 2011 til høsten 2015. Fargeskala viser temperatur.

Figure 20a. $p\text{CO}_2$ in the sea surface at Station M between fall 2011 and fall 2015. The colour scale indicates temperature.



Figur 20b. pH i havoverflata på Stasjon M fra høsten 2011 til høsten 2015. Fargeskala viser temperatur.

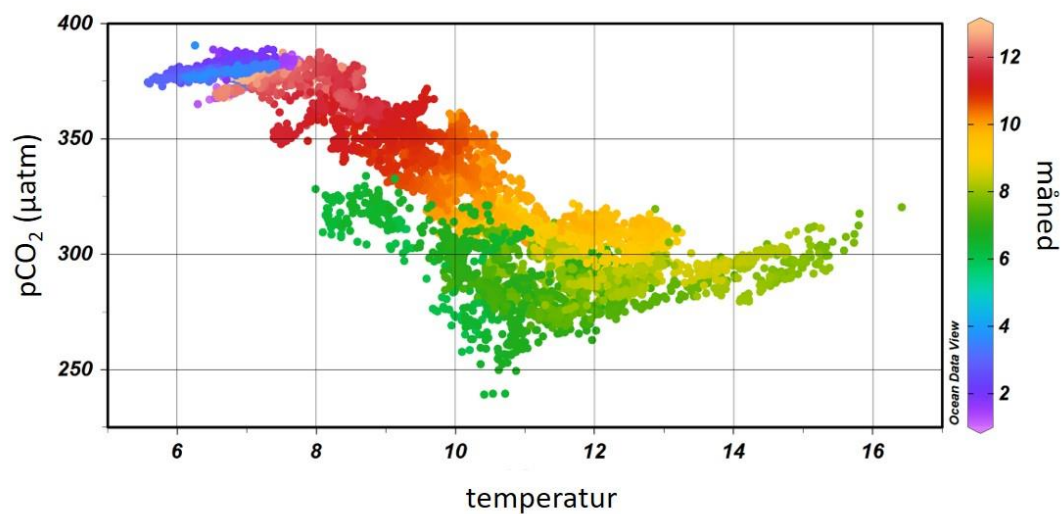
Figure 20b. pH in the sea surface at Station M between fall 2011 and fall 2015. The colour scale indicates temperature.



Figur 20c. Ω_{Ar} i havoverflata på Stasjon M fra høsten 2011 til høsten 2015. Fargeskala viser temperatur.

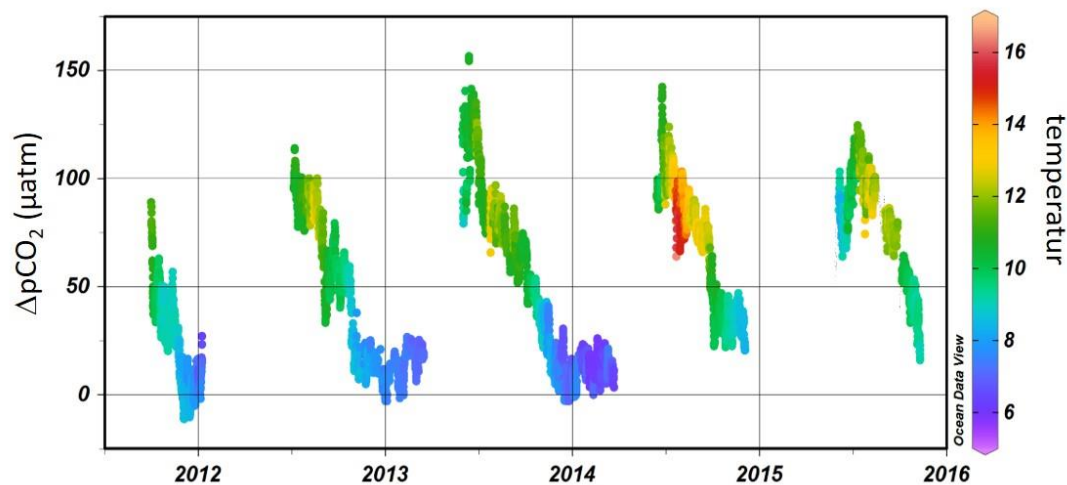
Figure 20c. Ω_{Ar} in the sea surface at Station M between fall 2011 and fall 2015. The colour scale indicates temperature.

Figur 20d viser hvordan pCO_2 i havoverflata varierer som funksjon av temperatur. Tidlig på året, når det ikke er biologisk aktivitet, vil pCO_2 øke med økende temperatur. Om sommeren vil pCO_2 primært være styrt av at CO_2 fikseres i biologisk materiale, og pCO_2 vil avta på grunn av dette selv om temperaturen øker. I **Figur 20e** viser vi forskjell mellom pCO_2 i havoverflata og i atmosfæren (ΔpCO_2). Positive verdier betyr at pCO_2 i havet er lavere enn den i atmosfæren, og dette er tilfelle året rundt bortsett fra korte perioder vinterstid. Når pCO_2 i havet er lavere enn det man finner i atmosfæren vil havet absorbere CO_2 -gass fra lufta, og vi sier at området ved Stasjon M er et sluk for atmosfærisk CO_2 . Slike områder finnes mange av i de Nordiske hav og noen er kraftigere sluk enn andre. Tegn kan tyde på at de Nordiske hav blir et mindre CO_2 -sluk i framtida (f.eks. Omar og Olsen, 2006; Skjelvan *m.fl.*, 2008) og grunnen til dette er at CO_2 -innholdet i havoverflata øker raskere enn CO_2 -konsentrasjonen i atmosfæren. Da kan man tenke seg at en større andel CO_2 blir værende i atmosfæren enn det som var tilfellet tidligere, med de konsekvenser dette vil ha.



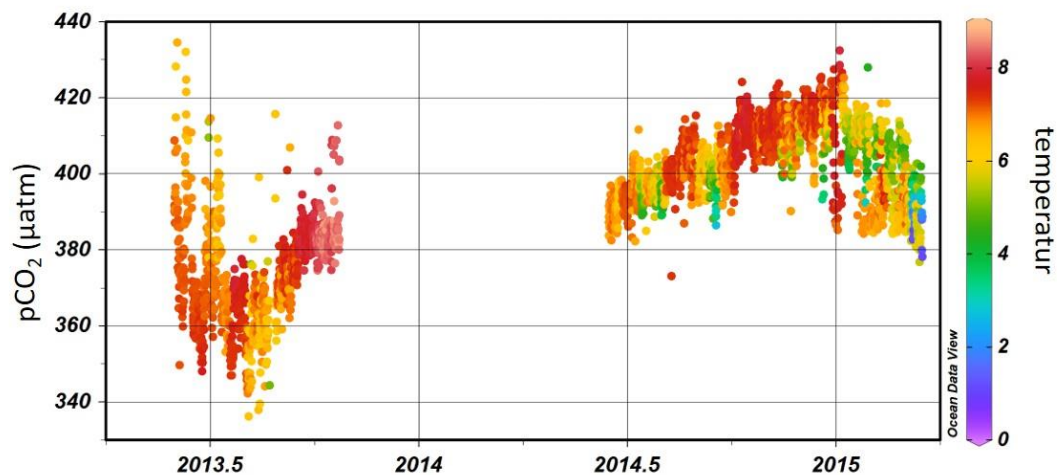
Figur 20d. pCO₂ i havoverflata på Stasjon M fra høsten 2011 til høsten 2015 som funksjon av temperatur. Fargeskala viser måned.

Figure 20d. pCO₂ in the sea surface at Station M between fall 2011 and fall 2015 as a function of temperature. The colour scale indicates month.



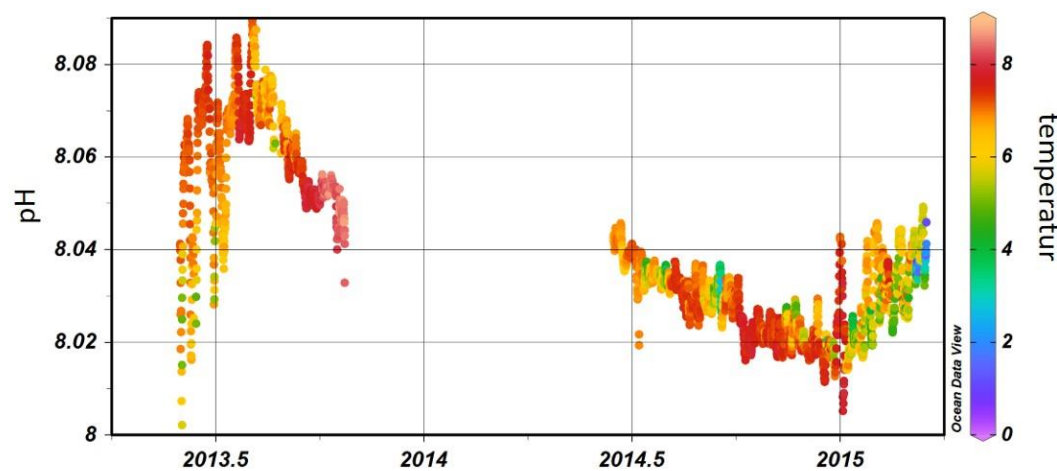
Figur 20e. ΔpCO₂ ved Stasjon M fra høsten 2011 til høsten 2015. Fargeskala viser temperatur.

Figure 20e. ΔpCO₂ at Station M between fall 2011 and fall 2015. The colour scale indicates temperature.



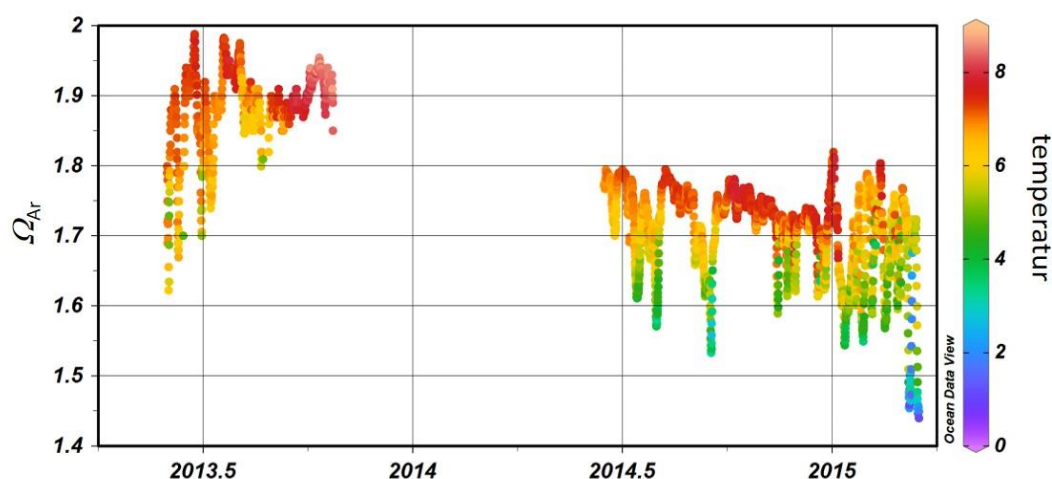
Figur 21a. pCO₂ på 150 til 200 m dyp på Stasjon M. Fargeskala viser temperatur.

Figure 21a. pCO₂ at 150 to 200 m depth at Station M. The colour scale indicates temperature.



Figur 21b. pH på 150 til 200 m dyp på Stasjon M. Fargeskala viser temperatur.

Figure 21b. pH at 150 to 200 m depth at Station M. The colour scale indicates temperature.



Figur 21c. Ω_{Ar} på 150 til 200 m dyp på Stasjon M. Fargeskala viser temperatur.

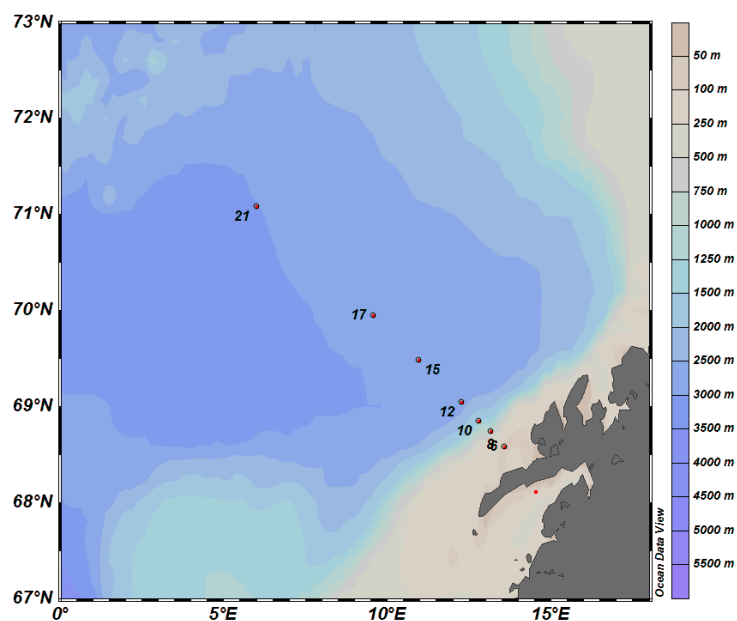
Figure 21c. Ω_{Ar} at 150 to 200 m depth at Station M. The colour scale indicates temperature.

Figur 21a, b og c viser hvordan henholdsvis pCO_2 , pH og Ω_{Ar} varierer i blandingslaget fra våren 2013 til våren 2015. Den første tidsperioden (2013-2014) sto instrumentene på ca. 150 m dyp og den siste perioden (2014-2015) sto instrumentene på 200 m dyp, og det er dybdeforskjellen mellom de to periodene som er forklaringen på litt lavere pH og Ω_{Ar} i den siste perioden sammenlignet med den første. På disse dypene ses ingen sesongvariasjoner, men Ω_{Ar} følger til dels endringer i temperaturen, med lavere verdier når temperaturen synker og vice versa. En puls av spesielt kaldt vann strømmer forbi i blandingslaget på vårparten 2015 og her ses også de laveste Ω_{Ar} -verdiene. I hele perioden er Ω_{Ar} stort sett lavere enn det som måles i overflata. Deler av variasjonen i pH og Ω_{Ar} skyldes respirasjon og tilførsel av nedbrutt biologisk materiale, som fører til reduksjon i begge parameterne.

3.4 Vannsøylen på Gimsøy-NV

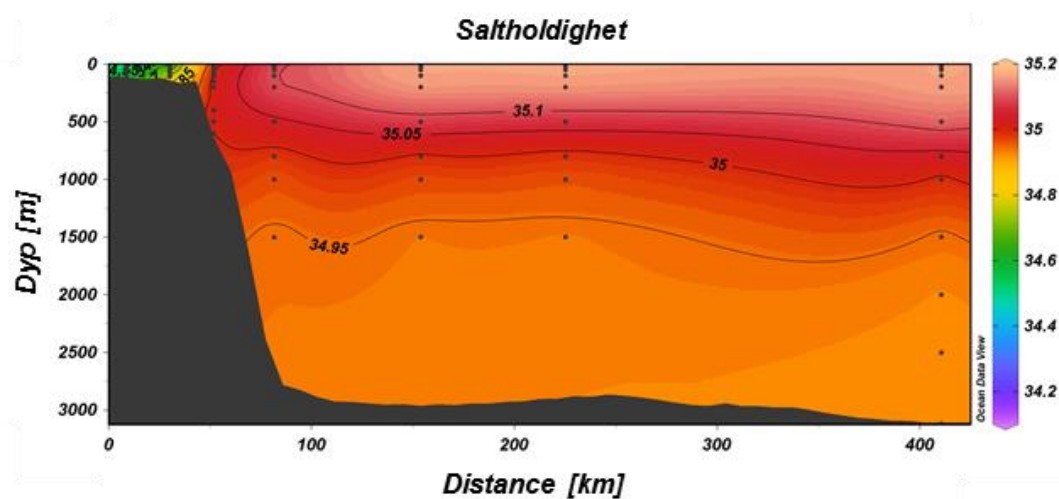
Dette er tredje året etter et opphold i 2013 som det ble utført målinger av karbonkjemi i vannsøylen langs Gimsøy-NV på syv stasjoner (seks i mars og en i mai) i nordre del av Norskehavet (Figur 22, se Tabell 3 i Vedlegg A for data).

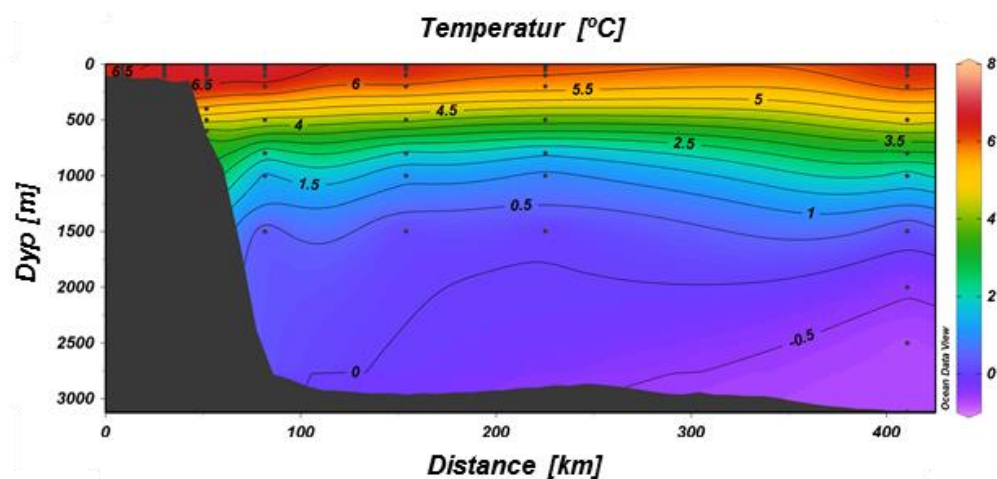
Snittet Gimsøy-NV ligger i området der varmt og salt atlantehavsvann fra sør kjøles av før det strømmer inn i Barentshavet. Snittet fanger også opp deler av den norske kyststrømmen og resirkulert arktisk vann på intermedieære dyp (se Figur 6b). I dette området er det stor forekomst av kaldevannskorallrev (www.mareano.no) og disse er potensielt spesielt følsomme for lav aragonittmetning. Området er også, sammen med Norskebassenget et av stedene der pH minker raskere enn andre deler av Norskehavet (Skjelvan *m fl.*, 2013), og derfor var det viktig å inkludere en stasjon i bassenget lengst i nordvest. Denne stasjonen tok vi prøver fra i mai.



Figur 22. Kart som viser stasjoner for vannsøyleprøvetaking i nordlige Norskehavet (Gimsøy-NV) i 2015 (røde prikker). Tallene viser til stasjonsnummer.

Figure 22. Map showing the stations from IMR transect in northern Norwegian Sea along Gimsøy-NW in 2015 (red dots) and station numbers.

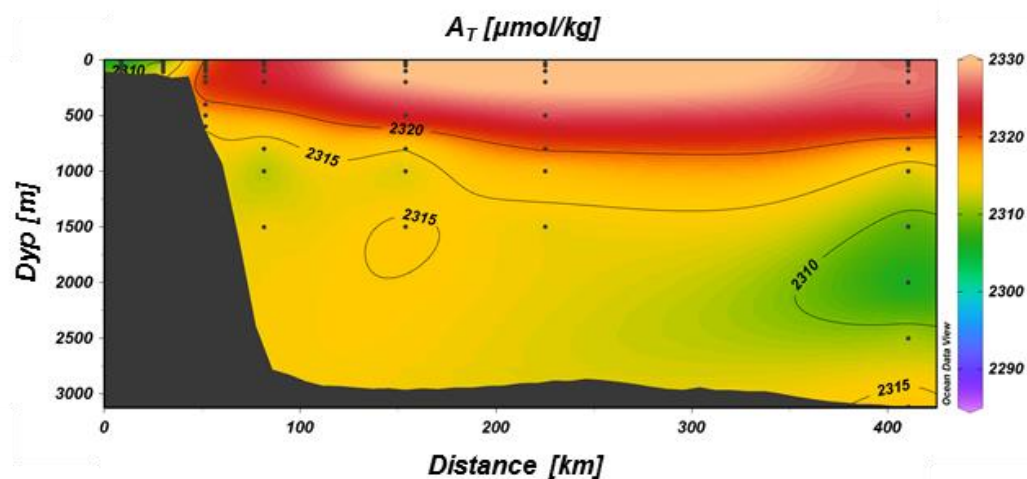


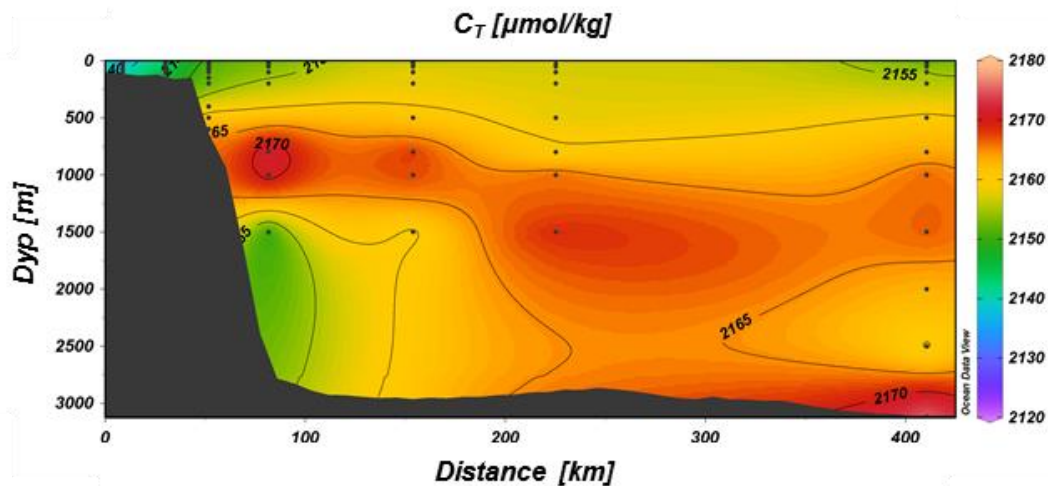


Figur 23. Data fra det faste snittet Gimsøy-NV i mars og mai 2016. Fra øverst til nederst: saltholdighet og temperatur (°C).

Figure 23. Salinity and temperature data from Gimsøy-NW from March and May 2016.

Seksjonen fra Gimsøy domineres av varmt og salt atlantehavsvann ned til ca. 500 m og ligger over kaldt arktisk vann fra 1000 m til bunn (**Figur 23**). Ferskt vann fra kyststrømmen ses nær kysten til ca. 50 km nordvestover.



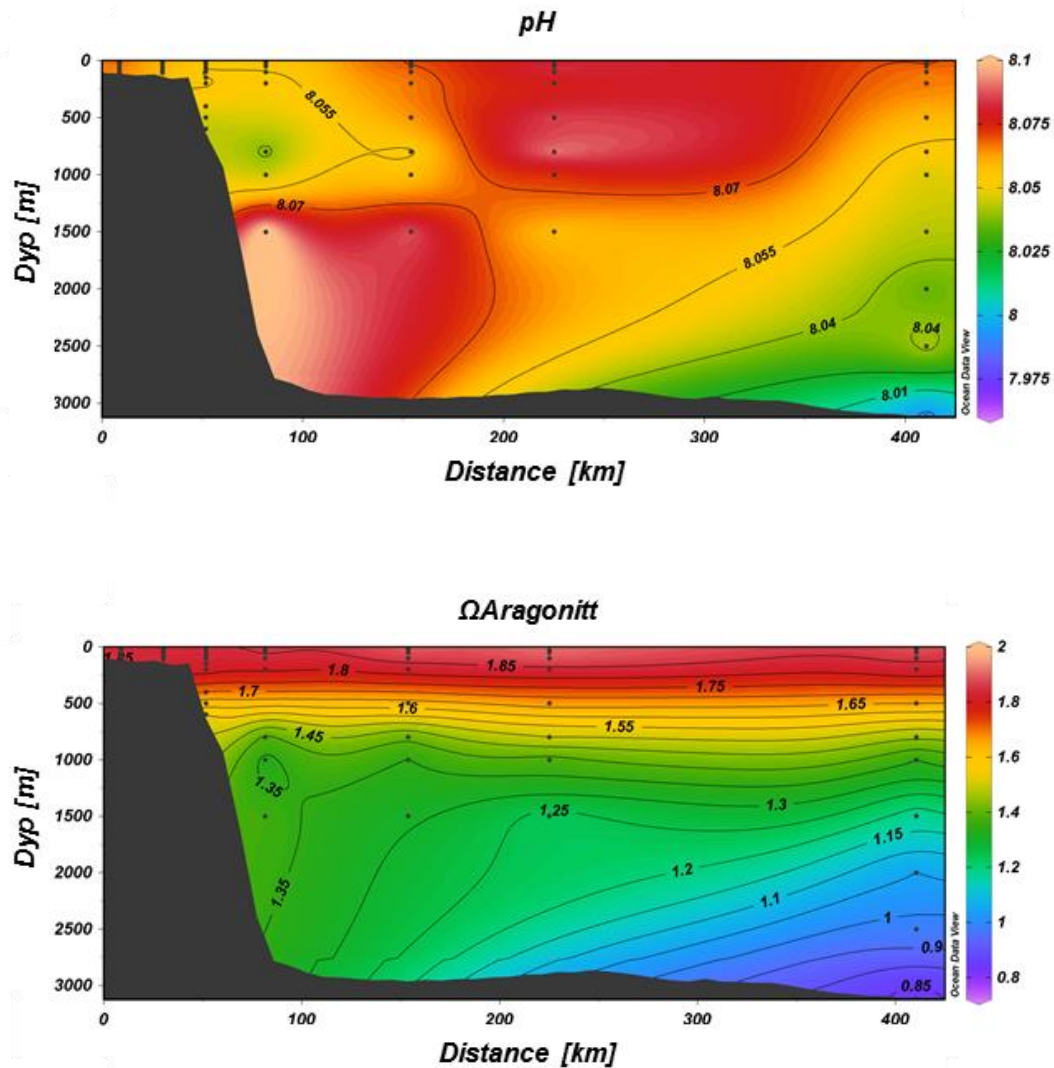


Figur 24. Marsdata fra seks stasjoner og en stasjon i mai i det nordlige Norskehavet langs snittet Gimsøy-NV i 2016, fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) og totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$)

Figure 24. A_T and C_T data along three stations in the northern Norwegian Sea along Gimsøy-NW transect from March and one station in May 2016.

Figur 24 viser A_T og C_T langs snittet. Atlanterhavsvannet hadde høye A_T - verdier på rundt 2320 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ og C_T - verdier på 2155-2160 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. De dypere delene av seksjonen som går nordover inn i Norskehavet, viser innvirkningen av arktisk vann karakterisert ved lavere A_T på 2310-2315 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ og høyere C_T opp til 2170 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Dette var svært lik 2015-dataene.

Vann med høy pH vises mellom 150 km til 400 km fra kysten mot nordvest, hvor verdiene var 8,07-8,10 i de øvre 1000 m (**Figur 25**). Disse verdiene er høyere enn de fra 2015-dataene, og det er kanskje et signal om mellomårlig variasjon i Atlanterhavet. Vann med høy pH ble også påvist nær kontinentsokkelen ved 1500 m dybde, 100 km fra kysten. Laveste pH på 7,98 ble funnet nær 3100 m dybde, 400 km fra kysten, innenfor den dypeste delen av Norskehavet. Aragonittmetningen viste en generell avtagende gradient fra høyeste verdier på 1,80-1,85 i overflatevann til de dypeste delene av seksjonen. Undermetning av aragonitt vises ($\Omega_{Ar} < 1$) ved stasjonen lengst nordvest på rundt 2500 m dybde. Dette var dypere sammenlignet med metningshorisonten som ble funnet på 2100 m i 2015, og viser at det er variasjoner i det C_T -rike arktiske vannlaget fra år til år. I 2016, var Ω_{Ar} 1,01 ved 2000 m og nær undermetning. Fra kysten til ca. 200 km nordvest vises overmetning i hele vannsøylen.

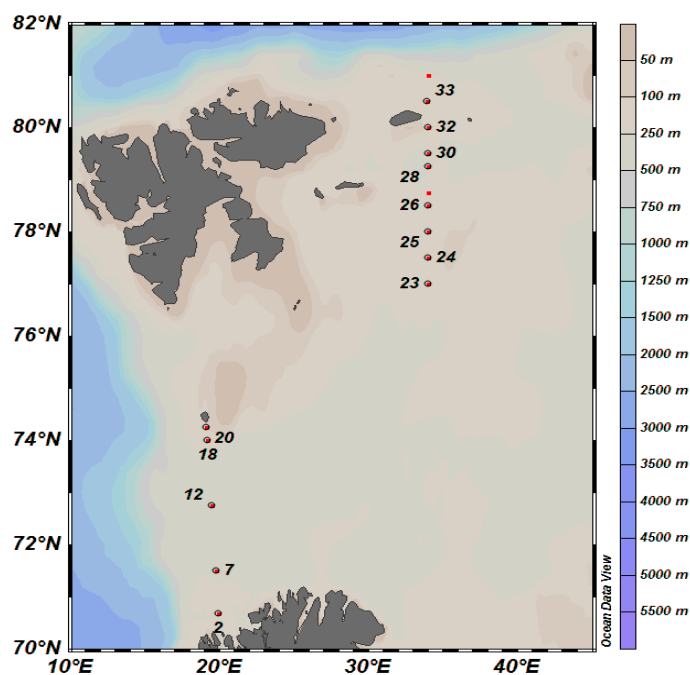


Figur 25. pH og aragonittmetning (Ω_{Ar}) fra mars og mai i 2016 langs det faste snittet Gimsøy-NV.

