

Cecilie H. von Quillfeldt (red.)

Miljøverdier og sårbarhet i iskantsonen





Kortrapport / Brief Report no. 047



Cecilie H. von Quillfeldt (red.)

Miljøverdier og sårbarhet i iskantsonen

Norsk Polarinstitutet er Norges hovedinstitusjon for kartlegging, miljøovervåking og forvaltningsrettet forskning i Arktis og Antarktis. Instituttet er faglig og strategisk rådgiver i miljøvernsaker i disse områdene og har forvaltningsmyndighet i norsk del av Antarktis. Instituttet er et direktorat under Klima- og miljødepartementet.

The Norwegian Polar Institute is Norway's central governmental institution for management-related research, mapping and environmental monitoring in the Arctic and the Antarctic. The Institute advises Norwegian authorities on matters concerning polar environmental management and is the official environmental management body for Norway's Antarctic territorial claims.

The Institute is a Directorate within the Ministry of Climate and Environment.

Oversikt over forfattere (alfabetisk)

Philipp Assmy – Norsk Polarinstitut
Bjarte Bogstad – Havforskningsinstituttet
Malin Daase – UiT Norges arktiske universitet
Pedro Duarte – Norsk Polarinstitut
Agneta Fransson – Norsk Polarinstitut
Sebastian Gerland – Norsk Polarinstitut
Lis Lindal Jørgensen – Havforskningsinstituttet
Christian Lydersen – Norsk Polarinstitut
Ida Kessel Nordgård – Norsk Polarinstitut
Angelika Renner – Havforskningsinstituttet
Anne Britt Sandø – Havforskningsinstituttet
Hallvard Strøm – Norsk Polarinstitut
Arild Sundfjord – Norsk Polarinstitut
Cecilie H. von Quillfeldt – Norsk Polarinstitut
Dag Vongraven – Norsk Polarinstitut

© Norsk Polarinstitut 2018.

Framsenteret

Postboks 6606 Langnes

9296 Tromsø

www.npolar.no

post@npolar.no

Teknisk redaktør: Eva Therese Jenssen
Forsidefoto: Cecilie H. von Quillfeldt
Grafisk design: Norbye & Konsepta AS, www.norbye.no
Trykket: Mai 2018
ISBN: 978-82-7666-417-1 (papirutgave)
ISBN: 978-82-7666-418-8 (digital utgave)
ISSN: 0803-0421 (papirutgave)
ISSN: 2464-1308 (digital utgave)

Forord

Forvaltningsplanene for norske havområder inneholder en rekke elementer, bl.a. identifisering av verdifulle og sårbare områder i henhold til gitte kriterier. I forbindelse med revidering av forvaltningsplanen for Barentshavet skal Faglig forum vurdere de verdifulle og sårbare områdene i planen og evaluere tilstand, kunnskapsstatus, eventuelle behov for å justere grenser m.m. Iskantsonen og polarfronten er to av flere verdifulle og sårbare områder i planen. Sett i lys av ny kunnskap som har fremkommet de senere årene, var det behov for en gjennomgang av det faglige grunnlaget for iskantsonen og polarfronten som verdifulle og sårbare områder. Derfor ba Faglig forum Norsk Polarinstitut (NP) og Havforskningsinstituttet (HI) om å lage en fagutredning med fokus på iskantsonen og polarfronten. Det var ikke en del av oppdraget å definere hvor forvaltningsgrensen for disse verdifulle og sårbare områdene skal gå i en revidert forvaltningsplan. Det vil bli to separate fagrapporter for henholdsvis iskantsonen og polarfronten, hvor iskantsonen skal leveres 30.06.17 og polarfronten innen 30.06.18. NP og HI har det faglige ansvaret for rapportene og de skal ikke godkjennes av Faglig forum. Fagrapportene oppsummerer eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold, gjør en vurdering av biologisk verdi og sårbarhet og omtaler kort fremtidige endringer i områdenes utbredelse og fysiske egenskaper og økologiske implikasjoner som følge av dette. De to fagrapportene vil inngå i Faglig forums videre arbeid med de verdifulle og sårbare områdene i Barentshavet og Norskehavet. Det vil bli en egen rapport fra Faglig forum som omtaler alle de verdifulle og sårbare områdene (inkludert iskantsonen og polarfronten) i Barentshavet samlet. Rapporten fra Faglig forum skal være ferdig innen utgangen av 2018.