Figure 25. pH and aragonite saturation data in the northern Norwegian Sea along Gimsøy-NW from March and May 2016.

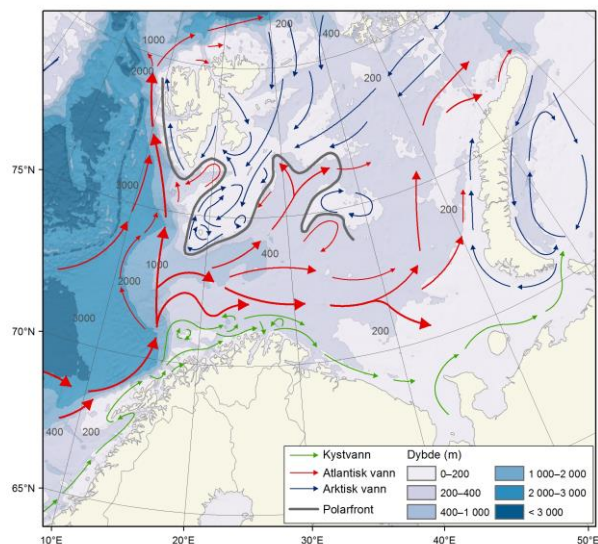
3.5 Vannsøylen på Fugløya-Bjørnøya

I januar 2016 ble det utført målinger av karbonkjemi i hele vannsøylen fra fem faste stasjoner langs det hydrografiske snittet mellom Fugløya-Bjørnøya (**Figur 26a**). Barentshavet er et relativt grunt hav med middeldyp på 230 m og små romlige dypforskjeller, sammenlignet med middeldyp på 2000 meter i Norskehavet og veldig store forskjeller i området. I **Tabell 4** i **Vedlegg A** presenteres stasjoner, posisjoner og data fra snittet. Snittet Fugløya-Bjørnøya ligger i et område der atlantehavsvann strømmer inn i Barentshavet og videre inn i Polhavet (**Figur 26b**).



Figur 26a. Kart som viser stasjoner for vannsøyleprøvetaking i Barentshavet (Fugløy-Bjørnøya i januar 2016 og i nordøstre Barentshavet august/september i 2016 (røde prikker). Tallene viser til stasjonsnummer.

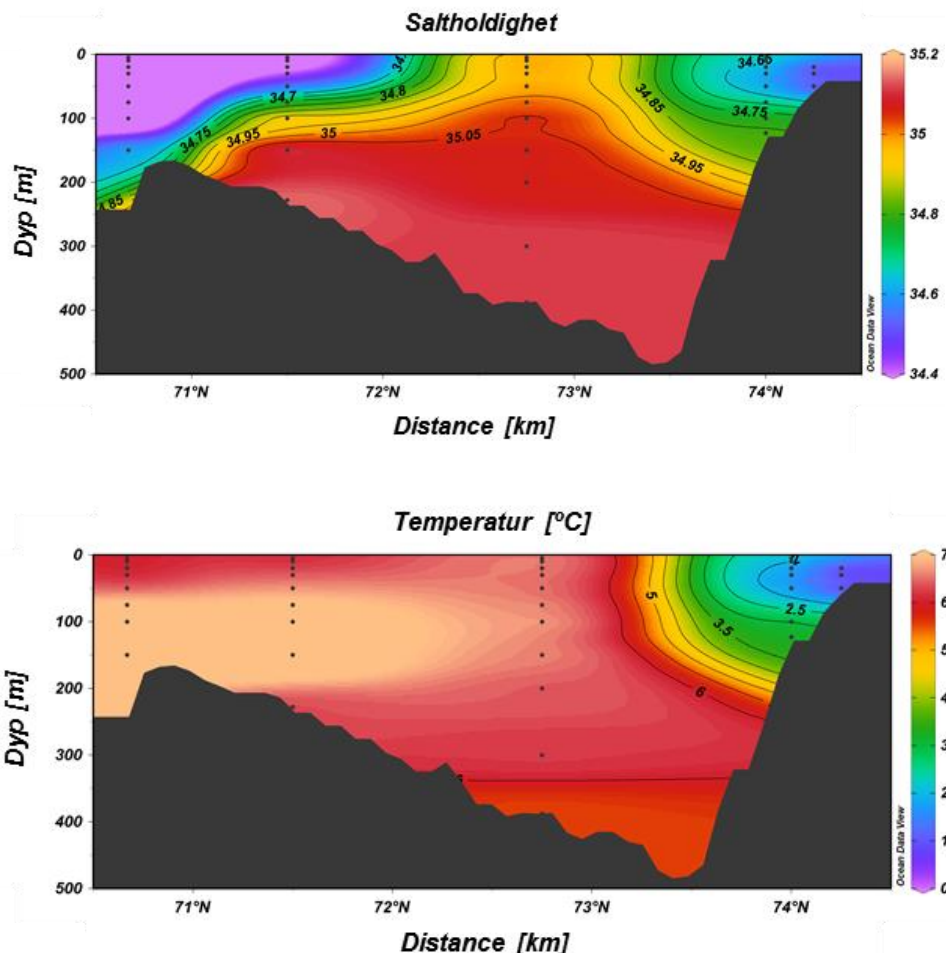
Figure 26a. Map showing the stations from IMR transect in Barents Sea western part along Fugløy-Bjørnøya January 2016, and in the Northeast Barents Sea in August/ September 2016 (red dots) and station numbers.



Figur 26b. 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 www.imr.no).

Figure 26b. 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.

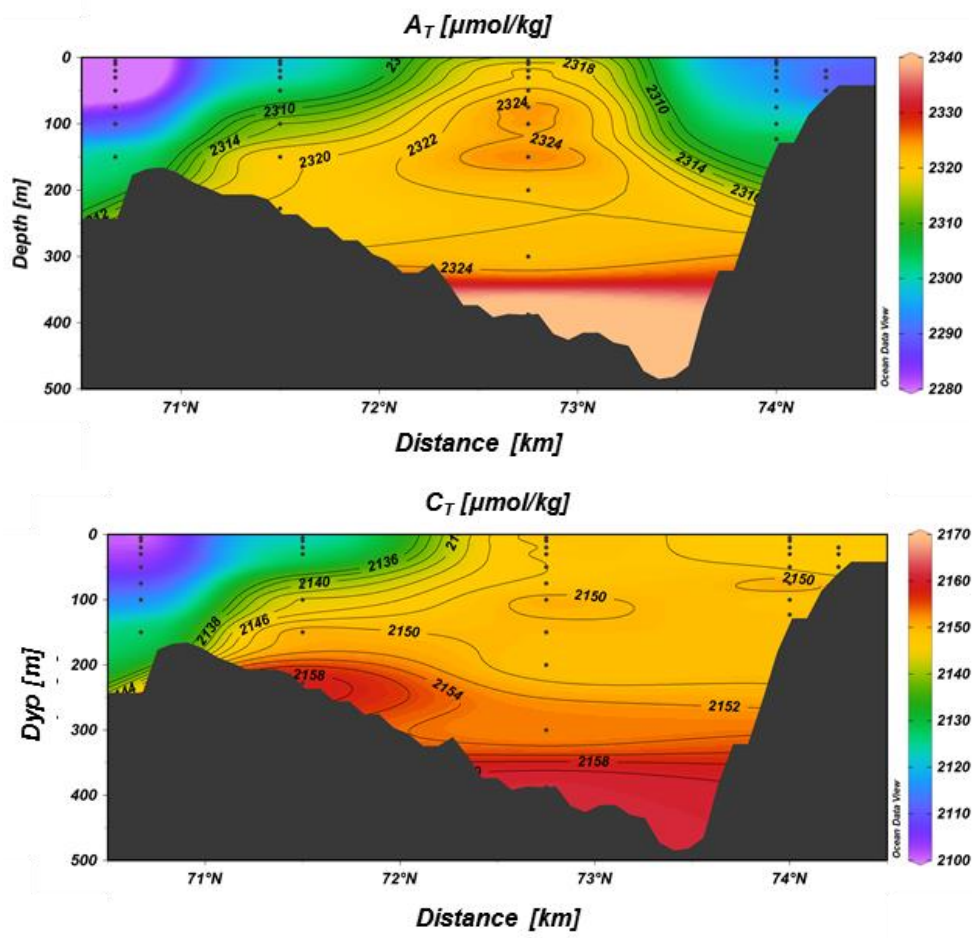
Stasjonen nær Fugløya påvirkes av den ferske norske kyststrømmen (**Figur 26b**). Snittet strekker seg ut i Barentshavet hvor dypeste nivåer (500 m dybde) ved 73,5 °N er dominert av atlantehavsvann med saltholdighet > 35,1 og temperatur ~ 6°C (**Figur 27**) som vises spesielt tydelig midt på snittet i hele vannkolonnen i Barentshavet. Nær Bjørnøya påvirker innstrømningen av arktisk vann fra Nordøst-Svalbard og danner sterke horisontale saltholdighet og temperatur gradienter ved polarfronten på rundt 73,5°N. Nord for polarfronten vises redusert saltholdighet (<34,7) og lavere temperaturer (<1°C) i de øvre 100 meter (**Figur 27**). Disse vannegenskapene er svært lik de som ble observert i 2015.



Figur 27. Data fra det faste snittet Fugløya-Bjørnøya i januar 2016. Fra øverst til nederst: saltholdighet og temperatur (°C).

Figure 27. Salinity and temperature data from Fugløya-Bjørnøya from January 2016.

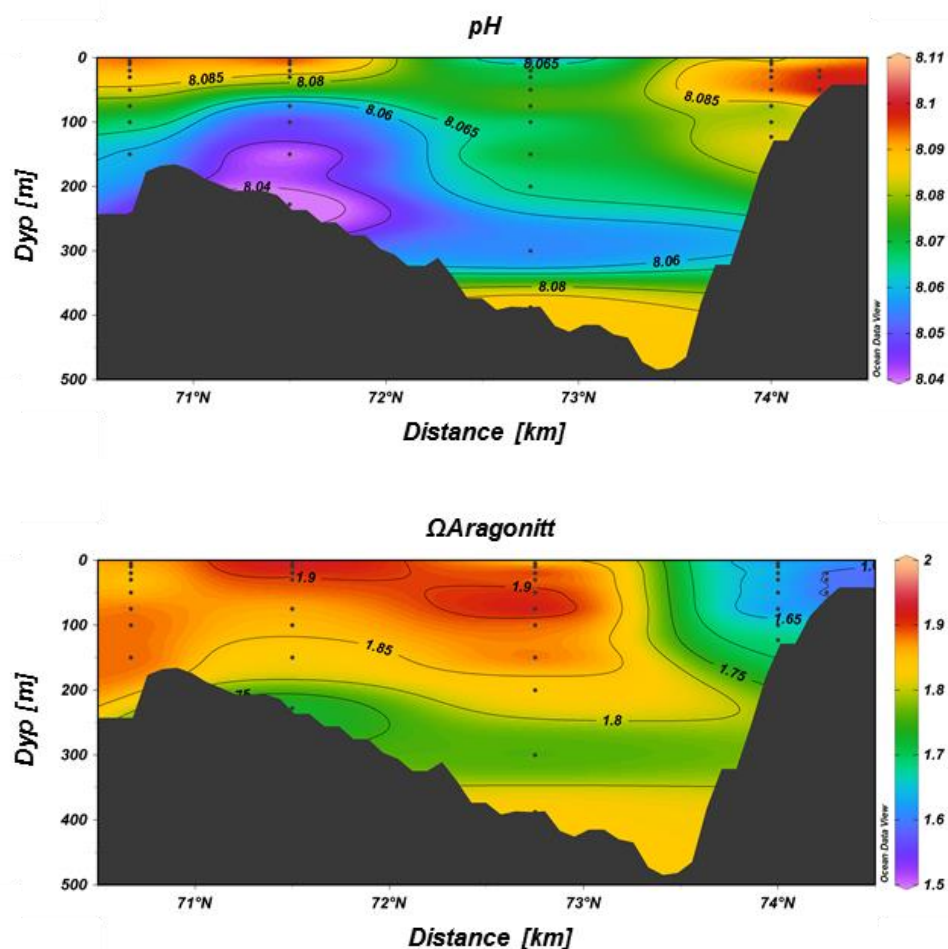
A_T og C_T på kyststasjonen er relativt lave i hele vannkolonnen sammenlignet med resten av seksjonen, trolig på grunn av ferskvann fra kyststrømmen (**Figur 28**). Fordelingen av A_T reflekterer de viktigste vannmassene i denne regionen av Barentshavet; kystvann, atlantehavsvann og arktisk vann. Sentralstasjonen viser atlantehavsvannet med A_T på 2325-2330 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, og en sterk horisontal gradient i overflaten til laveste verdier rundt 2290 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i polarvannet nord fra polarfronten ved 73 °N (**Figur 28**). C_T viste et litt annet mønster, fra laveste verdier nær kysten og en økende horisontal gradient rundt 72°N til verdier mellom 2146 og 2150 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ i den øvre 200 m langs resten av seksjonen. Høyeste A_T og C_T ble funnet under 350 m i midten av seksjonen.



Figur 28. Januardata fra fem stasjoner i det sørlige Barentshavet mellom Fugløya og Bjørnøya i 2016, fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) og totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$).

Figure 28. A_T and C_T data along five stations in the southwest Barents Sea between Fugløya and Bjørnøya from January 2016.

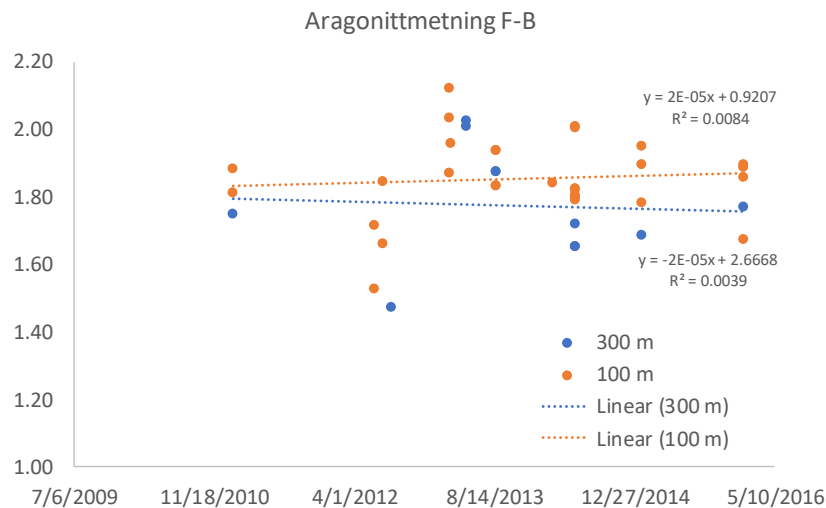
Høy pH ($> 8,08$) ble funnet ved den sørlige og nordlige delen av snittet og i det dypeste laget under 400 m dybde (Figur 29a). Laveste verdier på 8,04-8,05 ble funnet over havbunnen på 71,5 °N og er litt lavere sammenlignet med samme stasjon og dyp i 2015 (Chierici m fl., 2016). Disse lave pH-verdiene er trolig på grunn av høy CO_2 fra respirasjon som også bekreftes av høye C_T verdier på samme sted. Metningsgraden for aragonitt hadde en generell avtagende gradient nordover, fra mer homogene verdier 1,8-2,0 i de øvre 200 m, til polarfrontområdet ved 73,5 °N (Figur 29a). Nord fra polarfronten vises minkende Ω_{Ar} verdier med økende breddegrad til laveste verdier på 1,6 nær Bjørnøya. Dette er på grunn av innflytelse av ferskvann som gir lave A_T og metningsverdier, slik som i 2015.



Figur 29a. pH *in situ* og aragonittmetning (Ω_{Ar}) fra januar 2016 langs det faste snittet Fugløya-Bjørnøya.

Figure 29a. pH *in situ* and aragonite saturation data along five stations in the southwest Barents Sea between Fugløya and Bjørnøya from January 2016.

Figur 29b viser tidsserie av aragonittmetning ved 100 meter (oransje) og ved 300 m (blå) på alle stasjoner langs snittet Fugløya-Bjørnøya fra 2011 til 2016. Her vises ikke noen tydelig trend. Tidsserien inkluderer også data fra mars og august siden en del år mangler januardata. Figur med bare januardata viser heller ikke noen trend ved disse to dypene (ikke vist).



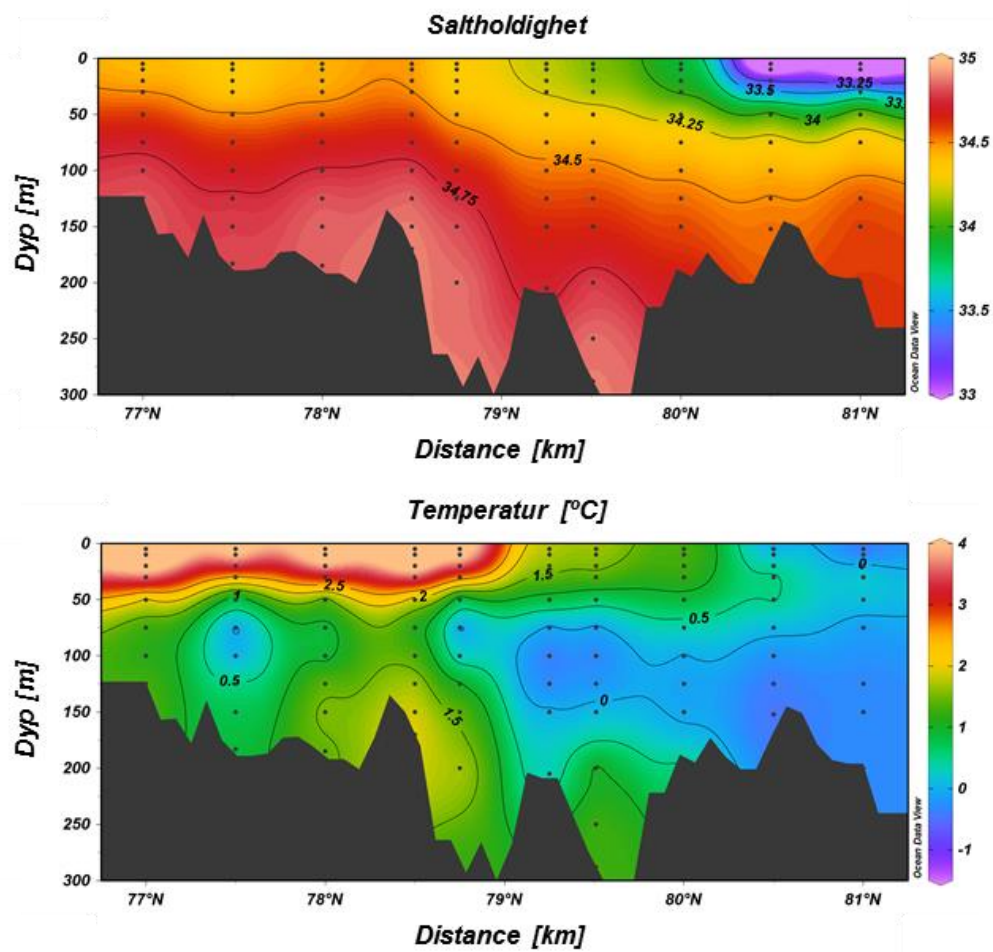
Figur 29b. Aragonittmetning i årene 2011-2016 ved 100 m (oransje) og 300 m (blå) dyp langs snittet Fugløya-Bjørnøya

Figur 29b. Aragonite saturation in the period 2011 to 2016 at 100 m (orange) and 300 m (blue) depth along Fugløya-Bjørnøya transect.

3.6 Vannsøylen i nordøstlige Barentshavet

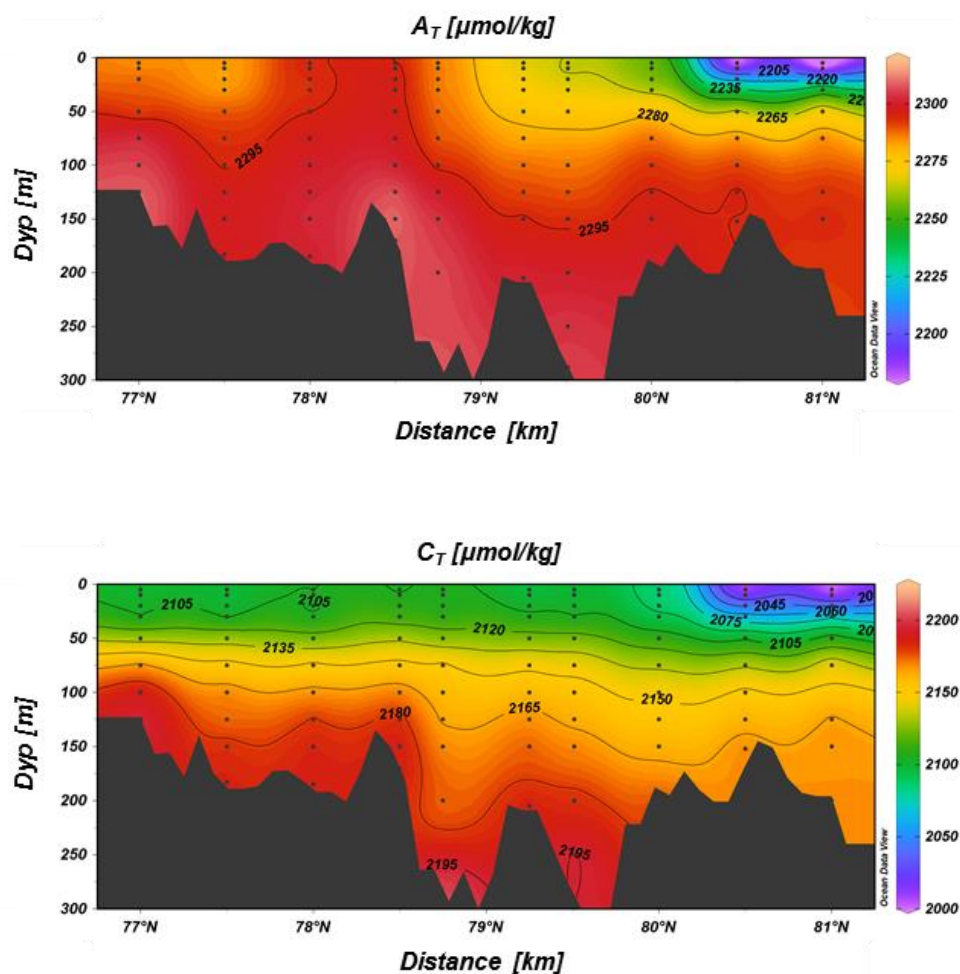
Fra denne delen av nordøstligste Barentshavet blir det tatt prøver i forbindelse med IMRs faste hydrografiske snitt (Vardø-Nord) på det årlige økosystemtoktet i Barentshavet. Her samles det inn prøver fra åtte stasjoner langs snittet fra 77 °N til den nordligste ved 80,5 °N (**Figur 26a**). Også dette snittet fanger opp atlantehavsvann og vann påvirket av polarvann fra nord (**Figur 26b**). I **Tabell 5** i **Vedlegg A** vises posisjoner, dyp, stasjonsnummer og data.

Seksjonen over det nordlige Barentshavet inkluderer atlantehavsvann fra sør og polarvann fra nord. Saltholdigheten i de øvre 50 m minket nordover langs snittet til lave verdier i polarvann nord for 80,5 °N, i kombinasjon med påvirkning av sjøismeltevann (**Figur 30**). Saltholdigheten minker nordover langs snittet i hele vannkolonnen og ferskt vann ses fremfor alt i overflaten fra 79 °N til 81 °N (**Figur 30**). Resirkulert atlantehavsvann fra Framstredet ses som en varm og salt vannmasse under 100 m dybde fremfor alt mellom 77 °N og 80 °N.



Figur 30. Hydrografiske data fra september 2016 i nordøstlige Barentshavet: saltholdighet (øvre panel) og temperatur (°C, nedre panel).

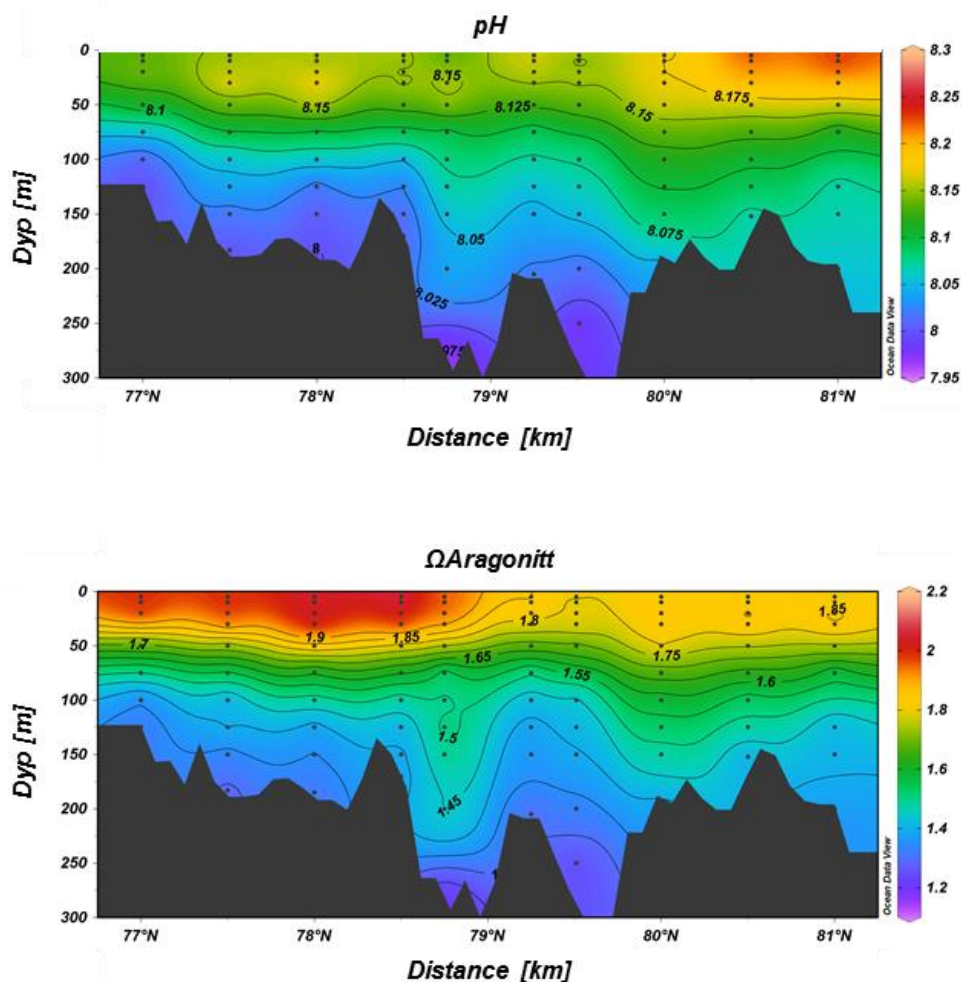
Figure 30. Salinity and temperature data from September 2016 in the northeastern Barents Sea.



Figur 31. Data fra 10 stasjoner i det nordøstligste Barentshavet i august/september 2016, fra øverst til nederst: total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) og totalt uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$).

Figure 31. A_T and C_T data from September 2016 in the northeastern Barents Sea.

De høyeste A_T -verdiene (ca. $2325 \mu\text{mol kg}^{-1}$) og høy C_T ($2200 \mu\text{mol kg}^{-1}$) ble funnet på 120-300 m dybde i atlantehavsvannet i den sørlige delen av seksjonen (Figur 31). Nord for 80°N viste A_T og C_T lavere verdier på alle dyb (Figur 31), sammenlignet med vannmassene i sørlige delen av snittet. De laveste A_T (mindre enn $2200 \mu\text{mol kg}^{-1}$) og C_T (mindre enn $2050 \mu\text{mol kg}^{-1}$) sees i det ferske polarvannet i de øvre 50 m og viser influens av smeltevann fra sjøis. Disse mønstrene var i samsvar med 2015-dataene.



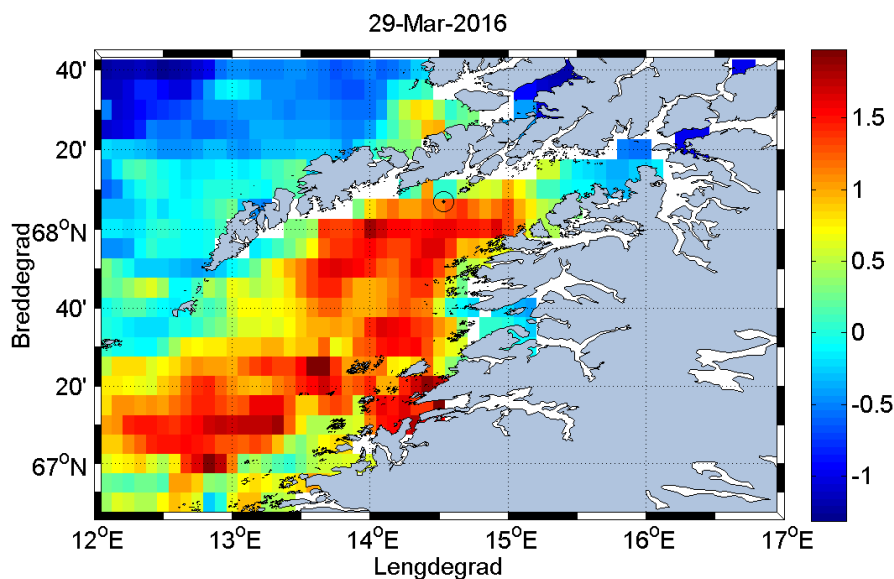
Figur 32. Data fra stasjoner i det nordøstlige Barentshavet i august/september 2016, fra øverst til nederst: pH og aragonittmetning (Ω_{Ar}).

Figure 32. pH in situ and aragonite saturation in August/September 2016 in the northeastern Barents Sea.

I overflaten øker pH gradvis mot nord og pH var høyest i de øvre 50 m med maksimale verdier på 8,25 på de nordlige stasjonene (Figur 32). Laveste pH på 7,95 ble funnet i det dypeste vannet langs snittet. Det var samme situasjon i 2015. Metningsgraden for aragonitt hadde maksimumsverdier (Ω_{Ar} opptil 2,20) i det øvre laget, tydeligst mellom 77 og 79°N. Verdiene minket til rundt 1,85 i det kaldere polarvannet. Dette var litt annerledes sammenlignet med 2015-dataene, hvor metningsgraden var høy i den nordlige delen av seksjonen. Dette skyldes sannsynligvis variabilitet i prøvetakingstidspunktet, og i overflaten, hvor primærproduksjon kan forklare de forhøyede Ω_{Ar} . Laveste Ω_{Ar} på 1,20 ble funnet i den dypeste delen av seksjonen, under 250 m dybde, ved den sentrale delen av snittet (Figur 32). I 2015 var minimumsverdien 1,14. Dette skyldes sannsynligvis økt CO_2 som stammer fra mikrobiell nedbrytning av organisk materiale over lang tid og ikke fra antropogen havforsuring. Men det kan også være en kombinasjon av disse to prosessene.

3.7 Vannsøylen ved kyststasjon Skrova: sesongvariasjon

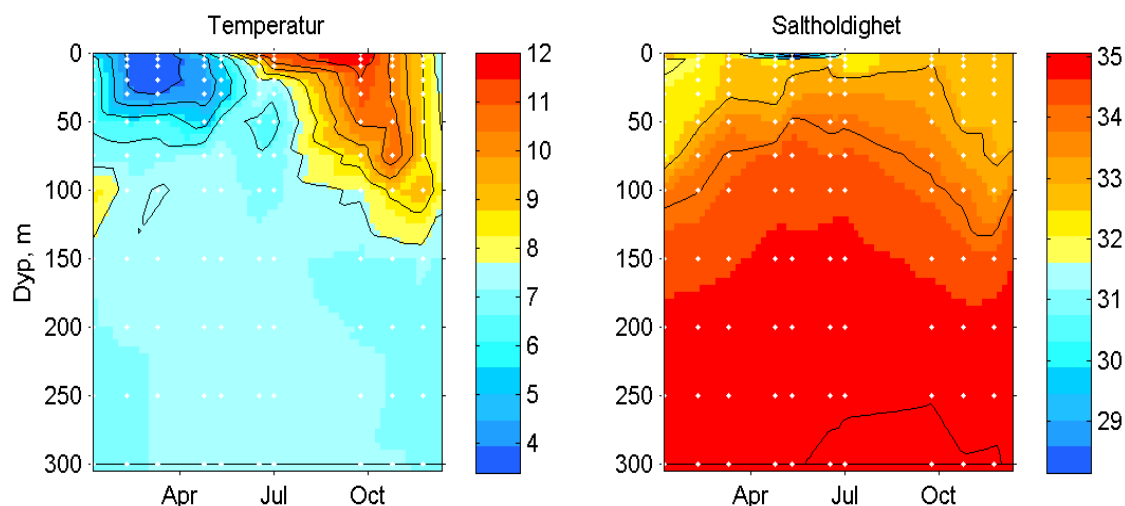
Dette er andre året som det måles havforsuring månedsvis på kyststasjon ved Skrova. Sesongvariasjon gir informasjon om biologisk aktivitet som er et viktig aspekt i helhetsforståelsen av havforsuring, fordi vekselvirkning mellom for eksempel primærproduksjon og respirasjon gir sterke forandringer både gjennom et døgn og over en årstid. For å få innsikt i hvor store disse fluktuasjoner er gjennom året, ble det foretatt prøvetaking for en rekke variable (nitrat, silikat, fosfat, klorofyll (satellitt SeaWiFS) inklusive karbonatkjemien fra hele vannsøylen månedlig i løpet av 2015 og 2016 ved Skrova i Lofoten. Vestfjorden er et viktig gyteområde for en rekke kommersielle fiskeslag. Det er derfor viktig å kunne fastslå hvilket miljø de forskjellige stadiene av egg og larver eksponeres for, og å få kjennskap til utviklingen over tid av dette miljøet. **Figur 33** viser konsentrasjonen av klorofyll fra satellittdata (SeaWiFS, NASA ocean color) ved toppen av våroppblomstringen 2016. Dette året var våroppblomstringen to uker tidligere enn året før.



Figur 33. Prøvetakingsstasjon (ring med prikk) og klorofyll som $\log_{10}(\text{mg Chl m}^{-2})$ i Vestfjorden ved toppen av våroppblomstringen 2016, fra SeaWiFS, NASA ocean color webside.

Figure 33. Sampling station (ring with dot) and chlorophyll as $\log_{10}(\text{mg Chl m}^{-2})$ in Vestfjorden at the culmination of spring bloom 2016, from SeaWiFS NASA ocean color website)

Figur 34 viser temperaturforandringene i vannsøylen gjennom 2016, og saltholdighet som i hovedsak viser lagdelingen i vannsøylen. I vintermåneden februar var lagdelingen svak i de øverste 100 meter, og lagdelingen startet tidlig i mars. Dette er nesten en måned tidligere enn året før og kan være grunnen til den tidligere våroppblomstringen som ses i 2016.

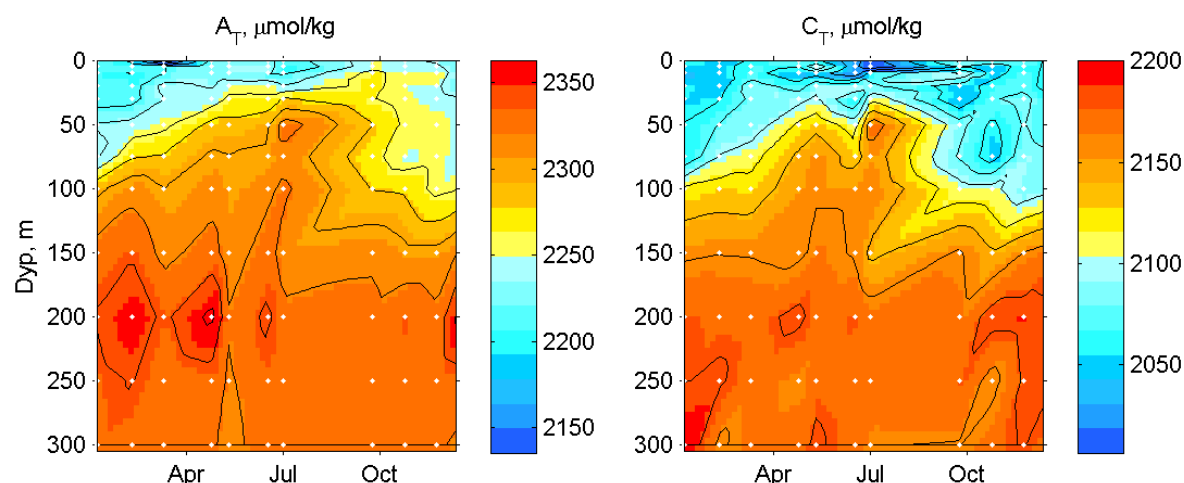


Figur 34. Månedsvise variasjon av temperatur (venstre) og saltholdighet (høyre) ved kyststasjon Skrova i 2016.

Figure 34. Monthly variability of temperature (left panel) and salinity (right panel) at the coastal station Skrova in 2016.

Total alkaliniteten (A_T , **Figur 35**) er korrelert med salinitet og viser i hovedsak samme variasjon. Midt på vinteren besto de øvre 100 meter av kystvann med salinitet rundt 32, og A_T under $2275 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Dybden på dette laget minket jevnt fram 50 m i juli. Sent i september ble lagdelingen brutt opp av høstvær, og vintersituasjonen overtok.

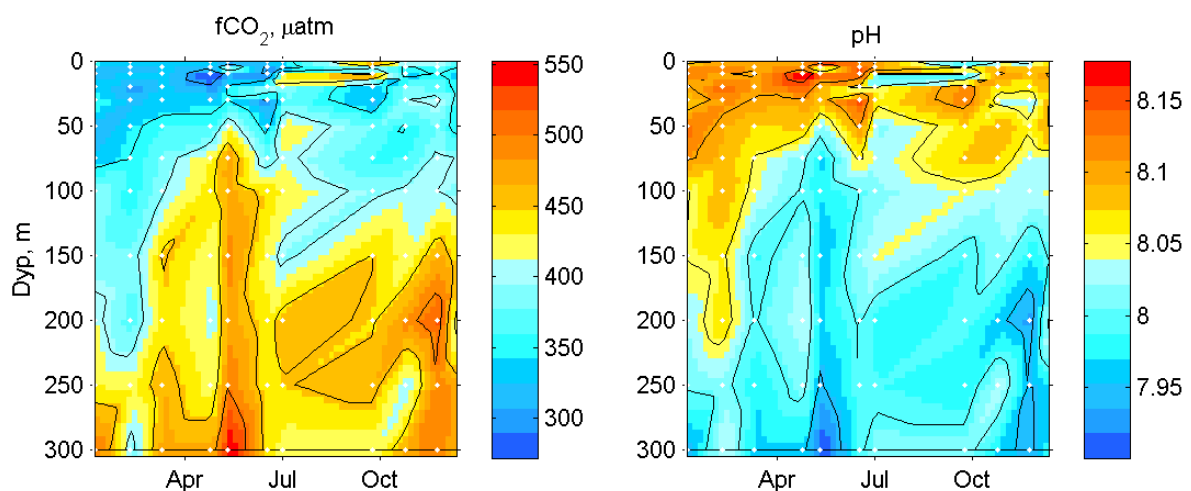
Om vinteren er øverste 150-100 meterne homogene med hensyn til C_T (**Figur 35**), og på våren ca fra mai minker C_T i overflaten som sannsynlig er en kombinasjon av ferskvann (vises og i saltholdighet) og opptak av CO_2 ved oppblomstringen (**Figur 35**).



Figur 35. Månedsvise variasjon av total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) og totalt løst uorganisk karbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) ved kyststasjon Skrova i 2016.

Figure 35. Monthly variability of total alkalinity (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) and total dissolved inorganic carbon (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) at coastal station Skrova in 2016.

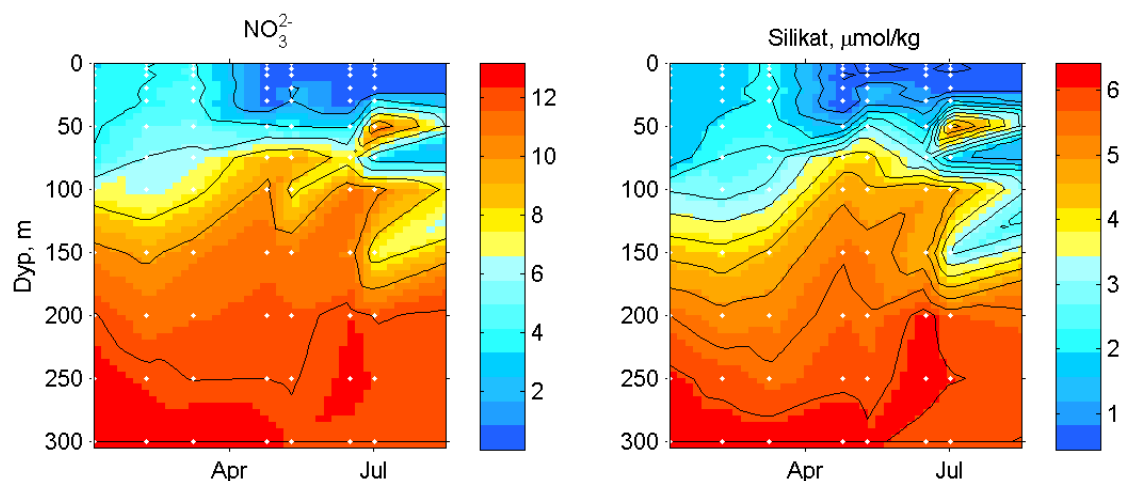
Primærproduksjonen fører til at $p\text{CO}_2$ har et minimum ved 20 m dyp midt i april, og pH var høy i tilsvarende prøver (**Figur 36**). Utover sommeren stiger $p\text{CO}_2$ samtidig som pH synker, dette kommer av høyere innsalg av respirasjon versus fotosyntese. Disse prosessene er regionale, de representerer kystvannet og ikke bare den lokale stasjonen, fordi der er betydelig utskifting av vannet ved Skrova. Dette er tydelig under 75 meters dyp. Midt i mai ser det ut til å opptre en puls av vann med høyere $p\text{CO}_2$ og lavere pH (**Figur 36**). Denne pulsen er relativt kortvarig, og det er en lignende utskifting i november, men pulsen i mai har sterkere preg av dypvann enn den i november. Under 250 meters dyp gikk A_T litt ned i mai, men november pulsen ser ikke ut til å ha påvirket A_T (**Figur 35**). Både i mai og november steg C_T i dypere lag (**Figur 35**). Vestfjorden har en terskel på ca. 200 meters dyp i utløpet, og denne forårsaker at utskifting under dette dypet typisk er episodisk.



Figur 36. Månedsvise variasjoner av karbondioksid ($p\text{CO}_2$, μatm) og pH ved kyststasjon Skrova i 2016.

Figure 36. Monthly variability of carbon dioxide ($p\text{CO}_2$, μatm) and pH at coastal station Skrova in 2016.

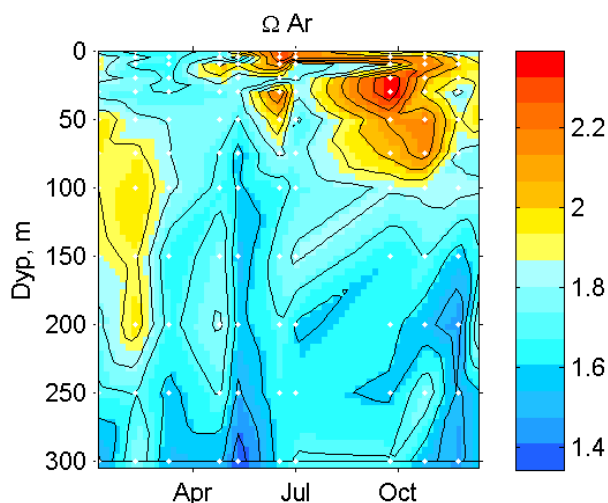
Næringssaltene i de øvre 100 meter gir en klarere respons på primærproduksjonen enn karbonkjemien. Nitrat og fosfat viser nøyaktig samme mønster og **Figur 37** viser bare nitrat sammen med silikat. Nitrat og silikat i de øvre 50 meter viste en kraftig nedgang fra midten av april til mai, som konsekvens av primærproduksjonen. Samtidig konsumeres CO_2 , men denne blir også erstattet ved diffusjon fra atmosfæren, slik at forandring i CO_2 ikke reflekterer totalt konsum slik som nedgang i næringssaltene gjør.



Figur 37. Månedsvise variasjon av nitrat og silikat ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) ved kyststasjon Skrova i 2016.

Figure 37. Monthly variability of nitrate and silicate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) at coastal station Skrova in 2016

Kalsiumkarbonater var overmettet hele året i hele vannsøylen og lavest på sen vinteren (**Figur 38**). På samme måte som for pH og CO_2 var det en tydelig utskiftning under 75 meters dyp i mai og november, med innstrømming av vann med høyere innhold av karbondioksid og følgelig lavere pH og lavere metningsgrad for kalsiumkarbonater enn det som ellers ble observert i fjorden (**Figur 38**). Opptak av karbondioksid ved primærproduksjon mellom mai til sen høst gir høye aragonittmetningsverdier i overflaten $>2,2$ (**Figur 38**).



Figur 38. Månedsvise variasjon metningsgrad for aragonitt ved kyststasjon Skrova i 2016.

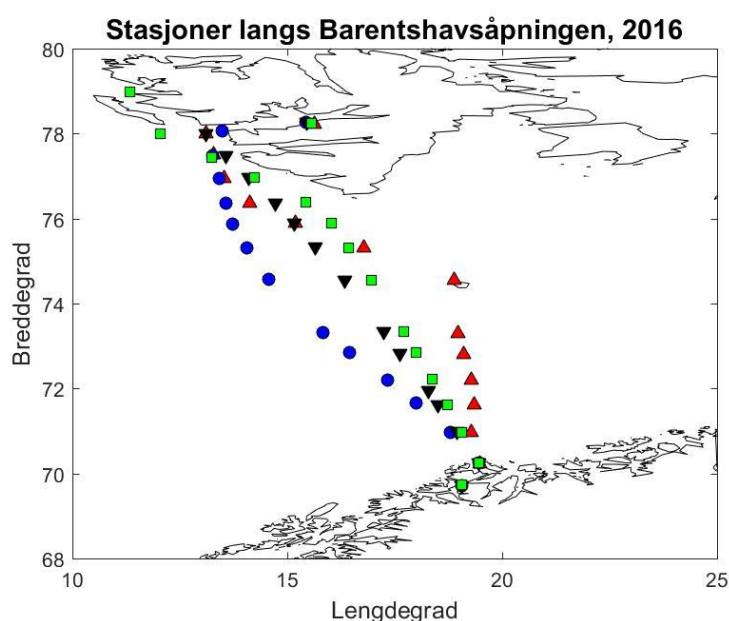
Figure 38. Monthly variability of saturation state of aragonite at coastal station Skrova in 2016.

3.8 Overflatedata

I 2016 gjennomførte NIVA sesongtokt for prøvetaking av overflatevann i Barentshavsåpningen og Skagerrak. Målingene ble gjort ved hjelp av Ships of Opportunity (SOOP) som går faste ruter mellom Tromsø-Longyearbyen (*M/S Norbjørn*) og Oslo-Kiel (*M/S Color Fantasy*). I **Tabell 6** og **7** i **Vedlegg A** vises dato, posisjon, dyp, stasjon og data.

3.8.1 Barentshavsåpningen, Tromsø-Longyearbyen

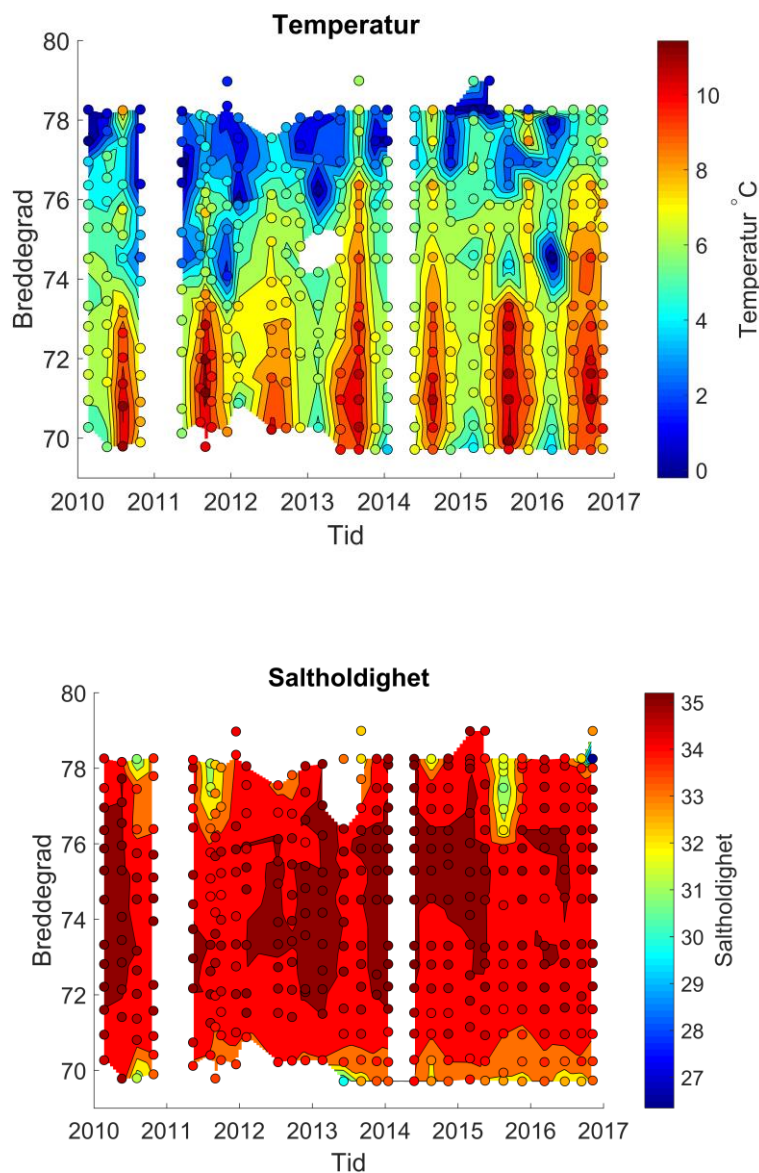
Overflatevann ble samlet inn på NIVAs sesongtokt gjennomført i Barentshavet i mars, juni, september og november 2016. Innsamlingen ble gjort mellom Tromsø og Longyearbyen om bord på *M/S Norbjørn* (**Figur 39**). Ruten varierte i løpet av året på grunn av is- og værforhold og ved levering av post til Bjørnøya (mars) eller Ny Ålesund (november).



Figur 39. Stasjoner langs Barentshavsåpningen i året 2016. Toktene ble gjort 11-14.3 (rød ▲), 21-23.6 (blå ●) 13-15.9 (sort ▼) og 8-11.11 (grønn ■). Stasjonene er noe væravhengig som man kan se av spredningen i lengdegrader, samt at skipet i mars hadde en leveranse til Bjørnøya og i november hadde leveranse til Ny Ålesund.

Figure 39. Station map for the Barents Sea opening. Samples were taken during 11-14.3 (red ▲), 21-23.6 (blue ●) 13-15.9 (black ▼) and 8-11.11 (green ■). The stations locations varied because of weather or ice conditions and with deliveries to Bjørnøya (March) and Ny Ålesund (November).

Strekningen mellom Tromsø og Svalbard dekker noen forskjellige vanntyper som kommer av de ulike havstrømmene i området (vist i tidligere kapittel (3.5, **Figur 26b**). Det er hovedsakelig atlantisk vann opp til Svalbard, mens det i området nær Svalbard blir mer innblanding av arktisk vann. Vanntypen nær kysten av Norge er fra den norske kyststrømmen. Dersom ruten går nær nok Bjørnøya kan man komme inn i arktisk vann der. I **Figur 40** vises temperatur og saltholdighet for de 29 toktene som er gjort siden 2010, der de fire siste toktene er fra 2016. I mars ble det målt lavere temperatur og saltholdighet (arktisk vanntype) i vannprøven ved Bjørnøya enn i tilsvarende vannprøver tidligere som ikke var tatt like nær Bjørnøya, men på samme breddegrad. Tidsserien viser at vannet på strekningen har blitt varmere gjennom de syv årene med data, det trengs å se på flere års data for å se hvis det er en signifikant trend.

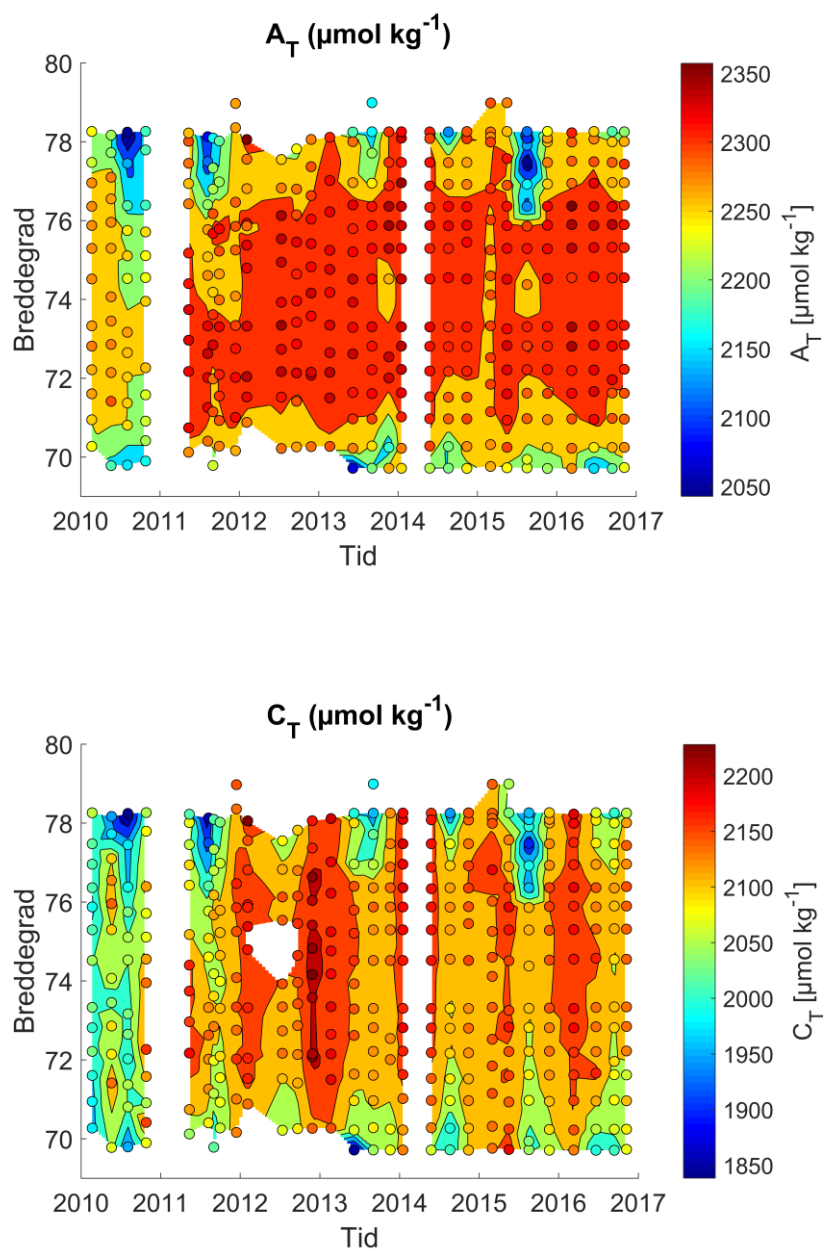


Figur 40. Syv års (2010-2017) målinger i Barentshavsåpningen av temperatur og saltholdighet målt under Tilførselsprogrammet og Havforsuringsovervåkingen. Atlantisk vann fra sør blandes med arktisk vann i nord. Helt sør ser vi innflytelsen av kystvann. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 40. Seven years of temperature and salinity measurements from the Barents Sea entrance as part of the Tilførsels and Ocean Acidification monitoring program. Atlantic water from the south mix (along the coast of Norway) with Arctic water in the north (near Svalbard) and the coastal water in the far south. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

Total alkalinitet (A_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) og total karbonat (C_T , $\mu\text{mol kg}^{-1}$) (**Figur 41**) varierte på samme vis som de forandringene man ser i saltholdighet over ulike sesonger og vannmasser (**Figur 40**). I 2016 hadde rene atlantiske vannmasser A_T mellom 2316-2357 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. I ferskere vannmasser ved norskekysten (min 69,7 til maks 73,4 °N) var A_T lavere og hadde høyere variabilitet, mellom 2146-2326 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. I vannmasser med stor arktisk innblanding langs kysten og i fjordene på Svalbard og tidvis noe sør før Sørkapp (min 74,5 til maks 78,3 °N) var det også høyere variabilitet og lavere A_T mellom 2181 -2337 $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

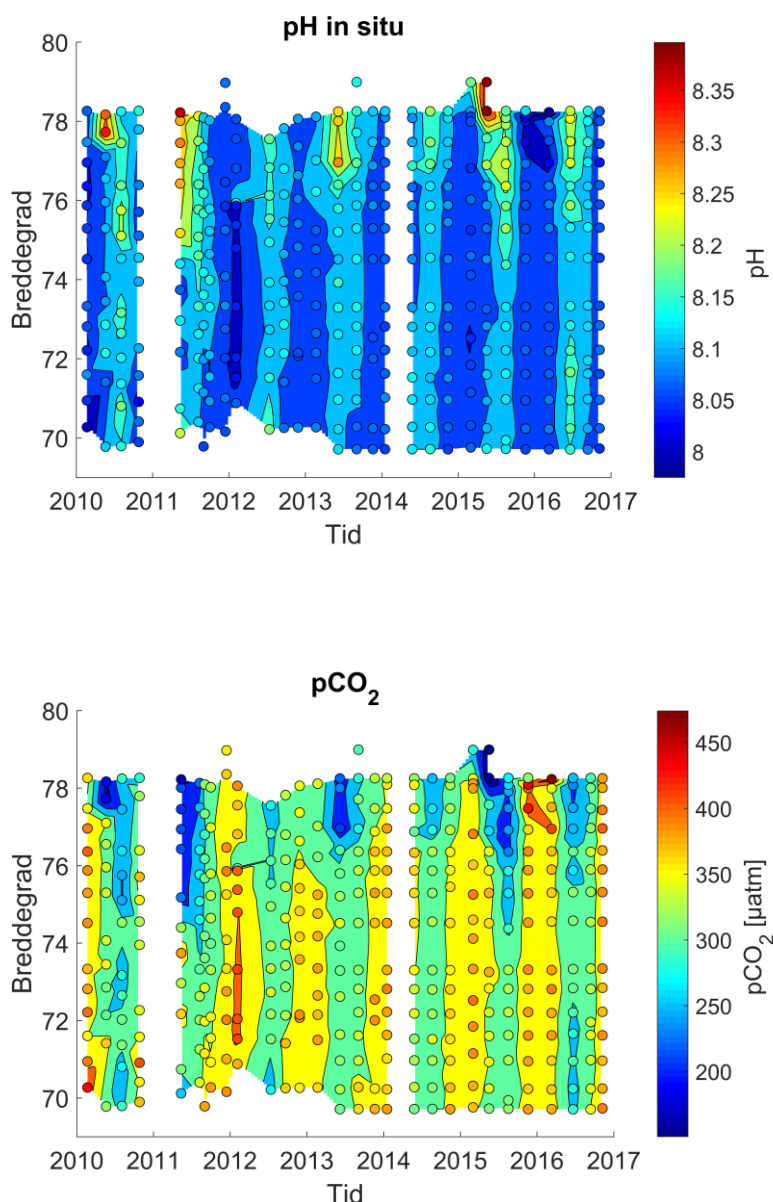
I 2016 variert C_T lite i rene Atlantiske vannmasser, mellom 2125 - 2183 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ og på samme vis som A_T varierte verdiene mer og var gjennomsnittlig lavere i vannmasser med høyere variabilitet i ferskvannspåvirkningen. I ferskere vannmasser ved norskekysten (min 69,7 til maks 73,4 °N) var C_T mellom 1995-2163 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. I vannmasser med stor arktisk innblanding langs kysten og i fjordene på Svalbard og tidvis noe sør før Sørkapp (min 74,5- maks 78,3 °N) var C_T mellom 1997 -2186 $\mu\text{mol kg}^{-1}$.