Cecilie H. von Quillfeldt

Prosjektleder

Tromsø, 30.06.17

Sammendrag

Iskantsonerapporten tar for seg den delen av Norskehavet og Barentshavet hvor iskantsonen befinner seg i hele eller deler av året. Under følger et kort sammendrag basert på funn og konklusjoner i rapporten.

Produksjonsforhold, forekomst av arter, sårbarhet for ulike typer av påvirkning og hvordan dette varierer gjennom året og mellom år har betydning for i hvilken grad iskantsonen er verdifull og sårbar. Imidlertid vil hele iskantsonen alltid være viktig for flere arter og/eller biologiske prosesser uavhengig av årstid. Grunnet iskantsonens dynamiske natur hvor fysiske, kjemiske og biologiske egenskaper varierer gjennom året, mellom år, fra øst til vest og fra nord til sør, er det imidlertid med dagens kunnskap ikke mulig å gradere ulike deler av iskantsonen med tanke på sårbarhet.

Iskantsonen er en overgangssone mellom isfritt og isdekket hav, hvor iskonsentrasjonen er mellom 15 og 80 %. Iskantsonen er vanligvis begrenset til noen titalls kilometer, men det finnes lite data som sier noe definitivt om hvor langt inn i drivisen den strekker seg. I tillegg til sesongmessige variasjoner, forekommer mer kortvarige variasjoner, f.eks. forårsaket av vindretning og -styrke. Endringer i romlig fordeling kan skje i løpet av timer eller dager.

Smelting av havisen om våren/sommeren fører til at det dannes et overflatelag som er ferskere enn det arktiske vannet. Tykkelsen av smeltevannslaget og graden av stabilitet mellom dette og vannet under avhenger bl.a. av istykkelse og -konsentrasjon, smeltehastighet og hvor mye vinddrevet blanding som forekommer underveis i smeltesesongen.

Næringssaltkonsentrasjonen varierer i isen og underliggende vannmasser avhengig av forbruk fra primærproduktene, tilførsel via omrøring eller havstrømmer og regenerering (gjenbruk). Jo mer stabilt det smeltepåvirkede laget er jo mer av næringstilførselen skjer via regenerering.

Det er forskjeller i type is, isens egenskaper, iskonsentrasjon og mengde snø på overflaten i ulike områder, noe som har betydning for kvantitet og kvalitet på innstrålt lys for primærproduktene og andre organismer som lever i tilknytning til havisen eller i de underliggende vannmassene.

Planteplanktonoppblomstringen i iskantsonen vil følge isen ettersom den trekker seg nordover. Modellresultater tyder på at størstedelen av planteplanktonproduksjonen skjer i iskantsonen og reduseres betydelig når iskonsentrasjonen er mer enn 80 %, i første omgang pga. lysbegrensning knyttet til både istykkelse og mengde snø på isen. Ettersom isen smelter og blir tynnere kan blomstringen også pågå nord for iskantsonen. Det er imidlertid stor romlig variasjon i mengde planteplanktonproduksjon, i tillegg til variasjon mellom år.

Isalger i eller på undersiden av isen bidrar også relativt sett mer til den totale primærproduksjonen jo lenger nord man kommer og i områder med flerårsis sammenlignet med områder med yngre is hvor en større andel av primærproduksjonen foregår i vannmassene. Isalgeblomstringen starter tidligere enn planteplanktonblomstringen, og dermed forlenges den produktive sesongen i området. Generelt så vil imidlertid tynn og dynamisk is muliggjøre planteplanktonoppblomstringer under is, noe som nå rapporteres fra flere arktiske områder, inkl. nord for Svalbard.