Figur 41. Total alkalinitet (A_T) og total karbonat (C_T) i Barentshavsåpningen over syv år. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen. 3 verdier av A_T ble beregnet fra C_T og pH_T grunnet analysefeil.

Figure 41. Total alkalinity (A_T) and total inorganic carbon (C_T) in the Barents Sea during seven years. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background. 3 values of A_T were calculated from C_T and pH_T due to analysis error.

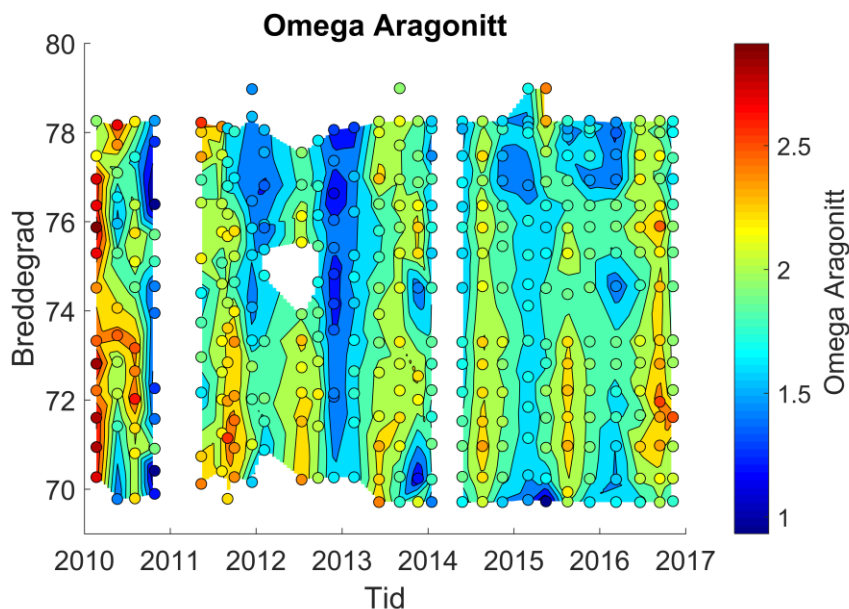
Som observert gjennom syv år gjenspeiler også 2016-verdier av pH_T og pCO_2 sesongsyklusene (**Figur 42**). De rene atlantiske vannmassene og ferskvannspåvirkede vannmasser nær kysten av Norge hadde pH_T mellom 8,056 (minimum i mars) og 8,198 (maksimum i juni) og pCO_2 mellom 266 og 390 μatm . Ferskere vannmasser nær kyst og fjorder på Svalbard hadde større variabilitet i pH_T enn de Atlantiske vannmassene, mellom 7,975 (minimum i mars nær Longyearbyen) og 8,236 (maksimum i juni). Også pCO_2 viste en høyere variabilitet ved Svalbard, mellom 235 μatm (minimum i juni) og 473 μatm (maksimum i mars nær Longyearbyen).



Figur 42. In situ pH_T målt om bord og pCO_2 (beregnet fra pH_T og A_T) fra Barentshavsåpningen. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen. 3 verdier av pCO_2 ble beregnet fra C_T og pH_T grunnet analysefeil.

Figure 42. In situ pH_T and pCO_2 (calculated from pH_T and A_T) in the Barents Sea opening. The circles show the measured (pH_T) and calculated (pCO_2) values, while the interpolated values are shown in the background. 3 values of pCO_2 were calculated from C_T and pH_T due to analysis error of A_T .

Metningsgraden for aragonitt i overflatevannet var mellom 1,3-2,5 (**Figur 43**) og for kalsitt mellom 2,1-3,95. Minimum metning ble observert sammen med lav pH på vinteren når C_T var høy. Metningen var som regel høyere om sommeren.

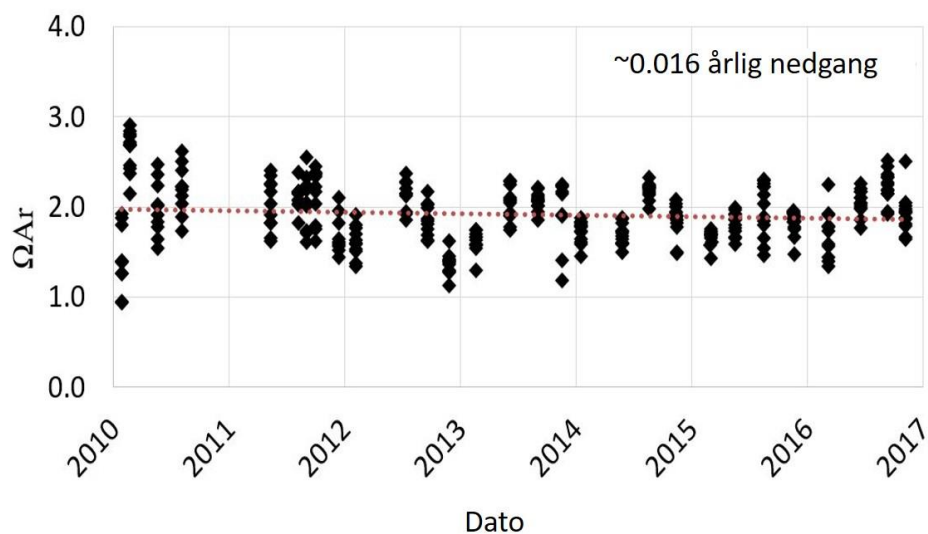


Figur 43a. Syv års verdier av Ω_{Ar} beregnet fra A_T og C_T fra Barentshavsåpningen. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen. 3 verdier av Ω_{Ar} ble beregnet fra C_T og pH_T grunnet analysefeil av A_T .

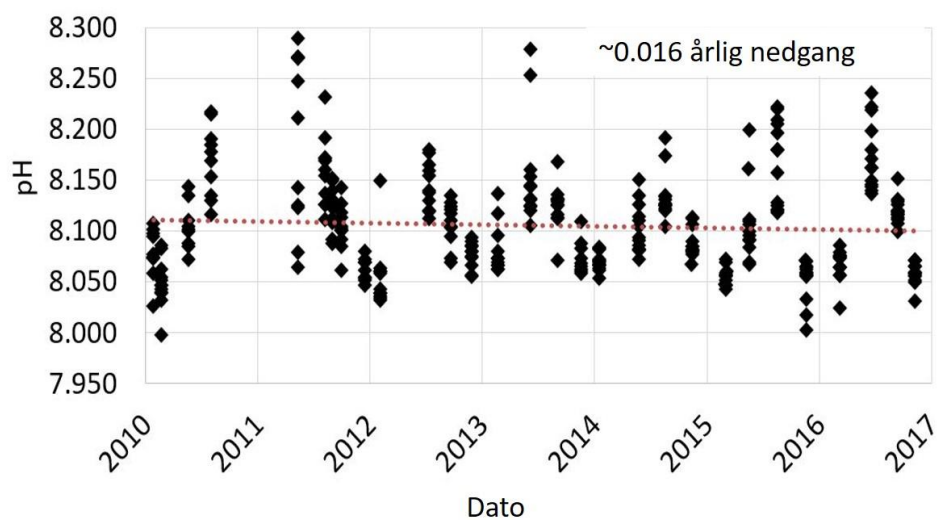
Figure 43a. Seven years of Ω_{Ar} values calculated from A_T and C_T from the Barents Sea opening. The circles show the calculated values, while the interpolated values are shown in the background. 3 values of Ω_{Ar} were calculated from C_T and pH_T due to analysis error of A_T .

I **figurene 40 til 43** vises sesongvariasjon og mellomårsvariasjon for målte og beregnede parametere mellom Tromsø og Longyearbyen i løpet av syv år med observasjoner. Tidsserien gjør det mulig å avdekke de store trekkene i sesongvariasjonen. Det ble observert lave verdier av pH ved Svalbard om vinteren, mens det i juni var høyere verdier langs hele snittet, slik som det også ble observert forhenstående år. Variasjonene gjennom sesongen skyldes sannsynligvis biologisk aktivitet. De observerte endringene av beregnet pCO_2 viser at havet er overmettet med CO_2 om vinteren, og vannet kan da bli en kilde til CO_2 der CO_2 trekkes fra vannet til atmosfæren, mens om vår, sommer og høst, forblir sjøvannet et sluk for atmosfærisk CO_2 . Trendene for metningsgraden for Aragonitt og pH er vist i **Figur 43b** og er diskutert i kapittel 4.

Tidsserie over Ω Aragonitt i Barentshavsåpningen



Tidsserie over pH i Barentshavsåpningen

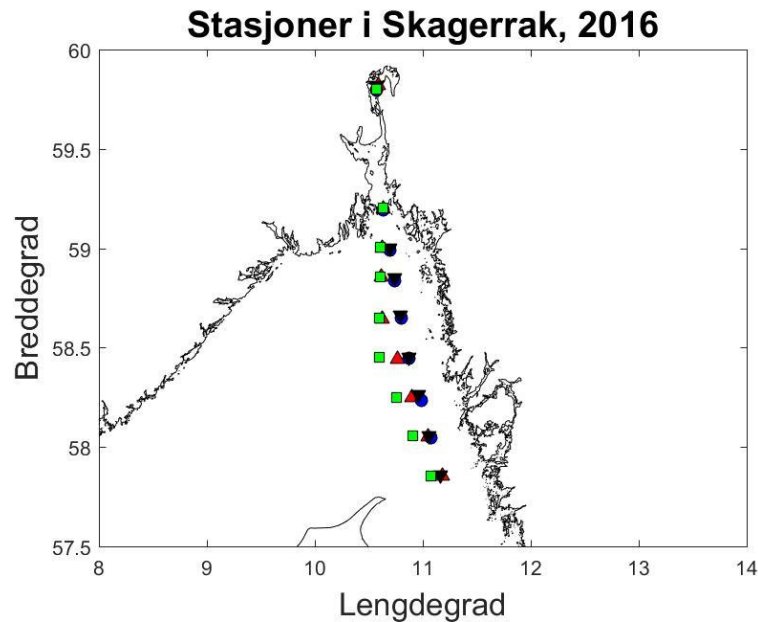


Figur 43b. Trender for metningsgraden for aragonitt og pH gjennom 7 år med målinger fra barentshavsåpningen.

Figure 43b. Trends of aragonite saturation and pH for 7 years of measurements in the Barents Sea opening.

3.8.2 Oslo-Kiel

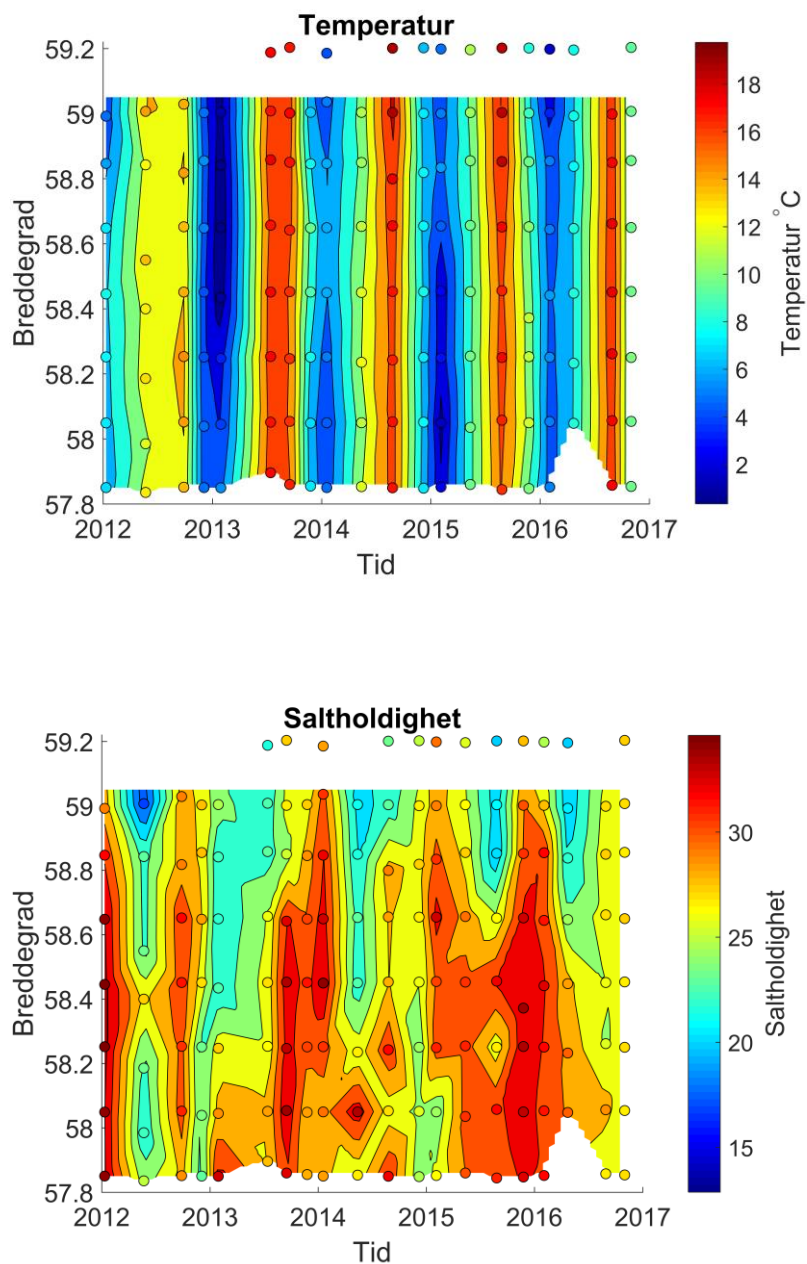
Stasjonene som ble innsamlet ombord *M/S Color Fantasy* langs snittet mellom Oslo-Kiel i 2016 er vist i **Figur 44**. Som man ser av figuren av havstrømmene i området, vist under delkapittel om norskekysten (**Figur 2b**), er vannet påvirket av ferskvann fra elver og fjorder, Atlantisk vann og vann fra Østersjøen.



Figur 44. Stasjonskart for snittet mellom Oslo-Kiel, 4.2(rød ▲), 13.5 (blå ●), 27.8 (sort ▼) og 25.11 (grønn ■).

Figure 44. Stations from Oslo-Kiel in 2014. 4.2 (red ▲); 13.5, (blue ●); 27.8 (black ▼); 25.11 (green ■).

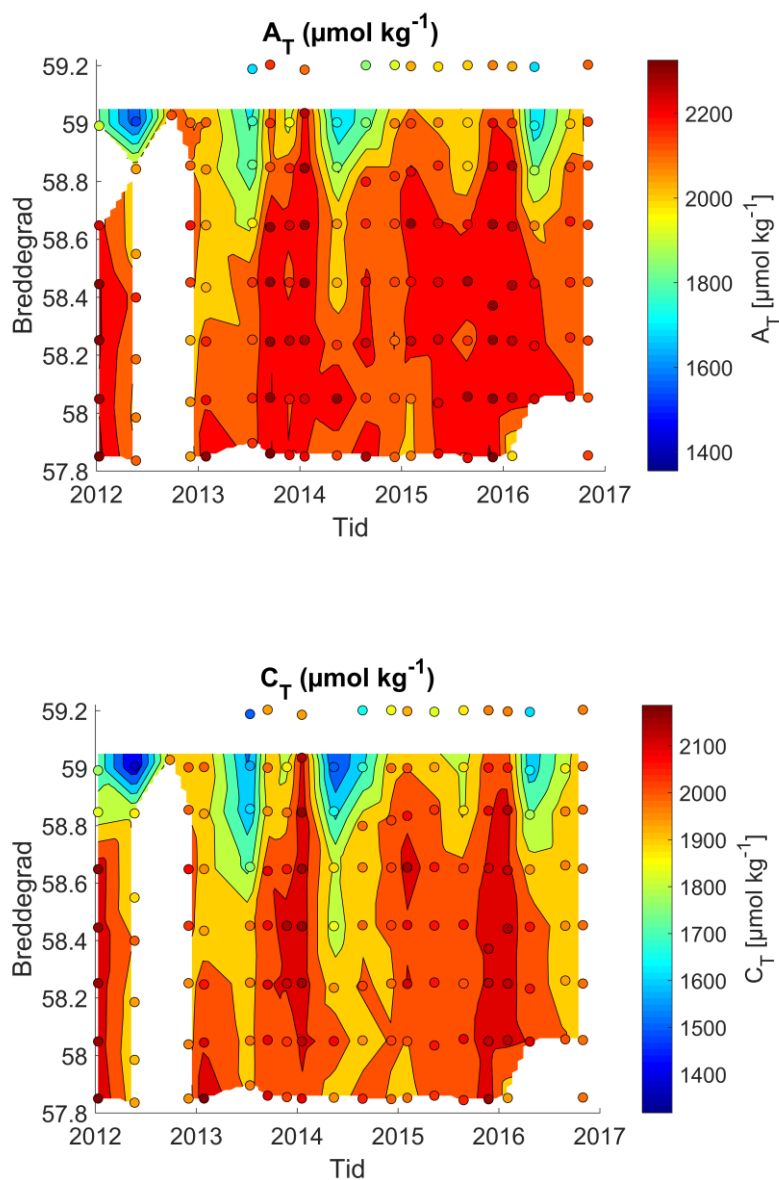
I Skagerrak varierte temperaturen gjennom året, med kalde temperaturer om vinteren (minimum 1,77 C) og varmere temperaturer på sommeren (maksimum 17,85 C) (**Figur 45**). Saltholdigheten var relativt påvirket av ferskvann om sommer og høst, med omkring 20 saltholdighet i august mot vinterverdiene (februar) på omkring 30-32 saltholdighet (**Figur 45**). Stasjonen i Indre Oslofjord vises ikke på figurene under, men verdiene er tatt med i tabellene (Tabell 7).



Figur 45. Målt saltholdighet og temperatur i overflatelaget (4 m dyp) i Oslofjorden og Skagerrak. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 45. Measured in situ salinity and sea surface temperature in the Oslo fjord and Skagerrak. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

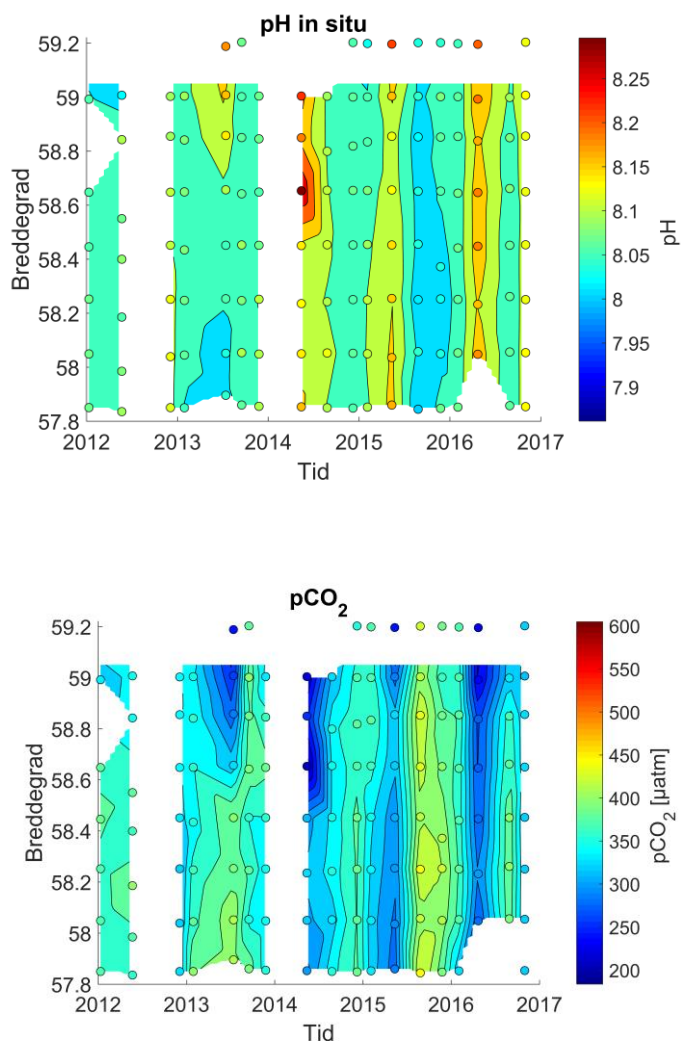
A_T og C_T var generelt høyere i vann med større Atlantisk innflytelse enn ferskere kystnære farvann (**Figur 46**). I Skagerrak varierte A_T mellom 1879,3 - 2273,6 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ og C_T mellom 1787,8- 2139,3 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. I Indre Oslofjord kunne A_T være så lav som 1679,7 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ og C_T så lav som 1565 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ om sommeren (Tabell 7).



Figur 46. Fem års samlede målinger av A_T og C_T i Oslofjorden og Skagerrak. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 46. Five years of A_T and C_T measurements in the Oslofjord and Skagerrak. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

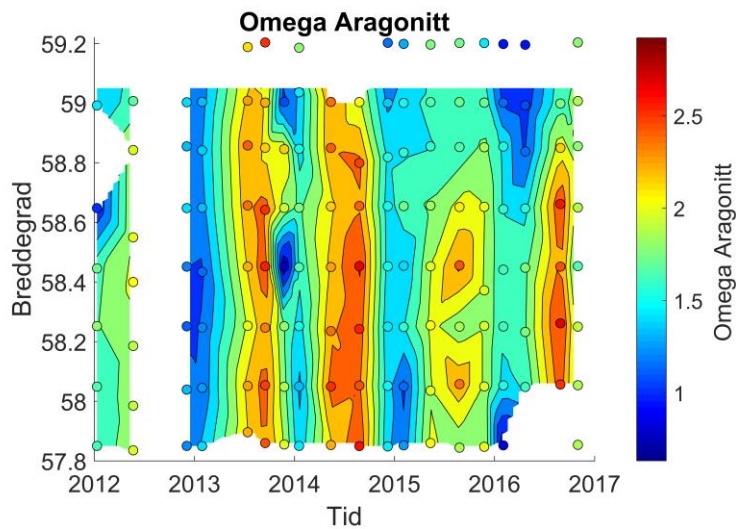
For pH og $p\text{CO}_2$ var det i 2016 høyere pH og lavere $p\text{CO}_2$ i april, mens det var lavere pH i februar og august, med høyere $p\text{CO}_2$ (**Figur 47**). I Skagerrak var maksimums- og minimumsverdier for pH_T 8,06 (vinter) til 8,18 (sommer) og $p\text{CO}_2$ 271-396 μatm . I Indre Oslofjord var pH så lav som 7,86 i november (Tabell 7).



Figur 47. pH_T og pCO_2 (μatm , beregnet fra pH_T og A_T) i Oslofjorden og Skagerrak. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 47. pH_T and pCO_2 (calculated from A_T and pH_T) in the Oslo fjord and Skagerrak. The circles show the measured (pH_T) and calculated (pCO_2) values, while the interpolated values are shown in the background.

For aragonitt- og kalsittmetning var det i 2016 lavest metning om vinteren nærmere kysten (**Figur 48**). I Skagerrak var minimum metning under 1 (0,82) om vinteren og 2,67 (sommer). I Indre Oslofjord var metningen under 1 eller svært nær 1 både i februar (0,85) april (0,95) og november (1,1) (Tabell 7).

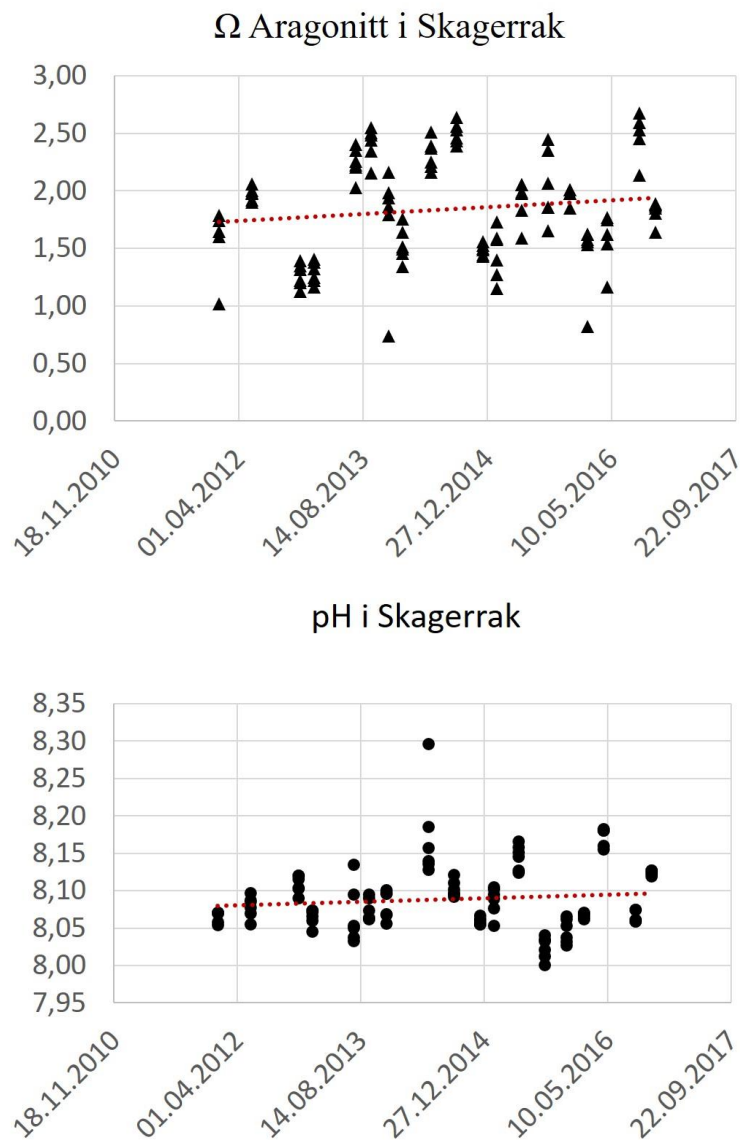


Figur 48a. Fem års samlede målinger av aragonittmetning Ω_{Ar} i overflaten, beregnet fra A_T og C_T i Oslofjorden og Skagerrak. Ringene viser målte verdier, mens interpolerte verdier vises i bakgrunnen.

Figure 48a. Five years of measurements of saturation of aragonite Ω_{Ar} calculated from A_T and C_T in the Oslofjord and Skagerrak. The circles show the measured values, while the interpolated values are shown in the background.