Primærproduksjonen i iskantsonen følges av dyreplankton, fisk, sjøfugl og sjøpattedyr som beiter seg nordover, i tillegg til at en stor del av produksjonen sedimenterer ut av vannsøylen og kommer bunnlevende, såkalte bentiske organismer til gode. Eventuelle endringer i lokalisering av iskantsonen og primærproduksjonen knyttet til havis vil kunne få følger for øvrige ledd i næringskjeden.

Lokalisering av iskanten er derfor med på å bestemme forekomsten av fisk, sjøfugl, isbjørn, samt flere sel- og hvalarter, både når det gjelder antall og utbredelse. Mange av disse artene er toppredatorer.

Sekundærproducentene i de frie vannmasser i iskantsonen inkluderer primært larver av bunndyr som bare lever pelagisk i en kort periode i starten av livet, amfipoder, krill, ulike arter og livsstadier av hoppekreps og sekkedyr. Noen arter finnes i mesteparten av iskantsonen hele livet, mens andre arter blir fraktet inn i iskantsonen med atlanterhavsvann. I tillegg har f.eks. flere arter av amfipoder tilknytning til selve sjøis gjennom hele livssyklusen.

Bunndyrene i Barentshavet viser et tydelig biogeografisk mønster der artene har klare preferanser når det kommer til dybde, temperatur, salinitet, sedimentets beskaffenhet, strømforhold og graden av isdekke. I dype områder i iskantsonen har bunnsamfunnet preferanse for lav og stabil temperatur, mens i grunne områder varierer bunnsamfunnene fra å være brede varme- til smale kuldetolerante. På grunn av den høye arts- og funksjonskompleksiteten i bunndyrssamfunnet, samt forskjellene mellom grunne banker, havbunnens dybdegradienter, og de dype bløtbunnsslettene i Barentshavet, er det imidlertid umulig å gi et helhetlig svar på verdien av iskantsonen. De grunne bankene kan ha en sterkere tilknytning til havisen pga. den kortere avstanden til havoverflaten, sammenliknet med de dype områdene.

Det finnes ikke noe godt estimat for hvor mange fiskearter som lever i den delen av Barentshavet som overlapper med iskantsonen, både fordi dette tallet varierer igjennom året og fra ett år til et annet, men også fordi store klimastyrte endringer i fiskeartenes romlige utbredelse nå finner sted. For de kommersielt viktige fiskeartene i Barentshavet er iskantsonen først og fremst et beiteområde, og i noen grad også et oppvekstområde. Med unntak av to pelagiske arter (polartorsk og istorsk), er de fleste fiskeartene i iskantsonen i Barentshavet sterkt tilknyttet havbunnen.

Av sjøfuglene kan særlig polarlomvi og alkekonge forekomme i store konsentrasjoner i iskantsonen og inne i råker om våren, men også teist og ismåke er vanlig. I tillegg observeres havhest, polarmåke og krykkje i iskantsonen gjennom hele året, men den relative betydningen av iskantsonen som furasjeringsområde (næringsområde) er dårlig kjent for disse artene. Ismåken er den eneste arten som er direkte avhengig av iskantsonen gjennom hele sitt livsløp. Felles for alle sjøfuglartene, med unntak av ismåke, er at vi har en manglende forståelse av den relative betydningen av iskantsonen som habitat, i forhold til andre habitat sjøfuglene benytter gjennom året.