I **figurene 45 til 48a** vises sesongvariasjon og mellomårsvariasjon for målte og beregnede parametere i Skagerrak i løpet av fem år med observasjoner. Tidsserien gjør det mulig å avdekke de store trekkene i sesongvariasjonen, og man ser at kystnære områder generelt har størst variasjon for de ulike parametere. Det er flere tilfeller med undermetning av aragonitt i overflatevannet, særlig i Oslofjorden. Det er forventet siden ferskvann generelt minker konsentrasjon av karbonationer (Chierici og Fransson, 2009). På den sydligste stasjonen var aragonittmetningen lavere enn noen gang på vinteren.

Trendene for metningsgraden for Aragonitt og pH er vist i **Figur 48b** og er diskutert i kapittel 4.

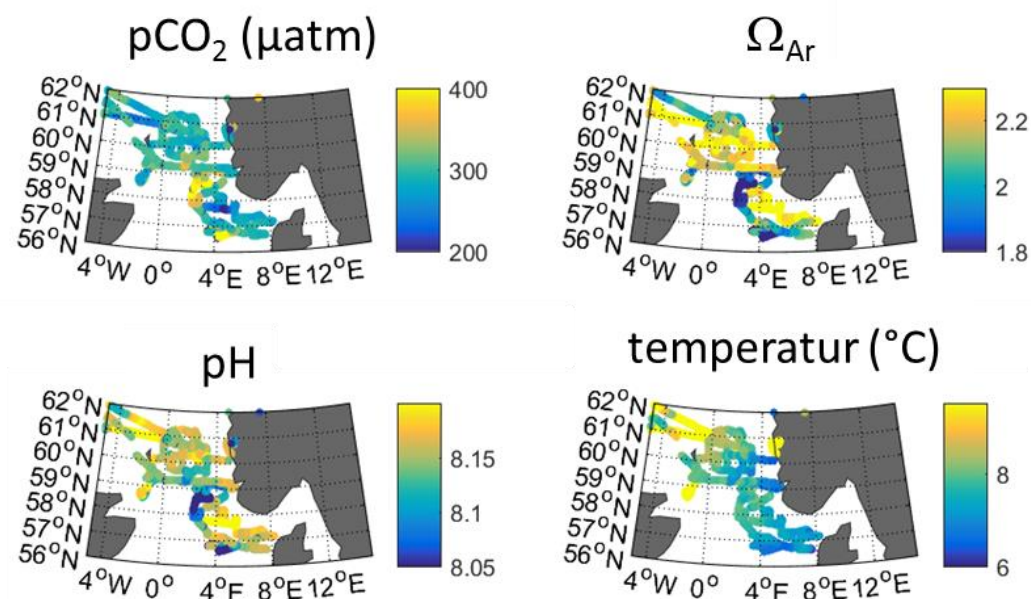


Figur 48b. Trender for metningsgraden for aragonitt og pH gjennom 7 år med målinger fra Skagerrak.

Figure 48b. Trends of aragonite saturation and pH for 7 years of measurements in the Skagerrak.

3.9 Underveis pCO₂-data i de nordiske hav

I 2016 har pCO₂ blitt målt ca. 12 ganger i timen fra *F/F G.O. Sars* og **Figur 1a** viser posisjonene der målinger er blitt tatt. Vi har delt inn dataene i vinter (februar-mars), vår (april-juni), sommer (juli-september) og høst (oktober-november). Alle pCO₂-, temperatur- og saltdata fra 2016 vises i **Vedlegg B**, og merk at skalaene varierer fra figur til figur. I **Figur 49** har vi fokusert på Nordsjøen der vi har god datadekning fra våren 2016, og figuren viser pCO₂, temperatur i overflata og beregnede verdier for pH og Ω_{Ar} (metningsgrad for aragonitt). Total Alkalinitet (A_T) er estimert fra saltholdighet i overflatevann (Nondal *m fl.*, 2009) og videre er A_T -verdiene brukt sammen med målte pCO₂-verdier i programmet CO2SYS (se kapittel 2.3) til å beregne pH på totalskala (pH_T) og Ω_{Ar} .

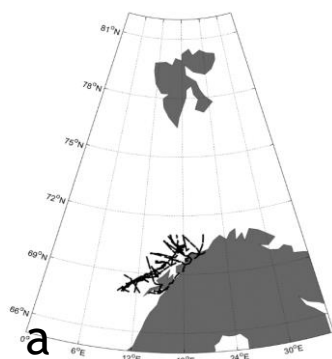


Figur 49. $p\text{CO}_2$ (μatm), Ω_{Ar} , pH_T og temperatur ($^{\circ}\text{C}$) fra Nordsjøen våren 2016.

Figure 49. $p\text{CO}_2$ (μatm), Ω_{Ar} , pH_T and temperature ($^{\circ}\text{C}$) from the North Sea during spring 2016.

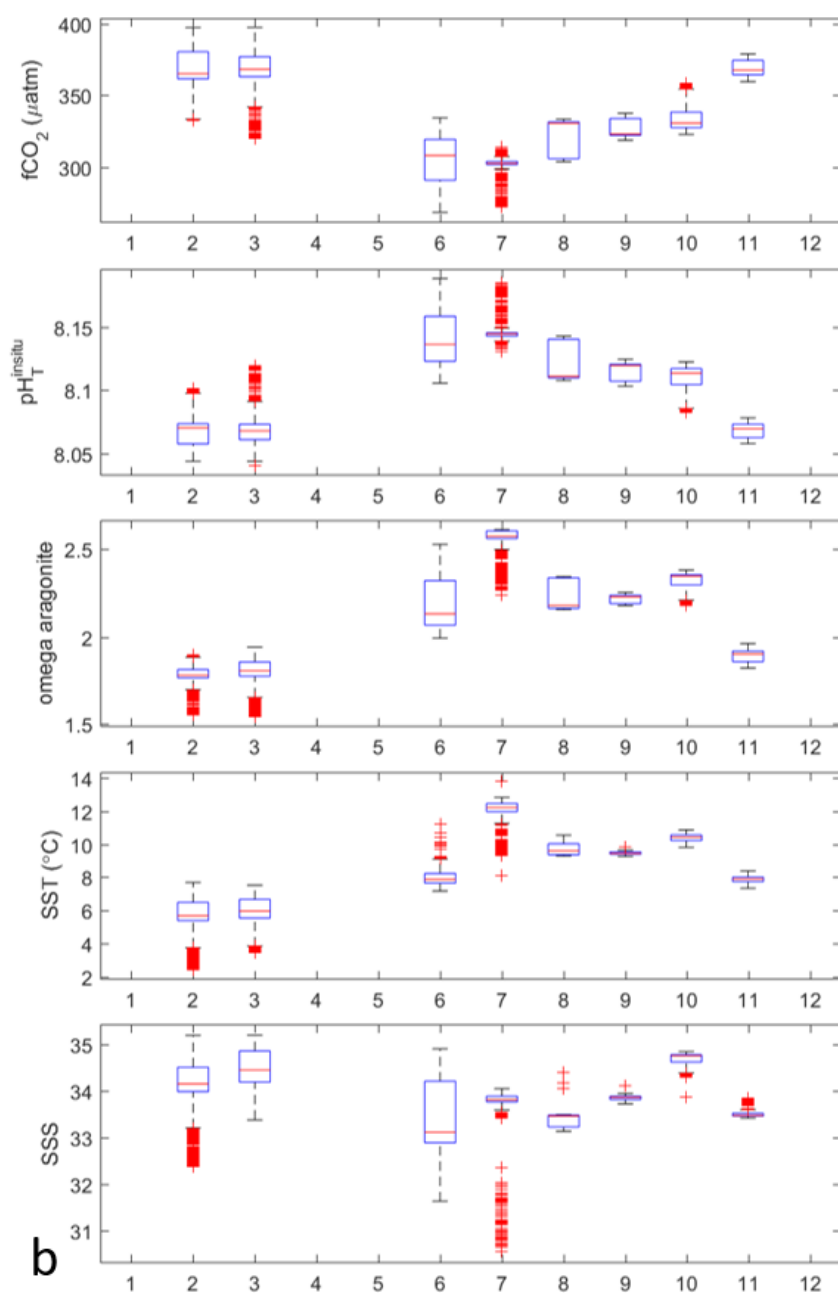
Vårdataene fra Nordsjøen (*Figur 49*) viser svært høy variabilitet der noen områder ikke viser tegn til oppblomstring mens andre åpenbart er biologisk aktive. Mellom 3 og 4° øst ses små områder der $p\text{CO}_2$ er høy og pH og Ω_{Ar} lave, som tyder på en vintersituasjon, mens utenfor kysten av Vestlandet og på vestkysten av Danmark har oppblomstringen startet med relativt lave $p\text{CO}_2$ -verdier (ca. 300 μatm) og høye pH - og Ω_{Ar} -verdier på henholdsvis rundt 8,15 og 2,1-2,2.

Et forskningsfartøy går sjelden i faste ruter, og det vil variere fra sesong til sesong og fra år til år hvilke områder som er målt. Derfor har det ikke vært mulig å studere trender over år fra et bestemt område basert på data fra *F/F G.O. Sars*. Men i 2016 var datadekningen gjennom året spesielt god i et område langs kysten av Troms (*Figur 50a*), og herfra vises data i *Figur 50b*.



Figur 50. a) Kart over området med $p\text{CO}_2$ -data fra *F/F G.O. Sars* fra hele 2016.

Figure 50. a) Map of the area with $p\text{CO}_2$ data from *R/V G.O. Sars* in 2016.



Figur 50. b) $p\text{CO}_2$ (μatm), pH_T , Ω_{Ar} , temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og saltinnhold som funksjon av måned i 2016. Røde streker i blå bokser er median av de ulike parameterne. Innenfor de blå boksene ligger 75% av alle dataene for den aktuelle parameteren. De korte, svarte strekene viser $\pm 2,7$ standardavvik (tilsvarende 99,3% dekning) fra gjennomsnittsverdien, og de korte røde strekene er data som faller utenfor dette.

Figure 50. b) $p\text{CO}_2$ (μatm), pH_T , Ω_{Ar} , temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity as function of month. Red lines in blue boxes is the median of the different parameters. Within the blue boxes is 75% of the data for den parameters of interest. The short black lines show ± 2.7 standard deviation of the average (i.e. 99.3% coverage) and the short red lines represents the rest of the data.

Medianverdiene for de ulike parameterne (de røde strekene inne i blå bokser i **Figur 50b**) er beregnet for hver måned og disse viser hvordan de ulike parameterne varierer gjennom året, med avtakende $p\text{CO}_2$ når oppblomstringen starter i april/mai og tilsvarende økende pH og Ω_{Ar} . pH når høyeste verdi tidligere enn Ω_{Ar} , som vist i Skjelvan *m. fl.* (2015) og Omar *m.fl.* (2016), og dette er et resultat av at begge parameterne vil øke når blomstring skjer, mens temperatur virker motsatt på pH og Ω_{Ar} . Vintertemperaturen i dette området er ca. 6°C og sommertemperaturen er høyest i juli (ca. 12°C). Innenfor de blå boksene ligger 75% av alle dataene fra området for den aktuelle parameteren og måneden. Smale bokser vitner om uniformt vann i området mens høye bokser indikerer at flere vannmasser med ulike karakteristikk er med og påvirker de målte parameterne i området, f.eks. en blanding av salt nord-Atlantisk vann og ferskere kystvann i sommersesongen.

4. Oppsummering og anbefalinger

Dette overvåkingsprogrammet har som mål å få oversikt over havforsuring i norske farvann og forstå variasjonen fra sesong til sesong og mellom år. Programmet har vart fra 2013 til 2016, men havforsuringsovervåking startet allerede i 2010. Alle data produsert i programmet vil inngå i en beskrivelse av dagens status som fremtidige endringer kan vurderes opp mot. Data fra vannkolonnen gir informasjon som kan brukes til å utvikle scenarier for framtidige CO_2 -konsentrasjoner, havets opptak av antropogent CO_2 , og hvordan dypet av metningshorisonten endres. Selv om vi begynner å få oversikt over geografisk og tidsmessig variasjon i havforsuringsparameterne, er det enda for tidlig å konkludere med hvilke prosesser som driver endringen i havforsuring i de ulike regionene, over ulike sesonger og mellom ulike år. Dette krever en mer helhetlig overvåking d v s integrerte målinger og studier av primærproduksjon, hav-fysikk, ferskvanntilførsler og land-hav utveksling; blant annet trengs målinger fra flere sesonger. Tidligere studier har vist at tilførsler av antropogent CO_2 til Norskehavet er liten med en $p\text{CO}_2$ økning i overflata på 2-3 $\mu\text{atm år}^{-1}$ (Skjelvan *m fl.*, 2014). Dette er svært lite sammenlignet med den naturlige bakgrunnskonsentrasjonen av CO_2 (ca. 250 - 400 μatm avhengig av område og årstid) og sesongvariasjonen av CO_2 (ca. 50 - 150 μatm avhengig av område og årstid) i dette området. Dermed trenger vi lange tidsserier tilsvarende de 20 årene det har blitt målt i Islandshavet (Olafsson *m fl.*, 2009) for å kunne si noe om forholdet mellom antropogen påvirkning og naturlig variasjon. Dette overvåkingsprogrammet, som nå har eksistert i 6 år, gir likevel økende innsikt i hvordan trenden ser ut i visse havområder. For eksempel viser målinger at i Norske- og Lofotenbassenget avtar pH raskt (Skjelvan *m fl.*, 2013; 2014), og sett i lys av den store forekomsten av kaldtvannskoraller i området, er det svært viktig å fortsette overvåkingen av havforsuringstrender. Hvis aragonittmetningen i området blir lavere enn 1 vil korallene løses opp, men en stund før dette nivået nås vil korallene oppleve vanskelige vekstvilkår. Basert på seks år med målinger i dypvannet ved Stasjon M og på Svinøysnittet (2°E-stasjonen) kan vi slå fast at pH og aragonittmetningen avtar raskere her enn mange andre steder. Vi håper at noen få år til med data vil kunne gi svar på om dette også er tilfellet for Gimsøysnittet i det nordlige Norskehavet. Trendene for pH og aragonittmetningen i Barentshavet er svake, men viser en nedgang i pH og aragonittmetning. På samme tid er det en økning i alkalinitet og temperatur noe som kan vise at det er økt tilførsel av atlantisk vann til området. Variasjoner i havstrømmer kan gjøre tidsseriene vanskelig å tyde, men det er også svært viktig å overvåke hvilken betydning det har for havforsuringen i området.

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. Spesielt i Barentshavet finnes det relativt få kjemiske data fra før, og i lys av denne vekker overvåkningsprogrammet også internasjonal interesse. Programmet bidrar også med data og kunnskap til det internasjonale nettverket for havforsuringsovervåking (Global network for Ocean Acidification ObservationNs GOA-ON og ICES Study Group of Ocean Acidification-SGOA).

4.1. Nordsjøen

Den sesongmessige variasjonen i CO₂-systemet i Skagerrak (Nordsjøen) er hovedsakelig drevet av store variasjoner i saltholdighet. Dette er et resultat av svingninger i forholdet mellom ferskvannstilførsel fra elver og Østersjøen og saltvannstilførsel fra Atlanterhavet. Forholdet mellom disse tilførselene vil variere fra år til år, som et resultat av vær og vind, og kan dermed tilsløre eventuelle karbonatkjemiendringer som skulle stamme fra økt CO₂ opptak fra atmosfæren. I vannsøylen viser vinterdata i 2016 i Nordsjøen/Skagerrak lignende variasjoner i karbonatkjemien som i 2015 som var et år med stor påvirkning av innblandet ferskvann, med generelt lave A_T⁻, C_T⁻, pH- og aragonittmetningsverdier i overflaten. Aragonittmetningen var mellom 1,79 og ca 2 i overflaten som er litt høyere enn i 2015. Laveste pH på 7,917 og laveste aragonittmetning ble funnet i vann på 600 m dybde i retning mot den danske kysten, og her vises og minkende pH og aragonittmetning langs snittet for hele perioden. Det er sannsynligvis en kombinasjon av innblanding av atlanterhavsvann og CO₂-produksjon fra respirasjon av organisk materiale som bidratt til denne minking. Ved 100 m vises ikke noen trend i disse parameter langs snittet.

Målinger fra lenger øst i Skagerrak viser relativt høyere C_T⁻, A_T⁻ og pCO₂-verdier om vinteren enn om sommeren og motsatt med lavere pH og aragonittmetning om vinteren. Gjennomsnittsverdier for vinter (februar) i Skagerrak var 8,00 for pH, 1,45 for aragonittmetningen og 365 µatm for pCO₂. I 2016 ses undermetning av aragonitt i Oslofjorden i februar (0,84 i Indre oslofjord, 0,95 lenger ut i fjorden) og april (0,96 i Indre oslofjord og 0,95 lenger ute i fjorden) (**Tabell 7**). Om sommeren ses generelt lavere C_T⁻, A_T⁻ og pCO₂-verdier nær kysten. Gjennomsnittsverdier i Skagerrak om sommeren var 8,10 for pH, 1,95 for aragonittmetningen og 328 µatm for pCO₂. Trendene for pH og aragonittmetning er at de begge er økende i det østlige Skagerrak på snittet mellom Oslo-Kiel, noe som kan tyde på varierende tilførsler av atlantisk vann inn i området. Vi har sett at Atlantisk vann har relativt høy alkalinitet og vil derfor kunne gi høyere pH, og vi ser en økning i alkalinitet over disse 5 årene med målinger. pH har økt med 0,003 i året og aragonittmetningen med 0,037 i året i løpet av de 5 årene med data som er analysert. Som vi har vist er sesongvariasjonen stor i overflatevannet og derfor er disse trendene fortsatt usikre og det er et behov for lengere tidsserier.

Vårdata fra Nordsjøen (*F/F G.O. Sars*) viser svært stor variabilitet fra områder der våroppblomstringen har kommet langt til områder der vinteren fremdeles er tydelig. Eksempel på vinterverdier finnes sentralt i Nordsjøen der pCO₂, pH og Ω_{Ar} er henholdsvis 400 µatm, 8,05 og 1,8, mens vårverdier måles på vestkysten av Norge og Danmark der pCO₂, pH og Ω_{Ar} er henholdsvis ca. 300 µatm, 8,15 og 2,1-2,2.

4.2 Norskehavet

Tidligere indikasjoner og beregninger med historiske data har påvist at pH avtar raskere i Norskehavet enn i andre deler av Nord-Atlanteren. Derfor er fortsatte målinger i dette området svært viktige. Data fra 2016 viser at trenden fortsetter og i en del tilfeller minker pH raskere enn fra resultater som rapporteres i 2015 data med 0,003/år i Norskehavets bassenger. Sett over hele seksårsperioden avtar pH med ca. 0,004 enheter pr. år i det dypeste vannet ved 2°E på Svinøy-snittet og på Stasjon M, og dette er dobbelt så mye som ved andre tidsserier ved Bermuda (BATS), Hawaii (HOTS) og ved Kanariøyene (ESTOC). De laveste pH-verdiene finnes på bunnen nært kysten og lengst i nordvest. Aragonittmetning er relativt homogen i overflaten og synker gradvis med økende dyp og er 1,11 ved på 1500 m ved den nordvestligste stasjonen både på Svinøy-NV og på Gimsøy-NV. Undermetning med aragonitt finnes dypere enn ca 2000 m på Svinøy-NV som tidligere år. Ved 2°E på Svinøy-NV ble aragonittmetningen redusert ved 100 m og 500 m dyp mellom 2011 og 2016 med ca 0,03/år. Saltholdighet viser også en minkende trend i øvre 500 m og det er sannsynlig at en større andel kystvann med lavere saltholdighet er grunnen til minkende aragonittmetning mellom 2011-2016.

I Norskehavet, mellom Svinøy-NV og Gimsøy-NV, ligger Stasjon M, som er målt gjennom hele året. Tydelige sesongvariasjoner ses både i temperatur og karbonparametere i de øverste 100 til 150 m, men under dette er det mer vilkårlige frekvenser på endringene. C_T -verdier i det øverste vannlaget blir tydelig påvirket av biologisk produksjon fra april-mai og utover, og det samme er tilfelle for pH og Ω_A . Som tidligere år ses en noe avtakende pH på midlere dyp på grunn av økende mengder tilført remineralisert materiale. På Stasjon M er vinterverdier av pH og aragonittmetning henholdsvis 8,07 og 1,91 i overflata, mens sommerverdiene er ca. 8,14 og 2,73. Metningshorisonten for aragonitt, som beskriver skillet mellom overmettet og undermettet vann, ligger på 1700 m dyp, som er grunnere enn det som er målt i 2013 - 2015, og som også er grunnere enn det som observeres på de vestligste stasjonene på Svinøy-NV. Over årene 2011 til 2016 blir det dypeste vannet (1950 til 2100 m) gradvis surere (0,0041 år⁻¹) og aragonittmetningen avtar (0,0095 år⁻¹).

På snittet Gimsøy-NV i den nordre delen av Norskehavet ses lignende variasjon som lenger sør med påvirkning av kystnært vann sammen med Atlanterhavsvann. I 2015 er det inkludert en stasjon i Lofotenbassenget lengst nordvest på snittet, siden tidligere målinger har vist en trend mot minkende verdier der. Her er de laveste pH verdiene på ca. 8,015 på 2500 m dyp. Dypere enn 2100 m på stasjonen lengst i nordvest på Gimsøy-NV ses undermetning av aragonitt ($\Omega_{Ar} < 1$), og dette er noe dypere enn det som er observert på Stasjon M og på Svinøy-NV. Midlere aragonittmetning over hele Gimsøy-NV med alle dyp er lavere (ca. $1,61 \pm 0,34$) sammenlignet med lenger sør i Norskehavet langs Svinøysnittet ($1,63 \pm 0,30$).

4.3 Barentshavet

I 2016 som i årene tidligere observeres det stor variabilitet i vannkjemien i Barentshavet, noe som understreker viktigheten av lange tidsserier. Sesongvariasjoner i saltholdighet og temperatur er viktige drivere for karbonsystemet, men påvirkning både fra biologisk og menneskelig aktivitet vil komme i tillegg. Snittet Fugløya-Bjørnøya ble samlet inn i januar, før starten av den biologiske perioden, og dette gjenspeiler noe mindre variabilitet i dette området enn tidligere år. Tidsserier fra perioden 2011-2016 viser ikke noen tydelig trend i

karbonatkjemien. Det skyldes til viss grad sesongvariasjon og at data er fra ulike måneder i enkelte år. Det trengs flere år og flere ganger i året med datainnsamling for å se trender i karbonatkjemien og hva som driver endringene. Kyststasjonen på snittet Fugløya-Bjørnøya er påvirket av kyststrømmen, og har lave C_T - og A_T -verdier. Lenger bort fra kysten er det atlantehavsvann som gir de høye og homogene A_T -verdiene i hele vannkolonna så langt nord som til polarfronten, men ved 74°N er det polart vann som dominerer, med lave A_T -verdier. Midlere metningsverdi for aragonitt (Ω_{Ar}) langs hele Fugløya-Bjørnøya snittet inkludert alle dyp er $1,80 \pm 0,12$ i 2016, som er det samme som i 2015, men lavere enn i 2014. Trendstudier langs snittet påviser ikke noen tydelig trend i vannsøylen langs snittet.

Nordøstligste Barentshav, er mer påvirket av isdekke og smeltevann, og har lavere midlere aragonittmetning; $1,65 \pm 0,27$, som i prinsipp er samme metning som i 2015 (1,58), men mye lavere enn i 2014 (1,82). Den lave metningsverdien i 2015 og 2016 skyldes innblanding av smeltevann, siden isforholdene var gunstige disse årene og 2016-snittet gikk like langt nord som i 2015. I bunnvannet har lavest pH-verdi på ca. 7,98. Her er også aragonittmetningen lav, ca. 1,25, som er litt høyere enn i 2015 (<1,20), som var lavest i hele tidsperioden 2011-2016. C_T i bunnvannet er relativt høy, og det er trolig mikrobiell nedbrytning av organisk materiale som gir høy C_T og lav Ω_{Ar} ved bunnen. Det måles ikke undermetning av aragonitt (eller kalsitt) i Barentshavet i 2016.

Overflatedata fra Barentshavsåpningen og vestlige Barentshav ble undersøkt både av UNI og NIVA, og om vinteren lå pCO_2 -verdiene rundt 360-370 μatm i åpent farvann. Sommerverdiene varierte mellom 290-300 μatm , med laveste verdier i nord. Vinterverdier for pH og Ω_{Ar} var henholdsvis 8,06-8,07 og 1,5-1,9, mens sommerverdier i åpent hav varierte mellom 8,06-8,15 og 1,9-2,2. Barentshavsåpningen var overmettet med hensyn på aragonitt i hele 2016.

Barentshavet er spesielt, sammenlignet med våre andre havområder fordi det opplever store naturlige variasjoner; ulik innstrømning av Atlantervann, ulik utbredelse av isdekket og varierende og flekkvis biologisk aktivitet. Lange måleserier er det eneste som kan gi svar på hvordan alle disse prosessene virker sammen. Trendene for overflatevannet langs Barentshavsåpningen på snittet mellom Tromsø-Longyearbyen viser at pH og aragonittmetningen ser ut til å bli lavere gjennom de 7 årene med data som finnes på strekningen. pH synker med 0,0016 i året og aragonitt med 0,016, men med en så stor sesongvariasjon er usikkerheten fremdeles stor og det er et stort behov for lange tidsserier.

5 Anbefalinger

Data fra i 2011-2016 bekrefter ytterligere de raskt minkende pH verdiene som er rapportert fra Skjelvan *m fl.* (2013; 2014) fra overflaten og ned til bunnen i Norskehavet og området rundt Lofotenbassenget, og vi anbefaler at målinger i dette området fortsetter.

Når et vannkolonne-snitt måles bare en gang i året går man glipp av viktig informasjon om sesongsykluser. Vinterverdier gir uvurderlig informasjon om basissituasjonen for et biologisk avslått system, men det er også viktig å forstå hvordan primærproduksjon virker på havforsuringsparameterne og hvordan produksjonen kan endres av klimatiske påvirkninger. Målinger på Stasjon M viser hvordan karbonsystemet endres fra årstid til årstid, men for eksempel Fugløya-Bjørnøya er i 2016 bare samlet inn i januar og gir dermed ingen indikasjon om påvirkning fra biologisk aktivitet. Vi anbefaler å måle vannsøylesnittene tre til fire ganger

pr. år slik at sesongvariasjonen kan fanges opp, spesielt i de områder som nå indikerer minkende pH verdier i raskere takt enn i andre hav.

Skjelvan *m. fl.* (2014) konkluderte mellom annet med at vi mangler informasjon og data fra Nordsjøen, som er det området vi ser størst menneskelig påvirkning med stor skipsaktivitet, men også stor mulighet for overvåkning. Vannkolonnen i Nordsjøen er i dag dekket av snittet Torungen-Hirtshals, som i realiteten ligger i Skagerrak. Dermed er det svært få, om noen, vannkolonnemålinger fra Nordsjøen, og det er vanskelig å si noe kvalifisert om karbonkjemien i vannsøyla i dette området. Vi anbefaler at det startes karbonkjemimålinger ved hjelp av allerede eksisterende infrastruktur ved Utsira på Sør-Vestlandet. Utsira-V snittet går rett vestover fra Utsira nord for Stavanger, og dette snittet dekker nordlige del av Nordsjøen og har målt hydrografi i mange år. I Nordsjøen har også IMR årlige økotokt med fokus på biologisk prøvetaking. Etter flere år med målinger også i Oslofjorden på snittet Oslo-Kiel ser vi der store påvirkninger på pH og aragonittmetning som gjentatte ganger er beregnet til <1 . Vi anbefaler videre overvåking i Oslofjorden og andre fjorder der påvirkningen er stor. Vi anbefaler også å se grundigere på hvilke påvirkninger som har størst innvirkning og også innhente vannsøyledata flere ganger i året.

Etter to år med vannkolonnemålinger ved Skrova er det, som forventet, åpenbart at variabiliteten i karbonsystemet er mye større enn det som observeres lenger ute i havet. Her vil for eksempel avrenning fra land, tidevann, men også akvakulturvirkosomhet spille inn. Slike målinger er det viktig å fortsette med. Dette vil gi viktig kunnskap om variabilitet i havforsuring nær land, og har betydning med tanke på utnyttelse av fjorder for både rekreasjon, næringsaktivitet som avfallsdeponi og akvakultur.

Kaldtvannskoraller er et tema som det internasjonale forskersamfunnet fokuserer mye på (ICES, 2014), og norskekysten har rikelig av slike korallrev. Det mangler fortsatt informasjon om karbonatkjemien i områder med kaldtvannskoraller. Data fra det eksisterende programmet kan til en viss grad brukes, men vi anbefaler at det startes overvåkning av noen utvalgte korallrev. Dette kan best gjøres med automatiske målinger av *in situ* pH og pCO_2 , sammen med oksygen og andre parametere, for eksempel ved bruk av en rigg eller en såkalt «lander» som ble brukt ved Nakkenrevet i Langenuen i perioden mai 2016-mars 2017 (personlig kommunikasjon om FATE, Tina Kutti). Vannprøver brukes for å kalibrere og kvalitetssjekke sensorene. Bruk av automatiske vannprøvetakere og analyse av C_T og A_T kan være en annen mulighet for å få sesongmessig dekning. Det er også anbefalt å studere flere rev for å fange opp ulikheter i "optimale" kjemiske forhold. Det vil gi viktig informasjon om potensiale for tilpasning til ulike kjemiske forhold og klimaendringer. F eks vil det være verdifullt å overvåke områder med høyere og lavere C_T -verdier.