Flere selarter bruker isen som kaste-, hårfellings- og hvileområde, men betydningen av iskantsonen varierer mellom arter og gjennom året. Kasting hos hvalross foregår f.eks. dypt inne i isen hovedsakelig på østsiden av Svalbard og over mot Franz Josef Land, mens steinkobbe på vestsiden av Spitsbergen kan benytte den helt ytterste delen av drivisen som hvileplattform, fortrinnsvis om vinteren. Videre er arter som beiter på havbunnen (hvalross og storkobbe), avhengig av at havisen ligger over grunne havområder. Grønlandshval, hvithval og narhval er de eneste hvalartene som er tilpasset til å være i områder med is hele året. I tillegg furasjerer bardehvaler (blåhval, finnhval, knølhval og vågehval) og tannhvaler (spekkhogger) langs iskanten i sommermånedene. Det er imidlertid behov for mer kunnskap om betydningen av iskantsonen for ulike marine pattedyr til alle årstider, samt ulike arters respons på endringer i isforholdene.

Fødekalitet, og ikke bare mengde tilgjengelig føde, er avgjørende for økosystemtilstand. Flere tusen arter fordelt på en rekke ulike artsgrupper forekommer i tilknytning til isen, i vannmassene under eller på havbunnen. Arts sammensetning og mengde av de ulike artene og/eller artsgruppene varierer også gjennom året og mellom år. Selv om artene kan dele samme habitat, kan de okkupere ulike trofiske nisjer og ha ulik diett. Det er generelt behov for økt kunnskap om økosysteminteraksjoner og

prosesser i iskantsonen. I tillegg til forskningsaktivitet forutsetter dette økt fokus på artssammensetning, inkl. på lavere trofisk nivå i overvåkingen, flere tidsserier på bestandsstørrelse og habitatbruk, samt at økosystemkomponenter og prosesser i iskantsonen må følges gjennom året.

De viktigste endringene i de marine økosystemene, og som har betydning for nærings situasjonen for mange arter som opptrer i iskantsonen, er trolig klimaendringer, endringer i fiskeriene og fluktuasjoner i de pelagiske fiskebestandene. De fleste av disse faktorene virker over et større geografisk område enn iskantsonen slik den er definert i denne rapporten.

Endringer i når havisen legger seg og smelter, iskantsonens avstand til land, samt mengde og egenskaper til isen påvirker produksjonsforhold og artssammensetning i iskantsonen. Samtidig med endrete isforhold vil også temperaturendringer i vannmassene føre til forflytting av arter, endrete konkurranseforhold og øke sannsynligheten for introduksjon av sykdommer, sykdomsbærere og parasitter som de arktiske artene neppe har forsvar mot.

Fisket flytter seg også nord- og østover i takt med at isutbredelsen endres. Særlig i et område nord for Kong Karls Land og nordover mot Kvitøya er det forventet økt fiskeriaktivitet, dvs. i et område hvor det så langt har vært lite fiske. Bunntåling har blant annet effekt på bunnhabitater og bunndyr.

I tillegg er flere av artene i iskantsonen toppredatorer og har varierende evne til å bryte ned miljøgifter. Miljøgifter og plast kan inkorporeres i isen og frigis når isen smelter slik at organismer med tilknytning til isen blir eksponert for disse forbindelsene når isen smelter.

Påvirkning fra skipstrafikk og petroleumsvirksomhet er foreløpig antatt å være små, men gitt at et akutt oljeutslipp når iskantsonen, så kan det få store lokale konsekvenser, avhengig av omfang, type utslipp og årstid.

1 Innhold

Forord.....	5
Sammendrag.....	6
1 Innhold.....	9
2 Innledning.....	11
2.1 Bakgrunn og formål.....	11
2.2 Tilnærmingen til oppdraget på iskantsonen og format på leveransen.....	11
2.2.1 Geografisk avgrensning.....	11
2.2.2 Tilnærming til oppdraget.....	12
2.2.3 Format på leveransen.....	12
2.2.4 Organisering og involverte ressurser.....	13
2.3 Verdifulle og sårbare områder i de norske forvaltningsplanene.....	13
2.4 Iskantsonen i forvaltningsplanene.....	13
2.5 Referanser.....	14
3 Miljøverdier og sårbarhet i iskantsonen - oppsummering.....	15
3.1 Innledning.....	15
3.2 Fysiske og kjemiske forhold i iskantsonen.....	15
3.2.1 Havis, snødekke og lysforhold.....	15
3.2.2 Oseanografiske og kjemiske forhold.....	19
3.3 Biologiske forhold i iskantsonen.....	19
3.3.1 Artsgrupper og biologiske prosesser.....	19
3.3.2 Økologiske interaksjoner.....	36
3.4 Sårbarhet.....	40
3.4.1 Klimaendringer.....	40
3.4.2 Sot.....	49
3.4.3 Havforsuring.....	49
3.4.4 Miljøgifter.....	50
3.4.5 Plast.....	51
3.4.6 Fiskeri.....	51
3.4.7 Støy (fra skipstrafikk og seismikk).....	54
3.4.8 Oljeutslipp (fra skipstrafikk og petroleumsvirksomhet).....	55
3.5 Fremtidige endringer av iskantsonens utbredelse og fysiske egenskaper, og økologiske implikasjoner som følge av dette.....	57
3.5.1 Endringer i økosystemers struktur og funksjon.....	57
3.5.2 Endret aktivitet.....	60

3.5.3	Samvirkende effekter, eksempler.....	61
3.6	Kunnskaps- og overvåkingsbehov	62
3.7	Referanser.....	64
4	Vedlegg.....	75
4.1	Modul 1 Oppsummering av eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen.....	76
4.2	Modul 2 Fysisk og kjemisk beskrivelse av havisen i iskantsonen og tilhørende vannmasser	129
4.2.1	Definisjon iskantsone og geografisk begrensning.....	129
4.2.2	Regionale forskjeller, istyper og langtidstrender.....	129
4.2.3	Snøforhold på isen som kan forekomme i iskantsonen	131
4.2.4	Oseanografiske og kjemiske forhold i iskantsonen.....	131
4.2.5	Iskantsone – terminologi.....	133
4.2.6	Isfrekvens – dataperiode.....	133
4.2.7	Isfrekvens – datainnhenting og kartproduksjon.....	134
4.2.8	Isfrekvens – oppdatering 2017	134
4.2.9	Hvordan kan iskantsonebeskrivelsen brukes?.....	136
4.2.10	Tilgjengelighet av kart og data.....	136
4.3	Modul 3 Vurdering av biologisk verdi og sårbarhet i iskantsonen	137
4.3.1	Biologisk verdi.....	137
4.3.2	Påvirkning og sårbarhet.....	199
4.4	Modul 4 Fremtidige endringer av iskantsonens utbredelse og fysiske egenskaper og økologiske implikasjoner som følge av dette	228
4.4.1	Mulig temperaturutvikling i atmosfære og hav, og resulterende endringer i isdekke	228
4.4.2	Low trophic levels	231
4.4.3	Benthos	235
4.4.4	Fisk	236
4.4.5	Sjøfugl.....	237
4.4.6	Marine pattedyr.....	238
4.5	Referanser modul 2, 3 og 4.....	241
4.6	Forkortelser i rapporten	258

2 Innledning

2.1 Bakgrunn og formål

I Meld.St. 20 (2014-2015) Oppdatering av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten med oppdatert beregning av iskanten, står bl.a. følgende:

- Som en del av det faglige grunnlaget for revideringen av forvaltningsplanen i 2020 vil det også bli foretatt en gjennomgang av definisjonen som ligger til grunn for beregningen av iskanten.
- Behovet for å oppdatere avgrensningen av polarfronten som et særlig verdifullt og sårbart område vil bli vurdert i forbindelse med revidering av forvaltningsplanen i 2020.