En ny studie sammenfatter observasjoner og metodikk for å studere effekter av havforsuring på aragonittdannende vingesnegl der man har påvist kobling mellom skalltykkelse og aragonittmetning i både naturen og i laboratorieeksperiment (Manno *m fl.*, 2017). Der gis anbefalinger om metodikk for innsamling og metodikk for å observere mulig negativ effekt på skall på grunn av havforsuring. Et overvåkingsprogram av *L.helicina* har begynt ved nordlige delen av Stillehavskysten, og etter hvert er det kanskje mulig å implementere i norske farvann. Ikke publiserte data fra forskningsprosjekt innenfor Flaggskipet Havforsuring innenfor FRAM viser stor forekomst av *L.helicina* og *L.retroversa* i deler av Norskehavet, Barentshavet og omkring Svalbard.

6. 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.

Bellerby, R. G. J, A. Olsen, T. Johannessen & P. Croot. A high precision spectrophotometric method for on-line shipboard seawater pH measurements: the automated marine pH sensor (AMpS). *Talanta*, 56(1):61-69, 2002.

Behrenfeld, M.J. Abandoning Sverdrup's Critical Depth Hypothesis on phytoplankton blooms. *ECOLOGY* 91, 4, 977-989, 2010.

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

Chierici, M and Fransson, A., 2009. CaCO₃ saturation in the surface water of the Arctic Ocean: undersaturation in freshwater influenced shelves. *Biogeosciences*, 6, 2421-2432. www.biogeosciences.net/6/2421/2009

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 havsforsuring i norske farvann, Rapport, Miljødirektoratet, TA218-2014, 2014.

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 havsforsuring i norske farvann i 2014, Rapport, Miljødirektoratet, M-354-2015, 2015.

Chierici, M., I. Skjelvan, M. Norli, H.H. Lødemel, L.F. Lunde, K.Y. Børsheim K. Sørensen, E. Yakushev, A. Renner., T. Kutti., R. Bellerby, A.L. King, S. K. Lauvset, T. Johannessen,. 2016. Overvåking av havsforsuring i norske farvann i 2015, Rapport, Miljødirektoratet, M-354|2016.

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: $\text{AgCl(s)} + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{(g)} = \text{Ag(s)} + \text{HCl(aq)}$, and the standard acidity constant of the ion HSO_4^- 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.

Dupont, S & H. Pörtner. A snapshot of ocean acidification research. *Marine Biology*, 160:1765-1771. DOI 10.1007/s00227-013-2282-9, 2013.

Flögel, S., Rüggeberg, A., Mienis, F. and Dullo, W-Chr. (2013): Geochemical and physical constraints for the occurrence of living cold-water corals. *Deep-Sea Research I.* doi: 10.1016/j.dsr2.2013.06.006.

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.

Manno, C., N. Bednaršek., G. A. Tarling., V. L. Peck., S. Comeau., D. Adhikari., D. C.E. Bakker., E. Bauerfeind., A. J. Bergan., M. I. Berning., E. Buitenhuis., A. K. Burridge, M. Chierici., S. Flöter., A. Fransson., J. Gardner., E. L. Howes., N. Keul., K. Kimoto., P. Kohnert., G. L. Lawson., S. Lischka., A. Maas., L. Mekkes., R. L. Oakes., C. Pebody., K. T.C.A. Peijnenburg., M. Seifert., J. Skinner., P. S. Thibodeau., D. Wall-Palmer., and P. Ziveri. 2017. Shelled pteropods in peril: Assessing vulnerability in a high CO₂ ocean. *Earth Science Reviews* (2017), doi: 10.1016/j.earscirev.2017.04.005

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.
- Olsen, A., A.M. Omar, R.G.J. Bellerby, T. Johannessen, U. Ninnemann, K.R. Brown, K.A. Olsson, J. Olafsson, G. Nondal, C. Kivimae, S. Kringstad, C. Neill & S. Olafsdottir. Magnitude and origin of the anthropogenic CO₂ increase and C-13 Suess effect in the Nordic seas since 1981. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, 2006.
- Olsen, A., K.R. Brown, M. Chierici, T. Johannessen & C. Neill. Sea-surface CO₂ fugacity in the subpolar North Atlantic. *Biogeosciences* 5:535-547, 2008.
- Omar, A.M., T. Johannessen, S. Kaltin & A. Olsen. Anthropogenic increase of oceanic pCO₂ in the Barents Sea surface water, *J. Geophys. Res.*, 108(C12), 3388, 2003.
- Omar, A.M. & A. Olsen, Reconstructing the time history of the air-sea CO₂ disequilibrium and its rate of change in the eastern subpolar North Atlantic, 1972-1989. *Geophysical Research Letters* 33, L04602, doi: 10.1029/2005GL025425, 2006
- Omar, A.M., T. Johannessen, A. Olsen, S. Kaltin & F. Rey. Seasonal and interannual variability of the air-sea CO₂ flux in the Atlantic sector of the Barents Sea. *Mar Chem* 104:203-213, 2007.
- Omar, A. M., A. Olsen, T. Johannessen, M. Hoppema, H. Thomas & A.V. Borges. Spatiotemporal variations of fCO₂ in the North Sea. *Ocean Sci. Discuss.*, 6, 1655-1686, 2009.
- Omar, A., I. Skjelvan, S.R. Erga & A. Olsen, 2016: Aragonite saturation states and pH in western Norway fjords: seasonal cycles and controlling factors, 2005-2009, *Ocean Sci. Discuss.*, doi:10.5194/os-2016-9.
- Orr, J. C., V. J. Fabry, O. Aumont et al., Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437, 681-686, 2005.
- Pierrot, D., 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.

- Reggiani, E.R., A.L. King, M. Norli, P. Jaccard, K. Sørensen & R.G.J. Bellerby. FerryBox-assisted monitoring of mixed layer pH in the Norwegian Coastal Current, *Journal of Marine Systems*, Available online 1 April 2016, ISSN 0924-7963, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.03.017>, 2016.
- Reggiani, E.R., R.G.J. Bellerby & K. Sørensen. Underwater spectrophotometric detection: scaling down ocean acidification monitoring, *Sensor Systems for a Changing Ocean (SSCO)*, proceedings, 2014.
- Rey, F. Phytoplankton: The grass of the sea, in *The Norwegian Sea Ecosystem*, edited by H.R. Skjoldal, Tapir, Trondheim, Norway, pp. 93-132, 2004.
- Siegel, D. A., S.C. Doney & J.A. Yoder. The North Atlantic spring phytoplankton bloom and Sverdrup's critical depth hypothesis. *Science* 296, 730-733. 2002.
- Skjelvan, I., E. Falck, F. Rey & S.B. Kringstad. Inorganic carbon time series at Ocean Weather Station M in the Norwegian Sea, *Biogeosciences*, 5, pp. 549-560, 2008.
- Skjelvan, I., A. Olsen, A. Omar & M. Chierici. Rapport fra arbeidet med å oppdatere 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.
- Skjelvan, I. & A. M. Omar. Kunnskapsstatus for havforsuring langs i fjorder langs Vestlandskysten, Rapport, Miljødirektoratet, M426-2015, 2015.
- 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.
- Stiasny, M. H., F. Mittermayer, F., Sswat, M., Voss, R., Jutfelt, F., Chierici, M., Puvanendran, V., Mortensen, A., Reusch, T.B.H., and C. Clemmesen., 2016. Ocean Acidification Effects on Atlantic Cod Larval Survival and Recruitment to the Fished Population, *PLOS ONE*, 11 (8). DOI: 10.1371/journal.pone.0155448
- 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 (*Mercenaria mercenaria*), bay scallops (*Argopecten irradians*) and Eastern oysters (*Crassostrea virginica*). *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.

7. Vedlegg A. Datatabeller

Tabell 1. Torungen-Hirtshals, 5 februar 2016. 5th February 2016.

Stn	Lat N	Lon Ø	Dyp m	S	T (°C)	A _T ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	C _T ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	pH	WCa	W Ar	NO ₃ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	PO ₄ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	SiOH ₄ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)
200	58.40	8.77	10	31.39	4.53	2245	2104	8.079	2.60	1.63	7.9	0.55	7.72
200	58.40	8.77	30	32.48	5.43	2276	2135	8.045	2.58	1.62	7.7	0.56	6.97
200	58.40	8.77	50	33.10	6.03	2291	2153	8.017	2.53	1.59	7.7	0.55	6.62
200	58.40	8.77	100	34.31	7.85	2312	2125	8.089	3.18	2.02	6.8	0.58	5.35
200	58.40	8.77	125	34.35	7.92	2310	2153	8.016	2.74	1.74	6.7	0.58	6.23
205	58.33	8.88	10	31.36	4.71	2240	2099	8.076	2.60	1.63	6.9	0.54	6.80
205	58.33	8.88	30	33.01	5.49	2294	2134	8.085	2.85	1.80	7.5	0.53	6.48
205	58.33	8.88	50	33.51	5.77	2296	2144	8.053	2.72	1.71	7.1	0.52	5.76
205	58.33	8.88	100	34.15	6.21	2300	2135	8.068	2.85	1.80	6.0	0.52	4.72
205	58.33	8.88	200	34.58	6.70	2302	2142	8.039	2.72	1.73	5.0	0.52	3.93
215	58.20	9.08	10	32.41	5.08	2281	2131	8.076	2.72	1.71	6.1	0.53	5.39
215	58.20	9.08	30	34.48	7.41	2317	2154	8.042	2.89	1.83	5.6	0.52	4.00
215	58.20	9.08	50	34.63	7.15	2312	2137	8.070	3.02	1.91	5.8	0.54	4.04
215	58.20	9.08	100	34.89	7.67	2317	2152	8.034	2.86	1.82	7.6	0.60	4.18
215	58.20	9.08	200	35.23	8.32	2321	2176	7.964	2.53	1.61	11.4	0.85	5.44
215	58.20	9.08	400	35.22	7.30	2328	2166	8.014	2.63	1.68	12.5	0.92	6.75
220	58.13	9.18	10	32.46	5.54	2274	2115	8.091	2.85	1.79	6.5	0.52	5.89
220	58.13	9.18	30	34.24	7.30	2312	2145	8.056	2.95	1.86	5.7	0.51	4.17
220	58.13	9.18	50	34.71	8.00	2309	2141	8.042	2.94	1.86	5.5	0.51	3.70
220	58.13	9.18	100	35.06	8.78	2316	2147	8.023	2.91	1.85	8.2	0.61	3.80
220	58.13	9.18	200	35.23	8.12	2323	2175	7.976	2.57	1.64	12.1	0.88	5.73
220	58.13	9.18	300	35.21	7.37	2322	2180	7.968	2.43	1.54	12.3	0.90	5.75
220	58.13	9.18	400	35.23	7.26	2325	2186	7.956	2.34	1.49	12.4	0.94	7.19
220	58.13	9.18	600	35.21	6.77	2331	2207	7.917	2.07	1.32	12.7	1.08	11.44
230	58.00	9.35	10	31.52	4.71	2252	2110	8.074	2.60	1.63	7.2	0.53	6.92
230	58.00	9.35	30	34.41	7.78	2317	2148	8.052	2.98	1.89	5.7	0.53	3.77
230	58.00	9.35	50	34.76	7.80	2322	2151	8.047	2.97	1.88	7.4	0.58	3.86
230	58.00	9.35	100	34.95	7.64	2326	2158	8.039	2.90	1.84	8.8	0.68	4.50
230	58.00	9.35	200	35.10	7.74	2318	2159	8.011	2.71	1.72	10.0	0.75	5.17
230	58.00	9.35	400	35.22	7.04	2324	2190	7.950	2.29	1.45	12.0	0.99	8.85

Tabell 2a. Svinøy-NV, 12-13 januar 2016. 12-13 January 2016.

Stn	Lat N	Lon Ø	Dyp m	S	T (°C)	A _T ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	C _T ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	pH	WCa	W Ar	NO ₃ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	PO ₄ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	SiOH ₄ ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)
2	62.48	4.95	186	34.99	9.23	2313	2141	8.022	2.92	1.86	9.4	0.61	3.9
2	62.48	4.95	150	34.79	9.31	2306	2136	8.021	2.92	1.86	8.0	0.54	3.5
2	62.48	4.95	100	34.28	8.61	2301	2134	8.032	2.90	1.84	5.8	0.41	3.3
2	62.48	4.95	75	34.26	8.65	2293	2119	8.050	3.01	1.91	5.6	0.45	3.3
2	62.48	4.95	50	34.22	8.67	2297	2129	8.039	2.96	1.88	5.5	0.43	3.3
2	62.48	4.95	20	34.13	8.44	2289	2122	8.041	2.95	1.87	5.5	0.43	3.3
2	62.48	4.95	10	34.10	8.37	2286	2116	8.051	3.00	1.90	5.5	0.44	3.3
2	62.48	4.95	5	34.09	8.35	2287	2117	8.053	3.01	1.90	5.5	0.43	3.3
6	62.84	4.17	600	34.92	-0.75	2302	2170	8.065	2.06	1.30	16.0	1.03	13.0
6	62.84	4.17	200	35.28	8.69	2320	2152	8.015	2.84	1.80	12.4	0.73	4.2
6	62.84	4.17	150	35.28	8.68	2319	2143	8.039	2.99	1.90	12.3	0.73	4.2
6	62.84	4.17	75	35.28	8.81	2322	2143	8.043	3.06	1.95	12.2	0.72	4.1
6	62.84	4.17	50	35.26	8.97	2321	2149	8.027	2.99	1.90	12.0	0.72	4.1
6	62.84	4.17	30	34.56	8.20	2303	2133	8.046	2.98	1.89	7.1	0.50	3.4
6	62.84	4.17	10	34.21	7.72	2292	2126	8.049	2.93	1.85	6.1	0.45	3.3
6	62.84	4.17	5	34.22	7.72	2291	2122	8.058	2.98	1.89	6.0	0.46	3.3
9	63.08	3.66	970	34.92	-0.78	2306	2179	8.037	1.84	1.17	15.9	1.03	13.1
9	63.08	3.66	500	35.19	7.11	2322	2162	8.011	2.55	1.63	14.4	0.85	6.1
9	63.08	3.66	400	35.25	8.16	2322	2148	8.032	2.81	1.79	12.6	0.74	4.4
9	63.08	3.66	200	35.26	8.28	2320	2152	8.024	2.85	1.81	12.7	0.74	4.4
9	63.08	3.66	100	35.26	8.35	2322	2147	8.042	3.00	1.91	12.5	0.74	4.4
9	63.08	3.66	50	35.20	8.40	2324	2148	8.044	3.04	1.93	12.0	0.70	4.2
9	63.08	3.66	30	35.14	8.36	2319	2142	8.050	3.06	1.95	11.4	0.69	4.1
9	63.08	3.66	10	34.54	8.28	2300	2132	8.042	2.97	1.88	6.9	0.50	3.4
11	63.31	3.13	1079	34.92	-0.77	2303	2173	8.042	1.83	1.16	15.9	1.03	12.8
11	63.31	3.13	500	35.03	4.44	2307	2166	8.008	2.28	1.45	14.5	0.89	6.5
11	63.31	3.13	400	35.21	7.33	2316	2153	8.016	2.63	1.68	14.2	0.85	5.9
11	63.31	3.13	200	35.27	8.48	2320	2143	8.040	2.96	1.88	12.6	0.74	4.3
11	63.31	3.13	100	35.27	8.76	2321	2147	8.033	2.98	1.90	12.2	0.73	4.2
11	63.31	3.13	50	35.26	8.77	2319	2141	8.046	3.08	1.96	11.9	0.71	4.1
11	63.31	3.13	30	35.22	8.76	2322	2150	8.031	3.00	1.91	11.5	0.70	4.1
11	63.31	3.13	10	35.10	8.35	2315	2141	8.044	3.03	1.92	10.5	0.67	4.0
13	63.67	2.34	1444	34.92	-0.79	2308	2170	8.048	1.76	1.12	16.1	1.02	13.5
13	63.67	2.34	1200	34.92	-0.69	2306	2170	8.050	1.84	1.17	15.6	0.99	11.4
13	63.67	2.34	1000	34.92	-0.57	2303	2172	8.044	1.87	1.19	15.2	0.97	10.0
13	63.67	2.34	800	34.92	-0.42	2305	2173	8.051	1.97	1.25	15.2	0.95	8.8
13	63.67	2.34	500	34.93	0.68	2305	2179	8.031	2.07	1.31	15.2	0.95	7.3
13	63.67	2.34	200	35.16	7.19	2318	2148	8.045	2.85	1.81	12.8	0.76	4.7
13	63.67	2.34	100	35.20	7.54	2321	2148	8.052	2.97	1.88	12.8	0.76	4.6

13	63.67	2.34	50	35.22	7.66	2318	2150	8.039	2.92	1.85	12.8	0.76	4.6
13	63.67	2.34	30	35.23	7.77	2323	2151	8.048	3.00	1.90	12.8	0.76	4.6
13	63.67	2.34	9	35.25	7.96	2324	2149	8.051	3.05	1.93	12.5	0.75	4.5
15	64.14	1.26	2437	34.92	-0.79	2313	2173	8.011	1.41	0.91	16.2	1.02	14.0
15	64.14	1.26	1500	34.92	-0.69	2305	2167	8.044	1.73	1.11	15.5	0.99	11.0
15	64.14	1.26	1000	34.92	-0.44	2304	2171	8.048	1.90	1.21	15.1	0.95	8.9
15	64.14	1.26	800	34.92	-0.19	2302	2176	8.033	1.91	1.21	15.0	0.99	7.8
15	64.14	1.26	500	34.93	1.07	2308	2177	8.036	2.12	1.34	14.8	0.94	7.0
15	64.14	1.26	200	35.17	7.21	2317	2147	8.045	2.85	1.81	13.1	0.79	4.9
15	64.14	1.26	100	35.22	7.73	2323	2150	8.047	2.96	1.88	12.9	0.79	4.7
15	64.14	1.26	50	35.23	7.73	2323	2151	8.045	2.97	1.89	12.9	0.79	4.6
15	64.14	1.26	30	35.22	7.72	2324	2154	8.041	2.96	1.88	12.8	0.78	4.7
15	64.14	1.26	10	35.22	7.70	2322	2151	8.045	2.98	1.89	12.7	0.77	4.7

Tabell 2b. Stasjon M, 2016. Station M, 2016

Stn	Lat	Lon	Dyp	Dato	Salt	T	A _T	C _T	pH _T	Ω _{Ca}	Ω _{Ar}
	°N	°E	(m)	mm/dd		(C°)	(μmol kg ⁻¹)	(μmol kg ⁻¹)			
20	66.00	2.00	2011	1/14	34.91	-0.78	2305.4	2168.9	8.020	1.52	0.98
20	66.00	2.00	1972	1/14	34.91	-0.79	2304.1	2172.7	8.008	1.49	0.96
20	66.00	2.00	1479	1/14	34.91	-0.71	2304.8	2169.3	8.038	1.71	1.09
20	66.00	2.00	988	1/14	34.91	-0.53	2302.1	2171.6	8.042	1.87	1.19
20	66.00	2.00	790	1/14	34.91	-0.43	2301.7	2170.0	8.052	1.97	1.25
20	66.00	2.00	494	1/14	34.91	0.07	2303.5	2177.8	8.040	2.05	1.30
20	66.00	2.00	388	1/14	34.92	0.64	2301.3	2177.0	8.031	2.09	1.32
20	66.00	2.00	198	1/14	34.96	3.29	2305.7	2177.5	8.005	2.26	1.43
20	66.00	2.00	100	1/14	35.06	5.95	2312.5	2147.4	8.059	2.83	1.79
20	66.00	2.00	49	1/14	35.07	5.97	2311.8	2148.1	8.057	2.84	1.80
20	66.00	2.00	30	1/14	35.07	5.96	2313.5	2147.3	8.064	2.89	1.83
20	66.00	2.00	10	1/14	35.07	5.97	2316.0	2148.0	8.069	2.93	1.85
177	65.84	2.21	1903	3/3	34.91	-0.78	2309.4	2140.4	8.108	1.85	1.19
177	65.84	2.21	1479	3/3	34.91	-0.67	2304.6	2165.3	8.048	1.75	1.12
177	65.84	2.21	988	3/3	34.91	-0.44	2299.5	2167.1	8.047	1.89	1.20
177	65.84	2.21	494	3/3	34.91	0.62	2301.1	2170.7	8.044	2.11	1.34
177	65.84	2.21	294	3/3	35.03	4.69	2310.2	2161.7	8.031	2.48	1.57
177	65.84	2.21	195	3/3	35.12	6.10	2317.5	2149.3	8.059	2.82	1.79
177	65.84	2.21	47	3/3	35.19	7.35	2306.2	2142.8	8.034	2.84	1.80
177	65.84	2.21	28	3/3	35.18	7.33	2318.7	2144.3	8.060	3.02	1.91
177	65.84	2.21	22	3/3	35.18	7.32	2318.8	2139.8	8.071	3.09	1.96
177	65.84	2.21	7	3/3	35.18	7.32	2320.0	2145.4	8.061	3.03	1.92
177	65.84	2.21	5	3/3	35.18	7.32	2322.2	2145.1	8.066	3.07	1.95
360	66.00	2.00	2000	5/15	34.91	-0.78	2296.4	2165.3	8.007	1.47	0.95
360	66.00	2.00	1481	5/15	34.91	-0.71	2295.1	2162.3	8.032	1.68	1.08
360	66.00	2.00	987	5/15	34.91	-0.51	2296.1	2167.6	8.037	1.85	1.17
360	66.00	2.00	493	5/15	34.91	0.62	2299.4	2165.2	8.054	2.16	1.36
360	66.00	2.00	295	5/15	35.07	5.03	2308.3	2157.0	8.032	2.52	1.60
360	66.00	2.00	196	5/15	35.18	6.54	2312.1	2149.9	8.037	2.73	1.73
360	66.00	2.00	98	5/15	35.19	7.04	2318.0	2144.6	8.059	2.96	1.87
360	66.00	2.00	48	5/15	35.19	7.49	2317.3	2142.1	8.058	3.02	1.91
360	66.00	2.00	28	5/15	35.17	7.73	2324.9	2133.8	8.091	3.26	2.07
360	66.00	2.00	19	5/15	35.17	7.73	2314.9	2135.4	8.066	3.10	1.96
360	66.00	2.00	9	5/15	35.17	7.74	2318.7	2135.6	8.074	3.16	2.00
360	66.00	2.00	4	5/15	35.17	7.74	2318.2	2129.9	8.086	3.23	2.05

Tabell 2b. Stasjon M, 2016 - *fortsettelse*. Station M, 2016 - *Continuation*.

Stn	Lat	Lon	Dyp	Dato	Salt	T	A _T	C _T	pH _T	Ω _{Ca}	Ω _{Ar}
	°N	°E	(m)	mm/dd		(C°)	(μmol kg ⁻¹)	(μmol kg ⁻¹)			
467	65.83	2.19	1994	5/22	34.91	-0.78	2299.5	2164.5	8.018	1.51	0.97
467	65.83	2.19	1479	5/22	34.91	-0.69	2296.5	2163.1	8.033	1.69	1.08
467	65.83	2.19	988	5/22	34.91	-0.47	2293.6	2166.0	8.034	1.83	1.17
467	65.83	2.19	493	5/22	34.91	0.32	2293.7	2172.5	8.024	2.00	1.26
467	65.83	2.19	294	5/22	34.97	2.91	2298.9	2162.7	8.029	2.30	1.46
467	65.83	2.19	197	5/22	35.07	5.20	2305.6	2153.4	8.036	2.59	1.64
467	65.83	2.19	97	5/22	35.16	6.59	2312.2	2146.0	8.050	2.85	1.80
467	65.83	2.19	50	5/22	35.19	7.33	2313.5	2128.9	8.083	3.14	1.99
467	65.83	2.19	30	5/22	35.19	7.39	2313.2	2128.6	8.083	3.16	2.00
467	65.83	2.19	20	5/22	35.18	7.48	2315.6	2127.0	8.091	3.22	2.04
467	65.83	2.19	10	5/22	35.17	7.50	2319.8	2121.7	8.111	3.37	2.13
467	65.83	2.19	5	5/22	35.17	7.51	2312.6	2129.5	8.078	3.15	2.00
537	66.00	1.98	1972	7/28	34.93	-0.79	2299.5	2165.4	8.016	1.51	0.97
537	66.00	1.98	1478	7/28	34.92	-0.69	2301.7	2164.4	8.043	1.73	1.11
537	66.00	1.98	979	7/28	34.92	-0.45	2295.4	2170.0	8.028	1.82	1.16
537	66.00	1.98	494	7/28	34.92	0.30	2293.0	2172.1	8.023	1.99	1.26
537	66.00	1.98	294	7/28	34.97	2.77	2298.8	2167.8	8.018	2.24	1.42
537	66.00	1.98	198	7/28	35.02	4.45	2302.0	2155.5	8.034	2.50	1.58
537	66.00	1.98	98	7/28	35.18	6.85	2317.0	2154.4	8.037	2.80	1.78
537	66.00	1.98	48	7/28	35.21	7.68	2314.0	2149.4	8.030	2.87	1.82
537	66.00	1.98	29	7/28	35.20	8.86	2311.7	2123.4	8.068	3.22	2.05
537	66.00	1.98	19	7/28	35.08	12.11	2315.1	2092.7	8.091	3.76	2.40
537	66.00	1.98	10	7/28	35.05	13.24	2313.4	2058.9	8.137	4.26	2.73
537	66.00	1.98	5	7/28	35.05	13.32	2312.4	2058.4	8.135	4.26	2.72
632	66.00	2.00	1999	11/16	34.91	-0.80	2300.0	2162.8	8.024	1.53	0.98
632	66.00	2.00	1969	11/16	34.91	-0.79	2297.8	2167.3	8.007	1.48	0.95
632	66.00	2.00	1477	11/16	34.91	-0.68	2295.5	2166.0	8.023	1.65	1.06
632	66.00	2.00	987	11/16	34.91	-0.39	2293.7	2170.8	8.020	1.79	1.14
632	66.00	2.00	789	11/16	34.91	-0.13	2295.9	2172.6	8.025	1.88	1.19
632	66.00	2.00	494	11/16	34.93	1.16	2298.5	2176.3	8.012	2.02	1.28
632	66.00	2.00	394	11/16	34.97	2.91	2296.9	2166.0	8.012	2.19	1.38
632	66.00	2.00	200	11/16	35.19	7.27	2312.0	2157.4	8.007	2.64	1.68
632	66.00	2.00	98	11/16	35.24	8.61	2310.8	2151.5	8.001	2.77	1.76
632	66.00	2.00	48	11/16	35.04	8.31	2296.0	2123.9	8.042	2.97	1.89
632	66.00	2.00	30	11/16	35.04	8.32	2296.4	2122.1	8.048	3.01	1.91
632	66.00	2.00	10	11/16	35.04	8.32	2302.4	2123.6	8.058	3.09	1.96

Tabell 3. Gimsøy-NV, 7-8 mars, og 5 April 2016 (Stasjon 21). 7-8 March, and 5th April (Station 21) 2016