En forutsetning for forvaltningsplanene for norske havområder er at de skal være faglig fundamenterte. Derfor ba Faglig forum (en av to arbeidsgrupper som følger opp forvaltningsplanene for norske havområder) Norsk Polarinstitutt (NP) og Havforskningsinstituttet (HI) om å lage en fagutredning med fokus på iskantsonen og polarfronten. Årsaken var behovet for en ny vurdering av hvordan de særlig verdifulle og sårbare områdene ved iskantsonen og polarfronten kan avgrenses med begrunnelse i fysiske og biologiske egenskaper. Gjennom oppdraget fra Faglig forum ble NP og HI derfor bedt om følgende:

- En fysisk beskrivelse av polarfronten, inkl. hvordan den varierer i tid og rom.
- En biologisk beskrivelse av både iskantsonen og polarfronten, inkl. hvordan verdier varierer gjennom året og mellom år og hva som er viktige drivere for naturlige variasjoner, kontra menneskeskapte.

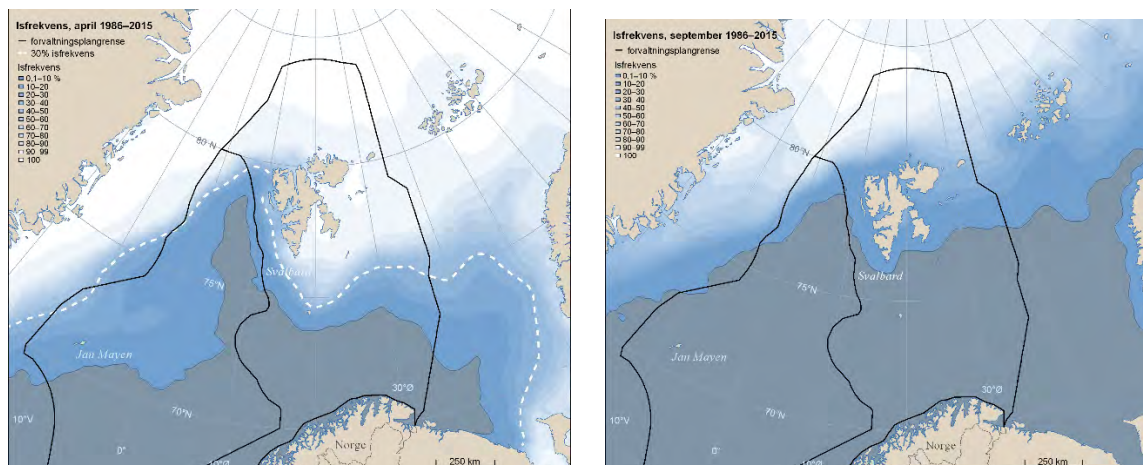
Årsaken til at fysisk beskrivelse av iskantsonen ikke ble like sterkt vektlagt som for polarfronten er at dette allerede ble gjort i forbindelse med Meld. St. 20 (2014-2015).

Det var ikke en del av oppdraget å definere hvor grensen for disse verdifulle og sårbare områdene skal gå i en revidert forvaltningsplan.

2.2 Tilnærmingen til oppdraget på iskantsonen og format på leveransen

2.2.1 Geografisk avgrensning

I rapporten omtales den delen av Norskehavet og Barentshavet hvor det, uansett tid på året og isfrekvens (nærmere omtalt i kapittel 3.2 og 4.2), kan tenkes at iskantsonen kan befinne seg (Figur 1). Flere av fjordene på Svalbard kan ha sjøis i deler av året, men er ikke omtalt i rapporten, da både isens egenskaper, biologisk verdi og sårbarhet vil være forskjellig for drivis i åpent hav og fastis i fjorder.



Figur 1. Isfrekvens (1986-2015) for april og september når isutbredelsen normalt er på eller nære hhv. sitt årlige maksimum og minimum. Stiplet hvit linje er linjen for 30 % isfrekvens som benyttes som avgrensning av «iskanten» som verdifulle og sårbart område i dagens forvaltningsplaner for hhv. Norskehavet og Barentshavet. Forvaltningsplanområdene er angitt med hele svarte linjer (Kilde: Norsk Polarinstitutt).