Stn	Lat	Lon	Dyp	S	T	A _T	C _T	pH	WCa	W Ar	NO ₃	PO ₄	SiOH ₄
	N	Ø	m		(°C)	(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)				(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)
6	68.58	13.58	132	34.95	7.65	2333	2151	8.070	3.08	1.96	10.5	0.73	4.2
6	68.58	13.58	125	34.94	7.45	2337	2162	8.059	3.00	1.90	10.4	0.71	4.2
6	68.58	13.58	100	34.89	7.34	2314	2145	8.050	2.91	1.85	10.1	0.69	4.1
6	68.58	13.58	75	34.66	6.77	2306	2138	8.062	2.92	1.85	9.2	0.65	3.8
6	68.58	13.58	50	34.40	6.04	2299	2131	8.076	2.91	1.84	8.1	0.61	3.5
6	68.58	13.58	30	34.27	5.81	2288	2125	8.073	2.86	1.80	7.5	0.57	3.3
6	68.58	13.58	20	34.18	5.73	2289	2131	8.064	2.80	1.77	7.5	0.57	3.3
6	68.58	13.58	10	34.15	5.70	2300	2130	8.092	2.98	1.88	7.4	0.59	3.3
6	68.58	13.58	5	34.15	5.71	2293	2129	8.079	2.89	1.83	7.4	0.58	3.3
8	68.74	13.17	110	35.07	7.39	2320	2155	8.037	2.86	1.81	10.9	0.75	4.3
8	68.74	13.17	100	35.02	7.53	2317	2148	8.043	2.90	1.84	10.4	0.74	4.1
8	68.74	13.17	75	34.83	7.09	2329	2147	8.084	3.12	1.98	9.6	0.67	3.9
8	68.74	13.17	50	34.62	6.75	2321	2153	8.061	2.93	1.86	8.8	0.65	3.7
8	68.74	13.17	30	34.39	6.31	2298	2134	8.064	2.88	1.82	8.1	0.61	3.5
8	68.74	13.17	10	34.12	5.72	2286	2128	8.064	2.80	1.77	7.3	0.55	3.3
8	68.74	13.17	5	34.12	5.71	2287	2129	8.064	2.80	1.77	7.3	0.54	3.3
10	68.85	12.80	673	34.95	0.73	2307	2176	8.036	2.04	1.29	14.7	1.04	9.1
10	68.85	12.80	600	34.98	1.86	2310	2173	8.036	2.16	1.37	14.0	0.98	6.8
10	68.85	12.80	500	35.09	4.39	2317	2166	8.033	2.41	1.53	12.9	0.88	5.2
10	68.85	12.80	400	35.14	5.84	2327	2161	8.048	2.67	1.69	13.0	0.89	5.5
10	68.85	12.80	200	35.20	6.97	2338	2154	8.080	3.06	1.94	12.1	0.86	4.8
10	68.85	12.80	150	35.18	7.01	2322	2152	8.050	2.88	1.83	11.8	0.81	4.6
10	68.85	12.80	100	35.16	7.11	2324	2161	8.033	2.82	1.79	11.5	0.79	4.5
10	68.85	12.80	75	35.13	7.07	2328	2154	8.061	2.99	1.90	11.3	0.82	4.4
10	68.85	12.80	50	35.13	7.06	2319	2156	8.036	2.84	1.80	11.3	0.79	4.4
10	68.85	12.80	30	35.13	7.07	2331	2158	8.061	3.01	1.91	11.3	0.79	4.4
10	68.85	12.80	10	35.13	7.06	2320	2145	8.067	3.04	1.93	11.1	0.77	4.4
12	69.04	12.28	1502	34.92	0.63	2316	2134	8.152	2.17	1.39	14.8	1.06	10.4
12	69.04	12.28	1000	34.92	0.28	2307	2178	8.033	1.86	1.18	14.5	1.03	8.3
12	69.04	12.28	800	34.92	0.09	2308	2188	8.012	1.86	1.18	14.3	1.03	7.1
12	69.04	12.28	500	35.05	4.01						13.5	0.96	5.9
12	69.04	12.28	200	35.20	7.10	2325	2158	8.039	2.82	1.79	11.9	0.83	4.7
12	69.04	12.28	100	35.15	7.22	2331	2155	8.061	3.00	1.90	11.3	0.81	4.4
12	69.04	12.28	50	35.13	7.12	2317	2155	8.032	2.82	1.79	11.2	0.79	4.4
12	69.04	12.28	30	35.12	7.11	2317	2146	8.056	2.97	1.88	11.2	0.77	4.4
12	69.04	12.28	10	35.13	7.12	2338	2154	8.084	3.18	2.01	10.9	0.78	4.4
15	69.48	10.96	1500	34.92	0.58	2318	2150	8.118	2.04	1.30	14.4	1.01	9.7
15	69.48	10.96	1000	34.92	0.07	2306	2171	8.046	1.92	1.22	14.2	0.99	7.7
15	69.48	10.96	800	34.94	0.86	2307	2179	8.019	1.94	1.23	13.9	0.96	6.5
15	69.48	10.96	500	35.13	4.87	2327	2160	8.062	2.61	1.66	12.3	0.85	4.8

15	69.48	10.96	200	35.19	6.11	2323	2156	8.056	2.81	1.78	11.9	0.82	4.6
15	69.48	10.96	100	35.20	6.77	2342	2169	8.061	2.97	1.88	12.1	0.83	4.9
15	69.48	10.96	50	35.17	6.83	2328	2153	8.068	3.02	1.91	11.4	0.78	4.5
15	69.48	10.96	30	35.17	6.83	2338	2159	8.077	3.09	1.96	11.4	0.77	4.5
15	69.48	10.96	10	35.17	6.83	2325	2148	8.073	3.06	1.94	11.2	0.78	4.5
17	69.95	9.58	1500	34.92	0.62	2312	2174	8.041	1.73	1.11	14.5	1.04	10.3
17	69.95	9.58	1000	34.92	0.28	2312	2177	8.048	1.92	1.22	14.2	0.99	8.2
17	69.95	9.58	800	34.93	0.16	2324	2148	8.152	2.49	1.58	14.1	0.98	7.2
17	69.95	9.58	500	35.06	3.73	2330	2153	8.105	2.73	1.73	13.1	0.90	5.4
17	69.95	9.58	200	35.17	5.76	2325	2158	8.062	2.81	1.78	12.0	0.83	4.6
17	69.95	9.58	100	35.18	6.11	2344	2157	8.102	3.15	2.00	11.9	0.82	4.6
17	69.95	9.58	50	35.18	6.18	2346	2157	8.107	3.21	2.03	11.8	0.78	4.6
17	69.95	9.58	30	35.18	6.33	2325	2155	8.065	2.95	1.87	11.7	0.79	4.6
17	69.95	9.58	10	35.17	6.42						11.3	0.77	4.6
21	71.08	6.00	3117	34.93	0.76	2317	2179	7.981	1.21	0.79	15.6	1.01	13.8
21	71.08	6.00	2500	34.93	0.75	2312	2155	8.054	1.53	0.99	15.2	0.98	12.2
21	71.08	6.00	2000	34.93	0.70	2302	2163	8.030	1.56	1.01	14.9	0.98	11.1
21	71.08	6.00	1500	34.92	0.49	2307	2168	8.043	1.74	1.12	14.5	0.95	9.0
21	71.08	6.00	1000	34.93	0.48	2306	2171	8.038	1.93	1.23	13.7	0.91	6.3
21	71.08	6.00	800	35.05	3.32	2319	2162	8.055	2.32	1.47	13.1	0.83	5.3
21	71.08	6.00	500	35.16	5.26	2330	2162	8.059	2.63	1.67	12.2	0.76	4.5
21	71.08	6.00	200	35.18	6.21	2328	2155	8.069	2.90	1.84	11.6	0.73	4.5
21	71.08	6.00	100	35.17	6.47	2330	2164	8.050	2.86	1.81	11.2	0.75	4.4
21	71.08	6.00	50	35.17	6.52	2322	2144	8.081	3.06	1.93	10.8	0.69	4.4
21	71.08	6.00	30	35.17	6.67	2333	2160	8.067	3.01	1.90	10.4	0.65	4.4
21	71.08	6.00	10	35.15	6.70	2322	2145	8.079	3.08	1.95	10.2	0.63	4.4

Tabell 4. Fugløya-Bjørnøya, 17-18 januar 2016.. 17-18 January 2016.

Stn	Lat N	Lon Ø	Dyp m	S	T (°C)	A _T (µmol kg ⁻¹)	C _T (µmol kg ⁻¹)	pH	WCa	W Ar	NO ₃ (µmol kg ⁻¹)	PO ₄ (µmol kg ⁻¹)	SiOH ₄ (µmol kg ⁻¹)
2	70.67	19.97	150	34.62	7.83	2303	2127	8.059	2.98	1.89	9.0	0.55	3.37
2	70.67	19.97	100	34.29	7.73	2290	2116	8.064	2.98	1.89	7.6	0.47	2.90
2	70.67	19.97	75	34.00	7.26	2283	2109	8.076	2.99	1.89	6.9	0.44	2.68
2	70.67	19.97	50	33.70	6.42	2271	2102	8.085	2.94	1.86	6.2	0.40	2.43
2	70.67	19.97	30	33.60	6.02	2268	2104	8.084	2.89	1.83	5.9	0.40	2.35
2	70.67	19.97	20	33.60	6.02	2268	2100	8.093	2.95	1.86	5.9	0.39	2.36
2	70.67	19.97	10	33.59	6.02	2268	2100	8.093	2.96	1.86	5.9	0.40	2.36
2	70.67	19.97	5	33.59	6.03	2268	2098	8.097	2.98	1.88		0.41	2.37
7	71.50	19.80	228	35.15	6.32	2320	2159	8.036	2.70	1.72	12.7	0.76	4.88
7	71.50	19.80	150	35.14	7.60	2321	2152	8.037	2.87	1.82	12.1	0.73	4.56
7	71.50	19.80	100	35.00	7.73	2316	2146	8.043	2.92	1.85	11.6	0.70	4.32
7	71.50	19.80	75	34.84	7.22	2311	2141	8.054	2.93	1.86	9.8	0.61	3.57
7	71.50	19.80	50	34.57	6.76	2305					8.6	0.54	3.21
7	71.50	19.80	30	34.44	6.57	2299	2128	8.076	2.98	1.88	8.3	0.53	3.10
7	71.50	19.80	20	34.32	6.18	2299	2126	8.087	3.00	1.90	8.0	0.50	3.00
7	71.50	19.80	10	34.30	6.09	2299	2122	8.099	3.07	1.94	7.9	0.49	2.99
7	71.50	19.80	5	34.29	6.08	2297	2120	8.101	3.08	1.95	7.7	0.49	2.96
12	72.75	19.51	388	35.12	5.58	2342	2161	8.087	2.88	1.83	13.1	0.80	4.93
12	72.75	19.51	300	35.12	6.25	2322	2153	8.055	2.78	1.76	12.5	0.74	4.45
12	72.75	19.51	200	35.06	6.40	2322	2149	8.066	2.89	1.83	11.2	0.69	3.99
12	72.75	19.51	150	35.08	6.64	2326	2150	8.073	2.98	1.89	11.3	0.68	4.01
12	72.75	19.51	100	35.09	6.84	2326	2152	8.063	2.97	1.88	11.4	0.69	4.09
12	72.75	19.51	75	35.05	6.77	2328	2148	8.081	3.07	1.95	11.0	0.68	3.96
12	72.75	19.51	50	35.02	6.66	2326	2148	8.079	3.06	1.93	10.9	0.66	3.92
12	72.75	19.51	30	35.01	6.69	2320	2151	8.061	2.95	1.87	10.8	0.65	3.91
12	72.75	19.51	20	35.01	6.70	2325	2148	8.080	3.08	1.95	10.9	0.67	3.92
12	72.75	19.51	10	35.01	6.69	2325	2148	8.079	3.07	1.94	10.8	0.67	3.94
12	72.75	19.51	5	35.01	6.69	2310	2153	8.032	2.79	1.76	10.7	0.66	3.95
18	74.00	19.22	123	34.82	3.30	2307	2150	8.086	2.69	1.70	10.6	0.68	4.09
18	74.00	19.22	100	34.81	3.16	2300	2146	8.080	2.65	1.67	10.7	0.67	4.09
18	74.00	19.22	75	34.72	2.47	2300	2156	8.070	2.54	1.60	10.2	0.66	4.07
18	74.00	19.22	50	34.70	2.35	2301	2148	8.095	2.66	1.68	10.2	0.66	4.05
18	74.00	19.22	30	34.70	2.41	2299	2149	8.087	2.63	1.66	10.2	0.66	4.05
18	74.00	19.22	20	34.70	2.35	2300	2146	8.098	2.69	1.69	10.2	0.65	4.07
18	74.00	19.22	10	34.70	2.35	2300	2145	8.101	2.71	1.71	10.1	0.67	4.07
18	74.00	19.22	5	34.70	2.40	2284	2146	8.058	2.48	1.56	10.0	0.68	4.08
20	74.25	19.17	50	34.39	-0.15	2283	2144	8.107	2.46	1.54	9.1	0.61	3.68
20	74.25	19.17	30	34.38	-0.17	2284	2144	8.109	2.48	1.55	9.1	0.61	3.65
20	74.25	19.17	20	34.38	-0.17	2284	2149	8.100	2.43	1.53	9.1	0.63	3.67

Tabell 5. Nordøstlige Barentshavet, 22 og 30 august 2016. 22 and 30th August 2016.

Stn	Lat	Lon	Dyp	S	T	A _T	C _T	pH	WCa	W Ar	NO ₃	PO ₄	SiOH ₄
	N	Ø	m		(°C)	(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)				(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)	(µmol kg ⁻¹)
23	77.00	34.01	140	34.85	1.47	2311	2194	8.008	2.14	1.35	11.7	1.10	6.70
23	77.00	34.01	125	34.85	1.45	2312	2204	7.980	2.03	1.28	11.8	1.06	6.56
23	77.00	34.01	100	34.83	1.02	2307	2203	7.980	2.00	1.26	11.3	1.00	6.26
23	77.00	34.01	75	34.76	0.93	2309	2177	8.061	2.36	1.49	8.1	0.77	3.00
23	77.00	34.01	50	34.62	0.89	2286	2129	8.132	2.70	1.70	2.6	0.37	0.83
23	77.00	34.01	30	34.55	3.66		2090				0.0	0.16	0.31
23	77.00	34.01	20	34.39	4.96	2292	2101	8.150	3.25	2.05	0.0	0.17	0.32
23	77.00	34.01	10	34.40	5.23	2284	2100	8.133	3.17	2.00	0.0	0.16	0.34
23	77.00	34.01	5	34.42	5.29	2283	2098	8.133	3.18	2.00	0.0	0.19	0.35
24	77.50	34.00	183	34.81	0.88	2296	2187	7.992	2.00	1.26	12.4	1.09	6.34
24	77.50	34.00	150	34.81	0.85	2299	2189	8.000	2.05	1.29	12.4	0.94	6.28
24	77.50	34.00	125	34.81	0.73	2300	2170	8.057	2.30	1.45	12.3	0.97	6.10
24	77.50	34.00	100	34.69	-0.54	2291	2178	8.034	2.08	1.31	10.3	0.89	3.89
24	77.50	34.00	75	34.62	-0.97	2294	2157	8.109	2.41	1.51	8.1	0.72	2.48
24	77.50	34.00	50	34.54	-0.62	2292	2140	8.147	2.64	1.66	3.2	0.40	1.00
24	77.50	34.00	30	34.33	1.45	2280	2090	8.209	3.20	2.01	0.0	0.10	0.41
24	77.50	34.00	20	34.28	4.46	2280	2093	8.153	3.19	2.01	0.0	0.09	0.37
24	77.50	34.00	10	34.33	4.63	2283	2093	8.156	3.24	2.04	0.0	0.14	0.39
24	77.50	34.00	5	34.34	4.66	2283	2100	8.141	3.15	1.99	0.0	0.12	0.37
25	78.00	34.00	185	34.86	1.40	2300	2188	7.995	2.06	1.30	12.7	1.03	6.59
25	78.00	34.00	150	34.88	1.78	2303	2189	7.993	2.09	1.32	12.4	1.00	6.28
25	78.00	34.00	125	34.89	1.89	2303	2190	7.989	2.09	1.32	12.3	0.98	6.10
25	78.00	34.00	100	34.77	0.43	2300	2168	8.069	2.34	1.47	8.8	0.84	3.17
25	78.00	34.00	75	34.70	0.47	2298	2161	8.085	2.43	1.53	6.3	0.62	2.14
25	78.00	34.00	50	34.54	-0.05	2295	2122	8.187	2.92	1.84	1.5	0.33	0.66
25	78.00	34.00	30	34.44	2.71	2292	2093	8.206	3.35	2.11	0.0	0.17	0.47
25	78.00	34.00	20	34.41	4.77	2292	2094	8.171	3.37	2.12	0.0	0.17	0.47
25	78.00	34.00	10	34.44	4.94	2298	2118	8.127	3.12	1.97	0.0	0.17	0.48
25	78.00	34.00	5	34.45	4.94	2295	2099	8.162	3.34	2.11	0.0	0.17	0.48
26	78.50	34.00	170	34.93	2.17	2308	2190	7.997	2.14	1.35	13.1	1.03	7.46
26	78.50	34.00	150	34.93	2.17	2316	2199	7.994	2.14	1.35	13.2	1.02	7.43
26	78.50	34.00	125	34.93	2.16	2315	2198	7.993	2.14	1.35	13.1	0.99	7.29
26	78.50	34.00	100	34.86	1.65	2301	2177	8.025	2.24	1.41	11.5	0.93	4.72
26	78.50	34.00	75	34.73	0.74	2301	2157	8.097	2.51	1.58	9.5	0.68	3.73
26	78.50	34.00	50	34.67	0.79	2302	2141	8.141	2.76	1.74	4.8	0.51	1.80
26	78.50	34.00	30	34.51	4.00	2299	2104	8.175	3.31	2.09	0.0	0.16	0.52
26	78.50	34.00	20	34.51	5.34	2303	2114	8.137	3.23	2.04	0.1	0.18	0.55
26	78.50	34.00	10	34.52	5.45	2300	2100	8.160	3.40	2.14	0.0	0.19	0.52
26	78.50	34.00	5	34.53	5.48	2295	2098	8.155	3.36	2.12	0.0	0.17	0.52
27	78.75	34.00	293	34.89	1.22	2308	2205	7.963	1.89	1.19	11.6	0.84	5.24
27	78.75	34.00	200	34.89	1.81	2307	2173	8.046	2.33	1.47	11.3	0.81	4.75

27	78.75	34.00	150	34.85	1.70	2306	2168	8.062	2.41	1.52	9.9	0.70	4.32
27	78.75	34.00	125	34.81	1.29	2301	2155	8.091	2.52	1.59	9.1	0.69	4.16
27	78.75	34.00	100	34.63	-0.57	2288	2158	8.086	2.31	1.45	4.2	0.35	2.55
27	78.75	34.00	75	34.51	-1.58	2284	2167	8.069	2.15	1.35	2.0	0.29	1.79
27	78.75	34.00	50	34.43	-1.38	2285	2123	8.187	2.77	1.74	1.4	0.24	1.76
27	78.75	34.00	30	34.29	1.90	2282	2100	8.183	3.09	1.95	1.1	0.23	1.76
27	78.75	34.00	20	34.21	4.64	2283	2101	8.140	3.13	1.97	1.1	0.23	1.76
27	78.75	34.00	10	34.28	4.75	2287	2102	8.144	3.18	2.01	0.9	0.21	1.74
27	78.75	34.00	5	34.26	4.76	2281	2109	8.114	2.99	1.89	0.5	0.21	1.74
28	79.25	33.99	205	34.71	0.07	2303	2190	8.017	2.04	1.28	12.9	0.88	6.78
28	79.25	33.99	150	34.69	0.24	2300	2182	8.032	2.13	1.34	12.5	0.85	4.96
28	79.25	33.99	125	34.57	-0.60	2289	2173	8.047	2.12	1.34	11.2	0.74	4.02
28	79.25	33.99	100	34.54	-0.79	2290	2167	8.070	2.22	1.39	9.9	0.69	3.36
28	79.25	33.99	75	34.47	-0.58	2279	2156	8.071	2.24	1.41	7.7	0.61	2.49
28	79.25	33.99	50	34.34	0.85	2282	2128	8.130	2.67	1.68	3.6	0.44	1.62
28	79.25	33.99	30	34.22	1.65	2268	2102	8.153	2.87	1.80			0.43
28	79.25	33.99	20	34.20	1.78	2273	2097	8.172	3.00	1.88	0.5	0.18	0.47
28	79.25	33.99	10	34.21	1.79	2270	2095	8.170	2.99	1.88	0.5	0.16	0.40
28	79.25	33.99	5	34.20	1.79	2263	2089	8.172	2.99	1.88	0.5	0.16	0.44
30	79.51	34.00	288	34.89	1.31	2306					14.0	1.15	10.03
30	79.51	34.00	250	34.89	1.39	2304	2199	7.972	1.95	1.23			8.71
30	79.51	34.00	200	34.85	1.50	2302	2185	8.006	2.11	1.33	13.1	0.90	6.73
30	79.51	34.00	150	34.69	0.30	2296	2173	8.048	2.21	1.39	11.6	0.76	4.19
30	79.51	34.00	125	34.61	-0.30	2288	2162	8.070	2.25	1.42	10.3	0.69	3.53
30	79.51	34.00	100	34.55	-0.71	2286	2161	8.072	2.23	1.40	8.8	0.66	2.89
30	79.51	34.00	75	34.50	-0.46		2151				6.6	0.54	2.23
30	79.51	34.00	50	34.40	0.28	2283	2131	8.133	2.63	1.65	4.0	0.39	1.77
30	79.51	34.00	30	34.07	1.76	2266	2095	8.164	2.93	1.84			0.34
30	79.51	34.00	20	34.08	1.76	2267	2096	8.164	2.94	1.85	0.2	0.08	0.32
30	79.51	34.00	10	34.08	1.76	2253	2107	8.103	2.59	1.63			0.31
30	79.51	34.00	5	34.08	1.76	2268	2090	8.180	3.04	1.91	0.4	0.11	0.32
32	80.00	33.98	207	34.73	0.78	2302	2181	8.029	2.15	1.35	12.1	0.94	5.92
32	80.00	33.98	150	34.61	-0.12	2299	2167	8.078	2.31	1.45	10.2	0.81	4.06
32	80.00	33.98	125	34.56	-0.20	2297	2156	8.104	2.43	1.53	8.1	0.68	3.36
32	80.00	33.98	100	34.51	-0.25	2296	2154	8.112	2.47	1.55	7.2	0.61	2.70
32	80.00	33.98	75	34.43	0.29	2290	2136	8.138	2.66	1.67	4.1	0.44	1.83
32	80.00	33.98	50	34.34	0.96	2291	2117	8.177	2.96	1.86	2.1	0.30	1.26
32	80.00	33.98	30	33.94	1.44	2261	2087	8.179	2.97	1.87	0.4	0.12	0.39
32	80.00	33.98	20	33.88	1.39	2253	2081	8.177	2.95	1.85	0.4	0.12	0.37
32	80.00	33.98	10	33.88	1.40	2255	2079	8.185	3.00	1.89	0.4	0.12	0.42
32	80.00	33.98	5	33.88	1.39	2258	2093	8.160	2.86	1.80	0.4	0.13	0.36
33	80.50	33.95	152	34.56	-0.51	2294	2175	8.051	2.14	1.35	9.7	0.75	4.01
33	80.50	33.95	125	34.53	-0.53	2300	2166	8.092	2.35	1.48	9.1	0.69	3.47
33	80.50	33.95	100	34.50	-0.39	2294	2160	8.092	2.36	1.48	6.9	0.44	2.76
33	80.50	33.95	75	34.42	0.03	2292	2142	8.131	2.60	1.63	5.2	0.45	1.77

33	80.50	33.95	50	34.36	0.82	2282	2120	8.151	2.79	1.75			1.66
33	80.50	33.95	30	33.72	0.81	2257	2079	8.202	3.03	1.90	1.2	0.18	0.65
33	80.50	33.95	20	33.44	0.65	2230	2047	8.224	3.10	1.94	0.5	0.12	0.33
33	80.50	33.95	10	32.51	-0.03	2163	1996	8.218	2.85	1.78	0.1	0.09	0.19
33	80.50	33.95	5	31.96	-0.44	2136	1968	8.239	2.87	1.79	0.1	0.07	0.21

Tabell 6. Tromsø-Longyearbyen, overflate i Barentshavsåpning 2016. Surface 2016. *A_T,pCO₂, kalsitt og aragonitt beregnet fra C_T og pH_T grunnet analysefeil.

Dato	Bredde- grad N	Lengde- grad E	Salt	Temp (°C)	A _T (μmol kg ⁻¹)	C _T (μmol kg ⁻¹)	pH-t <i>in situ</i>	pH-P <i>in situ</i>	pCO ₂ μatm	Kal sitt	Arago nitt	PO ₄ (μmol kg ⁻¹)	NO ₃ + NO ₂ (μmol kg ⁻¹)	SiO ₂ (μmol kg ⁻¹)
11.3	69.711	19.050	33.355	3.792	2272.6	2125.4	8.059	8.135	376.0	2.65	1.66	0.60	6.99	4.40
11.3	70.220	19.472	33.763	4.801	2282.8	2148.0	8.075	8.150	363.4	2.48	1.56	0.63	6.99	2.93
11.3	70.966	19.289	34.414	5.926	2291.2	2154.2	8.074	8.149	364.7	2.51	1.59	0.66	8.38	3.74
12.3	71.616	19.344	34.858	6.523	2313.5	2155.3	8.064	8.149	378.0	2.81	1.78	0.73	9.77	3.90
12.3	72.192	19.275	34.932	6.158	2309.6	2155.9	8.065	8.148	376.1	2.74	1.73	0.73	9.77	3.90
12.3	72.808	19.103	35.011	6.549	2341.1	2173.9	8.056	8.140	390.2	2.95	1.86	0.79	10.47	4.39
12.3	73.300	18.967	35.029	6.222	23420.	2173.6	8.064	8.131	382.4	2.96	1.87	0.79	10.82	4.23
12.3	74.552	18.880	34.378	-0.203	2299.0	2172.9	8.073	8.097	359.9	2.32	1.46	0.73	9.08	4.07
13.3	75.300	16.773	34.941	4.310	2337.6	2176.8	8.076	8.088	367.4	2.84	1.79	0.85	10.47	4.55
13.3	75.895	15.199	35.018	5.001	2338.8	2165.2	8.075	8.095	369.4	3.02	1.91	0.82	11.17	4.23
13.3	76.368	14.128	35.017	4.768	2357.3	2183.1	8.079	8.106	368.7	3.04	1.92	0.82	11.17	4.07
13.3	76.945	13.519	34.819	3.373	2283.3	2165.1	8.024	8.030	409.4	2.22	1.40	0.82	9.77	4.88
13.3	77.508	13.279	34.739	2.349	2287.0	2163.3	8.056	8.051	376.4	2.29	1.44	0.79	9.77	4.55
13.3	77.992	13.099	34.555	0.452	2288.3	2176.7	8.086	8.075	347.1	2.13	1.34	0.76	9.77	4.39
14.3	78.228	15.628	34.401	5.580	2307.9	2186.3	7.975	7.967	474.0	2.31	1.46	0.92	9.77	5.69
21.6	69.708	19.050	32.476	8.852	2146.2	1994.5	8.148	8.234	286.8	2.71	1.71	0.19	0.49	1.19
21.6	69.708	19.050	32.476	8.852	2146.2	1994.5	8.150	8.238	285.2	2.71	1.71	0.19	0.49	1.19
21.6	70.240	19.456	33.344	8.768	2242.5	2056.9	8.171	8.248	280.1	3.23	2.05	0.16	0.07	0.00
21.6	70.954	18.800	34.489	8.550	2314.9	2107.5	8.163	8.227	293.0	3.55	2.25	0.25	0.28	0.42
22.6	71.661	17.998	34.787	9.033	2326.9	2163.1	8.180	8.252	280.6	2.93	1.86	0.16	0.28	0.00
22.6	72.207	17.331	34.909	8.925	2318.6	2127.7	8.162	8.233	293.4	3.31	2.10	0.22	1.54	0.80
22.6	72.837	16.449	34.988	8.565	2318.2	2136.3	8.146	8.214	305.9	3.17	2.01	0.32	2.86	2.11
22.6	73.327	15.826	34.980	8.790	2321.8	2130.9	8.144	8.221	308.1	3.30	2.10	0.32	3.00	1.79
22.6	74.575	14.566	35.050	8.660	2316.9	2162.0	8.139	8.209	311.0	2.79	1.77	0.32	2.93	2.44
22.6	75.314	14.070	35.035	7.851	2320.0	2141.0	8.136	8.185	313.7	3.12	1.98	0.41	4.12	2.60
23.6	75.876	13.729	35.030	7.617	2328.5	2124.6	8.198	8.248	266.4	3.48	2.21	0.32	1.67	1.63
23.6	76.361	13.574	35.023	7.139	2324.1	2142.8	8.149	8.200	303.2	3.15	1.99	0.38	3.91	2.60
23.6	76.950	13.424	34.743	5.628	2318.5	2116.5	8.219	8.271	250.5	3.44	2.17	0.19	0.77	1.59
23.6	77.492	13.253	34.487	4.776	2291.0	2087.4	8.222	8.268	246.0	3.45	2.17	0.16	0.21	1.07
23.6	78.067	13.480	34.433	4.568	2276.3	2087.3	8.236	8.272	235.6	3.22	2.03	0.19	0.14	0.80
23.6	78.260	15.427	33.960	5.544	2250.6	2066.4	8.212	8.244	249.4	3.16	2.00	0.25	0.28	1.63
13.9	69.707	19.049	32.319	9.301	2187.3	2007.0	8.079	8.182	351.9	3.15	1.99	0.41	2.87	2.61
13.9	70.239	19.461	33.895	9.986	2261.5	2065.8	8.099	8.209	340.9	3.38	2.15	0.32	1.19	0.65
14.9	70.980	18.942	34.325	11.220	2291.6	2077.5	8.113	8.215	332.7	3.67	2.34	0.19	0.28	<LOD
14.9	71.623	18.500	34.507	11.055	2292.9	2079.7	8.107	8.208	337.7	3.65	2.33	0.22	0.49	<LOD
14.9	71.960	18.276	34.648	10.501	2321.8	2088.7	8.116	8.215	333.2	3.96	2.52	0.25	0.91	<LOD
14.9	72.813	17.626	34.777	9.658	2313.3	2095.7	8.119	8.212	328.8	3.70	2.35	0.32	1.81	<LOD
14.9	73.342	17.237	34.899	8.894	2312.7	2105.2	8.116	8.201	331.0	3.54	2.25	0.38	3.35	<LOD
14.9	74.542	16.343	34.767	9.465	2303.8	2094.1	8.120	8.194	326.8	3.58	2.27	0.32	2.30	<LOD
15.9	75.321	15.643	34.888	8.042	2312.2	2110.9	8.129	8.198	319.1	3.44	2.18	0.38	2.79	<LOD
15.9	75.897	15.160	34.695	7.160	2335.6	2106.0	8.118	8.189	332.1	3.87	2.45	0.41	3.35	<LOD
15.9	76.353	14.716	34.928	8.248	2315.9	2114.2	8.111	8.180	335.5	3.45	2.19	0.44	4.33	<LOD
15.9	76.966	14.108	34.133	5.651	2260.2	2084.5	8.126	8.190	314.3	3.04	1.92	0.25	1.89	1.33
15.9	77.476	13.578	34.185	5.987	2285.3	2086.5	8.151	8.214	297.6	3.39	2.14	0.28	1.47	0.57
15.9	78.000	13.105	33.886	5.851	2249.4	2070.6	8.131	8.205	309.3	3.09	1.95	0.25	1.40	1.22
15.9	78.259	15.453	32.023	5.832	2182.0	1996.8	8.142	8.223	295.5	3.20	2.01	0.19	0.21	2.28
9.11	78.005	12.038	33.739	5.057	2260.5	2112.7	8.060	8.130	374.5	2.65	1.67	0.57	6.08	3.42
9.11	77.432	13.238	34.757	6.750	2300.4	2138.4	8.050	8.128	390.3	2.86	1.81	0.66	8.03	3.58
10.11	76.959	14.242	34.476	5.367	2267.1	2121.9	8.031	8.085	402.4	2.60	1.64	0.66	7.96	4.88
10.11	76.389	15.428	34.717	5.969	2303.2	2143.2	8.065	8.130	374.9	2.83	1.79	0.66	8.79	3.42
10.11	75.896	16.025	34.938	8.198	2311.5	2137.7	8.055	8.119	387.8	3.04	1.93	0.63	8.37	2.93
10.11	75.313	16.430	34.945	7.351	2307.3	2139.3	8.057	8.134	384.6	2.95	1.87	0.66	8.51	3.09
10.11	74.548	16.955	34.944	7.808	2308.8	2140.2	8.052	8.121	390.5	2.96	1.88	0.63	8.31	2.93
10.11	73.340	17.703	34.913	7.717	2312.9	2136.4	8.058	8.121	384.8	3.08	1.95	0.63	8.03	2.93
11.11	72.844	18.002	34.892	8.232	2311.0	2133.8	8.071	8.128	371.7	3.09	1.96	0.54	6.49	2.44
11.11	72.224	18.372	34.863	8.539	2306.8	2127.5	8.072	8.133	371.2	3.12	1.98	0.50	5.93	1.95
11.11	71.617	18.728	34.301	9.365	2292.8	2059.2	8.059	8.125	383.5	3.94	2.50	0.44	5.17	1.95
11.11	70.961	19.067	34.086	8.921	2287.2	2106.0	8.071	8.140	371.0	3.17	2.01	0.41	4.47	1.79
11.11	70.242	19.454	33.613	9.781	2269.9	2085.6	8.065	8.129	375.3	3.23	2.05	0.35	3.49	1.63
11.11	69.731	19.066	33.190	7.551	2231.5	2075.1	8.041	8.097	392.0	2.79	1.76	0.51	4.89	3.91

Tabell 7. Oslo-Kiel, overflatevann i Skagerrak 2016. Surface 2016.

Dato	Bredde- grad N	Lengde- grad E	Salt	Temp (°C)	A _T (μmol kg ⁻¹)	C _T (μmol kg ⁻¹)	pH-t <i>in situ</i>	pH-P <i>in situ</i>	pCO ₂ μatm	Kal sitt	Arag onitt	PO ₄ (μmol kg ⁻¹)	NO ₃ + NO ₂ (μmol kg ⁻¹)	SiO ₂ (μmol kg ⁻¹)
3.2	59.820	10.586	26.205	2.00	1977.4	1921.5	7.986	7.774	412.91	1.38	0.85	0.67	14.05	16.86
3.2	58.854	10.619	31.760	5.05	2271.1	2139.2	8.063	7.829	378.47	2.48	1.56	0.66	8.26	9.46
3.2	59.198	10.630	24.697	1.77	2023.4	1956.1	8.045	7.850	369.97	1.56	0.95	0.64	8.65	14.09
3.2	59.001	10.628	27.573	3.11	2146.7	2059.3	8.059	7.871	370.87	1.86	1.15	0.67	9.40	12.10
3.2	58.644	10.624	31.451	5.01	2261.9	2127.5	8.069	7.887	372.05	2.52	1.58	0.66	7.07	8.48
3.2	58.441	10.765	32.268	5.59	2273.6	2134.4	8.070	7.889	371.03	2.58	1.62	0.60	6.01	6.19
3.2	58.250	10.902	31.813	5.39	2264.4	2125.2	8.062	7.873	377.92	2.58	1.62	0.63	6.58	6.85
3.2	58.053	11.046	31.210	5.07	2251.3	2122.3	8.067	7.886	372.22	2.44	1.53	0.63	6.79	7.34
3.2	57.852	11.186	31.665	5.09	1988.4	1937.2	8.071	7.897	323.77	1.31	0.82	0.85	12.94	16.79
23.4	59.797	10.570	21.847	7.23	1746.3	1673.1	8.281	8.151	183.75	1.58	0.96	0.10	3.10	8.87
23.4	59.196	10.630	19.967	7.72	1679.7	1606.9	8.201	8.088	224.33	1.58	0.95	0.10	4.16	12.66
23.4	58.992	10.697	20.512	7.87	1727.7	1640.5	8.193	8.080	233.75	1.81	1.08	0.10	3.53	11.18
23.4	58.838	10.740	21.760	7.50	1879.2	1787.9	8.160	8.036	271.94	1.92	1.16	0.10	3.74	10.02
23.4	58.647	10.797	24.367	8.10	2072.2	1946.0	8.183	8.061	274.61	2.51	1.54	0.10	0.21	3.28
23.4	58.448	10.873	28.418	8.00	2206.7	2058.7	8.181	8.048	280.60	2.80	1.75	0.10	0.70	1.36
23.4	58.232	10.983	29.539	8.01	2215.3	2063.6	8.155	8.026	298.02	2.83	1.77	0.10	0.14	0.91
23.4	58.048	11.074	29.765	8.10	2229.4	2094.1	8.181	8.056	279.77	2.59	1.62	0.10	0.84	1.19
29.8	59.819	10.574	21.146	17.85	1703.9	1565.0	8.120	8.138	283.21	2.71	1.66	0.13	0.35	2.30
29.8	58.999	10.695	26.838	17.25	2016.3	1872.4	8.092	8.105	334.09	2.78	1.75	0.10	0.63	3.60
29.8	58.849	10.736	27.334	17.26	2143.1	1965.3	8.075	8.071	370.81	3.38	2.14	0.10	0.28	1.96
29.8	58.662	10.790	26.875	17.38	2180.5	1960.9	8.075	8.081	379.55	4.11	2.59	0.13	0.21	1.96
29.8	58.452	10.869	26.045	17.53	2159.9	1955.0	8.059	8.058	395.54	3.90	2.45	0.13	0.21	2.13
29.8	58.261	10.962	25.708	17.40	2167.2	1942.1	8.061	8.075	396.36	4.26	2.67	0.16	0.21	1.97
29.8	58.056	11.058	28.629	17.03	2218.3	2002.3	8.062	8.065	391.70	3.98	2.53	0.19	0.21	1.96
29.8	57.857	11.160	26.488	17.30			8.059	8.070						
1.11	59.800	10.571	29.365	8.94	2109.4	2031.0	7.861	7.761	604.76	1.75	1.10	0.57	11.22	12.09
1.11	59.203	10.629	27.153	9.26	2109.6	1956.7	8.122	8.029	317.74	2.87	1.78	0.19	0.70	1.19
1.11	59.007	10.602	26.970	9.63	2132.3	1973.1	8.132	8.037	314.44	2.99	1.86	0.25	0.91	1.54
1.11	58.855	10.607	26.528	9.71	2124.8	1971.3	8.123	8.022	322.40	2.91	1.81	0.16	0.21	0.52
1.11	58.650	10.598	27.283	9.73	2137.6	1977.3	8.120	8.034	324.15	3.00	1.87	0.16	0.28	0.77
1.11	58.453	10.600	26.783	9.59	2109.5	1972.4	8.126	8.021	315.96	2.64	1.64	0.16	0.21	0.56
1.11	58.250	10.754	27.116	9.75	2139.4	1977.1	8.124	8.036	321.29	3.04	1.89	0.16	0.21	0.57
1.11	58.054	10.909	26.610	9.71	2128.2	1970.3	8.127	8.040	319.04	2.98	1.85	0.16	0.21	0.47
1.11	57.854	11.074	27.116	9.59	2143.7	1982.3	8.127	8.039	319.33	3.02	1.88	0.19	0.28	0.61
1.11	57.854	11.074	27.116	9.59	2143.7	1982.3	8.127	8.039	319.33	3.02	1.88	0.19	0.28	0.61

Tabell 8. Skrova kyststasjon 68.12N, 14.53Ø. Skrova coastal station at 68.12 N and 14.53 E.

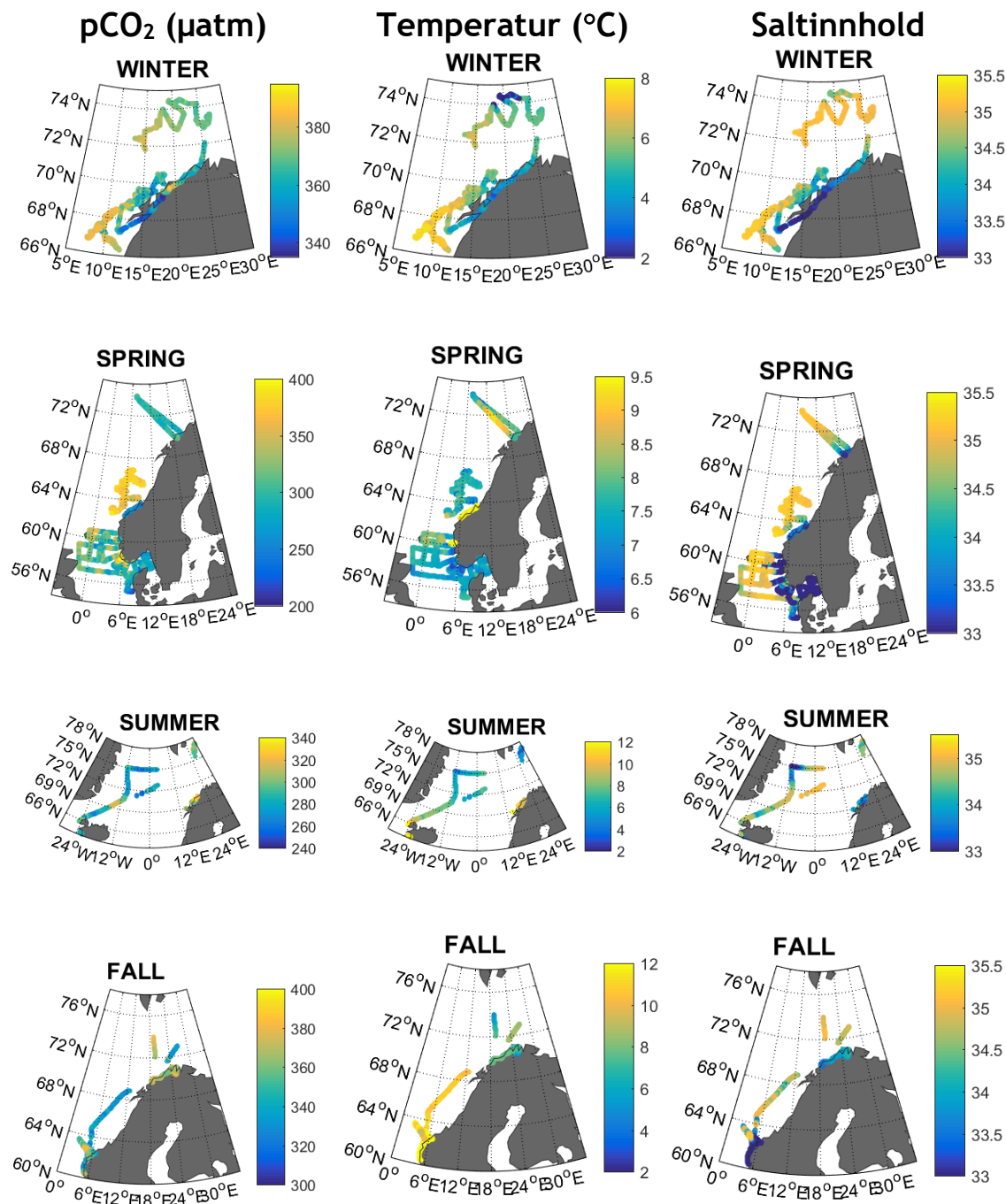
Dato	Dyp m	S	T (°C)	A _T (μmol kg ⁻¹)	C _T (μmol kg ⁻¹)	pH	WCa	W Ar	NO ₃ (μmol kg ⁻¹)	PO ₄ (μmol kg ⁻¹)	SiOH ₄ (μmol kg ⁻¹)
1/6/2016	300	34.92	7.38	2333	2201	7.946	2.32	1.48	13.20	0.85	6.38
1/6/2016	250	34.87	7.37	2334	2179	8.005	2.64	1.67	12.76	0.83	6.14
1/6/2016	200	34.74	7.49	2342	2178	8.028	2.80	1.78	12.08	0.78	5.50
1/6/2016	150	34.52	7.61	2329	2157	8.052	2.94	1.86	10.48	0.67	4.35
1/6/2016	100	33.80	9.01	2295	2122	8.046	2.99	1.90	7.10	0.48	2.95
1/6/2016	75	32.41	7.51	2236	2061	8.105	3.06	1.93	4.12	0.26	1.63
1/6/2016	50	32.16	6.73	2241	2060	8.132	3.14	1.98	3.79	0.26	1.57
1/6/2016	30	32.12	6.66	2209	2053	8.077	2.77	1.75	3.83	0.24	1.59
1/6/2016	20	32.02	6.67	2220	2057	8.096	2.90	1.82	3.70	0.25	1.57
1/6/2016	10	31.95	6.45	2207	2039	8.115	2.97	1.87	3.71	0.24	1.60
1/6/2016	5	31.95	6.47	2214	2045	8.117	2.99	1.88	3.74	0.25	1.61
1/6/2016	0	32.60	5.61	2216	2061	8.087	2.77	1.74	3.27	0.26	1.60
2/8/2016	300	34.96	7.39	2327	2156	8.044	2.83	1.80	12.81	0.82	6.35
2/8/2016	250	34.83	7.39	2341	2184	8.013	2.69	1.71	12.25	0.77	5.83
2/8/2016	200	34.75	7.60	2359	2174	8.074	3.10	1.97	11.18	0.73	5.12
2/8/2016	150	34.56	7.97	2337	2159	8.060	3.04	1.93	9.65	0.62	4.16
2/8/2016	100	33.96	7.70	2313	2128	8.092	3.16	2.00	6.30	0.44	2.75
2/8/2016	75	33.71	7.38	2278	2101	8.086	3.05	1.93	6.05	0.42	2.52
2/8/2016	50	32.74	6.33	2246	2081	8.092	2.89	1.82	5.13	0.36	2.16
2/8/2016	30	32.17	4.10	2211	2058	8.112	2.72	1.71	4.02	0.28	1.81
2/8/2016	20	32.12	4.00	2210	2048	8.137	2.85	1.79	4.04	0.28	1.82
2/8/2016	10	32.07	3.94	2199	2052	8.102	2.64	1.65	3.94	0.29	1.80
2/8/2016	5	32.03	3.92	2208	2051	8.126	2.78	1.74	4.00	0.25	1.80
2/8/2016	0	31.99	3.91	2195	2049	8.099	2.62	1.64	3.95	0.28	1.79
3/9/2016	300	34.92	7.62	2321	2170	7.961	2.39	1.52	0.85	13.08	6.26
3/9/2016	250	34.86	7.65	2323	2169	7.972	2.47	1.57	0.78	11.96	5.58
3/9/2016	200	34.78	7.63	2335	2172	7.997	2.62	1.66	0.76	11.50	5.20
3/9/2016	150	34.60	7.79	2314	2159	7.985	2.56	1.62	0.69	10.66	4.56
3/9/2016	100	34.32	8.07	2300	2127	8.040	2.88	1.83	0.52	7.43	3.09
3/9/2016	75	34.05	7.47	2282	2112	8.049	2.85	1.80	0.44	6.46	2.69
3/9/2016	50	33.73	6.56	2253	2086	8.070	2.84	1.79	0.37	5.21	2.24
3/9/2016	30	32.88	3.98	2240	2084	8.099	2.70	1.70	0.33	4.35	2.08
3/9/2016	20	32.70	3.45	2246	2091	8.104	2.68	1.68	0.35	4.75	2.20
3/9/2016	10	32.66	3.43	2219	2070	8.096	2.60	1.63	0.33	4.22	2.06
3/9/2016	5	32.63	3.36	2220	2069	8.102	2.63	1.65	0.33	4.25	2.05
3/9/2016	0	32.57	3.33	2131					0.32	4.18	2.05
4/24/2016	300	34.98	7.61	2323	2172	7.961	2.40	1.52	0.84	12.57	6.44
4/24/2016	250	34.95	7.70	2331	2160	8.013	2.70	1.71	0.79	12.00	5.88
4/24/2016	200	34.85	7.66	2366	2185	8.035	2.87	1.82	0.75	11.79	5.67

4/24/2016	150	34.75	7.73	2328	2155	8.024	2.79	1.77	0.71	11.41	5.47
4/24/2016	100	34.55	7.80	2312	2153	7.997	2.64	1.67	0.70	10.36	4.87
4/24/2016	75	34.34	7.75	2304	2144	8.007	2.68	1.70	0.62	9.15	4.16
4/24/2016	50	33.41	5.59	2286	2123	8.077	2.81	1.77	0.40	4.20	1.51
4/24/2016	30	32.69	4.45	2247	2093	8.097	2.74	1.72	0.10	0.08	0.47
4/24/2016	20	32.61	4.51						0.10	0.08	0.57
4/24/2016	10	32.52	4.66	2229	2041	8.181	3.24	2.03	0.09	0.09	0.46
4/24/2016	5	32.39	4.66	2224	2060	8.127	2.90	1.82	0.08	0.07	0.57
4/24/2016	0	29.64	5.39	2227	2080	8.107	2.74	1.71	0.09	0.12	0.55
5/10/2016	300	34.99	7.68	2313	2185	7.901	2.11	1.34	0.83	12.25	6.12
5/10/2016	250	34.92	7.70	2317	2173	7.945	2.34	1.48	0.79	11.91	5.78
5/10/2016	200	34.83	7.71	2322	2171	7.968	2.46	1.57	0.76	11.64	5.55
5/10/2016	150	34.72	7.74	2310	2165	7.955	2.40	1.52	0.72	11.08	5.25
5/10/2016	100	34.52	7.80	2304	2158	7.973	2.51	1.59	0.50	7.50	4.54
5/10/2016	75	34.40	7.74	2301	2156	7.969	2.48	1.57	0.65	9.44	4.18
5/10/2016	50	34.09	7.31	2286	2134	8.016	2.67	1.69	0.38	3.85	3.08
5/10/2016	30	33.32	5.40	2264	2103	8.086	2.82	1.78	0.27	1.99	1.21
5/10/2016	20	33.19	5.25	2252	2094	8.081	2.76	1.74	0.23	2.26	1.39
5/10/2016	10	32.60	5.73	2226	2052	8.131	3.04	1.92	0.11	0.07	0.54
5/10/2016	5	32.57	5.99	2239	2098	8.043	2.59	1.63	0.09	0.10	0.44
5/10/2016	0	28.15	7.48	2229	2059	8.153	3.15	1.96	0.09	0.14	0.45
6/16/2016	300	35.02	7.63	2330	2166	7.994	2.57	1.64	0.81	12.10	5.74
6/16/2016	250	34.98	7.63	2333	2165	8.003	2.64	1.68	0.82	12.63	6.30
6/16/2016	200	34.91	7.68	2345	2178	8.004	2.68	1.70	0.82	12.40	6.17
6/16/2016	150	34.79	7.69	2329	2159	8.021	2.77	1.76	0.72	10.62	4.63
6/16/2016	100	34.53	7.42	2316	2157	8.000	2.62	1.66	0.73	10.92	4.89
6/16/2016	75	34.20	7.02	2302	2130	8.056	2.88	1.82	0.54	7.33	2.90
6/16/2016	50	33.88	6.81	2296	2110	8.108	3.15	1.99	0.39	3.74	1.84
6/16/2016	30	33.44	7.78	2264	2059	8.152	3.50	2.21	0.10	0.10	0.95
6/16/2016	20	33.10	8.00	2253	2098	8.039	2.80	1.77	0.07	0.08	0.81
6/16/2016	10	33.02	8.58	2220	2020	8.142	3.44	2.18	0.05	0.06	0.54
6/16/2016	5	32.76	9.47	2236	2024	8.154	3.65	2.31	0.05	0.02	0.53
6/16/2016	0	30.91	11.79	2230	2028	8.121	3.60	2.28	0.08	0.09	0.61
7/1/2016	300	35.04	7.63	2334	2161	8.016	2.70	1.72	0.78	12.06	5.76
7/1/2016	250	34.98	7.62	2333	2171	7.988	2.56	1.63	0.80	12.28	6.03
7/1/2016	200	34.90	7.68	2324	2170	7.974	2.50	1.59	0.79	11.94	5.69
7/1/2016	150	34.80	7.64	2310	2135	8.043	2.87	1.82	0.52	7.10	2.86
7/1/2016	100	34.55	7.50	2324	2159	8.015	2.72	1.72	0.67	10.46	4.70
7/1/2016	75	34.34	7.28	2313	2153	8.031	2.78	1.76	0.23	2.97	1.60
7/1/2016	50	33.92	6.72	2331	2173	8.016	2.65	1.67	0.73	11.45	5.33
7/1/2016	30	33.45	7.09	2282	2116	8.060	2.87	1.81	0.40	4.43	2.02
7/1/2016	20	33.13	7.76	2241	2084	8.047	2.80	1.77	0.13	0.16	0.62
7/1/2016	10	32.32	10.56	2216	2067	7.997	2.74	1.73	0.07	0.05	0.55
7/1/2016	5	32.28	11.47	2199	2004	8.095	3.40	2.16	0.07	0.06	0.44
7/1/2016	0	32.24	11.77	2208	2010	8.098	3.47	2.20	0.06	0.18	0.48

9/23/2016	300	35.07	7.55	2333	2159	8.016	2.69	1.71	0.86	12.36	6.27
9/23/2016	250	34.99	7.60	2332	2176	7.975	2.49	1.58	0.82	12.46	5.78
9/23/2016	200	34.87	7.53	2326	2165	7.992	2.58	1.64	0.81	12.27	5.51
9/23/2016	150	34.56	7.37	2316	2162	7.988	2.54	1.61	0.72	10.89	4.52
9/23/2016	100	34.12	8.13	2279	2108	8.042	2.87	1.82	0.44	5.45	1.79
9/23/2016	75	33.84	9.46	2267	2077	8.078	3.21	2.04	0.25	2.58	0.98
9/23/2016	50	33.37	11.26	2281	2088	8.065	3.34	2.12	0.14	1.24	0.85
9/23/2016	30	33.18	11.98	2261	2042	8.119	3.77	2.40	0.07	0.10	0.76
9/23/2016	20	33.07	12.04	2267	2049	8.118	3.77	2.40	0.07	0.09	0.77
9/23/2016	10	33.03	12.22	2267	2103	7.994	2.98	1.90	0.06	0.06	0.79
9/23/2016	5	32.86	12.86	2252	2061	8.050	3.38	2.15	0.09	0.18	0.84
9/23/2016	0	32.89	12.89	2250	2086	7.987	2.98	1.90	0.11	0.28	0.81
10/24/2016	300	35.01	7.55	2324	2173	7.963	2.40	1.53	0.85	11.93	5.80
10/24/2016	250	34.93	7.51	2332	2152	8.035	2.80	1.78	0.86	12.41	6.03
10/24/2016	200	34.78	7.51	2335	2188	7.958	2.41	1.53	0.85	12.25	5.79
10/24/2016	150	34.41	7.50	2305	2141	8.018	2.69	1.71	0.67	9.43	3.86
10/24/2016	100	33.85	9.22	2277	2106	8.030	2.89	1.84	0.45	4.95	1.58
10/24/2016	75	33.22	11.81	2247	2049	8.073	3.39	2.16	0.16	1.30	1.03
10/24/2016	50	32.87	11.35	2256	2055	8.092	3.46	2.20	0.16	1.33	1.03
10/24/2016	30	32.74	10.95	2251	2077	8.041	3.09	1.96	0.14	0.95	1.09
10/24/2016	20	32.73	10.91	2248	2067	8.057	3.18	2.02	0.17	1.05	1.03
10/24/2016	10	32.69	10.83	2250	2050	8.104	3.48	2.21	0.16	1.03	1.03
10/24/2016	5	32.68	10.80	2243	2048	8.093	3.40	2.16	0.16	1.00	1.05
10/24/2016	0	32.68	10.81	2244	2071	8.043	3.08	1.95	0.15	1.04	1.04
11/23/2016	300	35.02	7.53	2324	2182	7.940	2.29	1.46	0.82	11.55	6.02
11/23/2016	250	34.94	7.52	2326	2183	7.945	2.33	1.48	0.82	12.32	6.03
11/23/2016	200	34.84	7.48	2324	2189	7.928	2.25	1.43	0.81	12.27	5.89
11/23/2016	150	34.41	7.56	2306	2160	7.970	2.45	1.55	0.64	9.42	3.93
11/23/2016	100	33.16	9.73	2253	2084	8.033	2.90	1.84	0.27	3.26	1.51
11/23/2016	75	32.90	9.10	2254	2094	8.027	2.81	1.78	0.20	2.62	1.29
11/23/2016	50	32.87	9.07	2254	2082	8.056	2.98	1.88	0.21	2.74	1.39
11/23/2016	30	32.86	9.02	2246	2089	8.024	2.79	1.76	0.21	2.69	1.32
11/23/2016	20	32.85	9.03	2244	2072	8.061	3.00	1.90	0.20	2.67	1.38
11/23/2016	10	32.84	9.03	2256	2073	8.086	3.18	2.01	0.21	2.71	1.32
11/23/2016	5	32.83	9.03	2245	2068	8.075	3.09	1.96	0.21	2.72	1.31
11/23/2016	0	32.75	8.87	2236	2078	8.031	2.81	1.78	0.20	2.79	1.29
12/13/2016	300	34.97	7.52	2316	2168	7.988	2.53	1.61			
12/13/2016	250	34.95	7.52	2332	2187	7.980	2.52	1.60			
12/13/2016	200	34.85	7.49	2365	2184	8.067	3.06	1.94			
12/13/2016	150	34.65	7.51	2321	2169	8.007	2.67	1.70			
12/13/2016	100	34.06	8.27	2259	2093	8.046	2.88	1.83			
12/13/2016	75	33.07	8.13	2240	2085	8.034	2.74	1.73			
12/13/2016	50	32.76	7.78	2243	2062	8.108	3.14	1.98			
12/13/2016	30	32.72	7.69	2243	2065	8.104	3.12	1.97			
12/13/2016	20	32.75	7.62	2226	2052	8.099	3.06	1.93			

12/13/2016	10	32.55	7.16	2227	2055	8.105	3.04	1.92
12/13/2016	5	32.54	7.14	2221	2059	8.081	2.89	1.82
12/13/2016	0	32.43	7.09	2223	2058	8.091	2.94	1.85

8. Vedlegg B. Data fra F/F G.O. Sars



Figur 51. pCO₂ (μatm; venstre kolonne), temperatur (°C; midtre kolonne) og saltinnhold (høyre kolonne) målt i fire ulike sesonger.

Figure 51. pCO₂ (μatm; left column), temperature (°C; mid column) and salinity (right column) measured during four seasons.

9. Vedlegg C: Definisjoner

$$A_T = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] + [\text{NH}_3] + [\text{HS}^-] - [\text{H}^+] - [\text{HSO}_4^-] + [\text{HF}] + [\text{H}_3\text{PO}_4] - \dots \quad (4)$$

$$C_T = [\text{CO}_2^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (5)$$

$$[\text{H}^+] \sim [\text{H}^+]_f + [\text{HSO}_4^-],$$

der $[\text{H}^+]_f$ er den frie hydrogenkonsentrasjonen

$$\text{pH} = -\log_{10} ([\text{H}^+]) \quad (6)$$

$$\text{pCO}_2 = [\text{CO}_2^*] / K_0 \quad (7)$$

Miljødirektoratet

Telefon: 03400/73 58 05 00 | Faks: 73 58 05 01

E-post: post@miljodir.no

Nett: www.miljodirektoratet.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 Klima- og 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 klima- og miljøpolitikken. Vi er faglig uavhengig. Det innebærer at vi opptre 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.