2.2.2 Tilnærming til oppdraget

I starten av arbeidet ble følgende tilnærming vedtatt:

- Gjøre utsjekk av forrige verdi- og sårbarhetsvurdering for iskantsonen og polarfronten med tanke på om/hvor det er behov for å endre fokus eller om det i hovedsak er de samme elementene som skal omtales.
- Beskrive verdi, sårbarhet, fysiske/biologiske prosesser m.m. både i nåtid og fremtid basert på eksisterende kunnskap.
- Gjennomføre nye analyser av eksisterende data, men det er ikke rom for innsamling av nye data innenfor prosjektets tidsramme.
- Utprøve muligheten for bruk av modelleringer som et verktøy inn i verdi- og sårbarhetsvurderinger.
- Synliggjøre hvordan kunnskapshull og usikkerhet spiller inn på verdi- og sårbarhetsvurderingene og komme med anbefalinger om fremtidig kunnskapsinnhenting.

2.2.3 Format på leveransen

- Det er egne rapporter for hhv. iskantsone (frist 30.06.17) og polarfront (frist 1.7.18).
- Iskantsonerapporten er en fagrapport med bruk av referanser som i vitenskapelige artikler.
- Rapporten består av en oppsummerende del og fire vedlegg med utdypende tekst:
 - Modul 1 Oppsummering av eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen.
 - Modul 2 Fysisk beskrivelse av havisen i iskantsonen og tilhørende vannmasser.
 - Modul 3 Vurdering av biologisk verdi og sårbarhet i iskantsonen.
 - Modul 4 Fremtidige endringer av iskantsonens utbredelse og fysiske egenskaper og økologiske implikasjoner som følge av dette.
- Produksjon av figurer som viser forskjeller i tid og rom var sentralt, men var til tider begrenset av datagrunnlaget.
- Leveransen på iskantsonen oversendes Faglig forum 30.06.17 som en pdf-fil, men vil bli trykket i NPs kortrapportserie våren 2018.

2.2.4 Organisering og involverte ressurser

Det var mest hensiktsmessig ut fra geografisk og tematisk ansvarsområde at NP hadde hovedansvar for å gjennomføre arbeidet knyttet til iskantsonen. HI bidro der det var relevant. For polarfronten er rollene byttet om. NP har imidlertid det overordnede ansvaret for oppdraget fra Faglig forum. Akvaplan-niva fikk i oppdrag å gjennomføre Modul 1 (Oppsummering av eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen).

2.3 Verdifulle og sårbare områder i de norske forvaltningsplanene

Det er utviklet forvaltningsplaner for alle norske havområder, dvs. Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten (St.meld. nr. 8 (2005-2006); oppdatert Meld. St. 10 (2010-2011)), Norskehavet (St.meld. nr. 37 (2008-2009)); oppdatert Meld. St. 35 (2016-2017)) og Nordsjøen og Skagerrak (Meld. St. 37 (2012-2013)). I alle planene er det identifisert særlig verdifulle og sårbare områder på grunnlag av ulike faglige utredninger. Verdifulle og sårbare områder er delområder i et planområde som ut fra naturfaglige vurderinger har vesentlig betydning for det biologiske mangfoldet og/eller den biologiske produksjonen, og der mulige skadevirkninger kan være langvarige eller irreversible.

Det faglige grunnlaget for forvaltningsplanene for hhv. Barentshavet og Norskehavet har blitt oppdatert en gang, Barentshavet i 2010 (von Quillfeldt 2010) og Norskehavet i 2014 (Anon 2014). I begge tilfellene ble det vurdert om verdi og/eller sårbarhet for hvert av de verdifulle og sårbare områdene, deriblant iskantsonen, hadde endret seg siden etableringen av forvaltningsplanene. Hovedkonklusjonen var at verdi og sårbarhet var uforandret i begge havområdene.

2.4 Iskantsonen i forvaltningsplanene

Flere av de vanligste artene i iskantsonen har internasjonal og/eller nasjonal verneverdi, rødlistestatus og/eller er ansvarsart og inngår i internasjonal og nasjonal overvåking (f.eks. Arctic Monitoring Assessment Program (AMAP), Circumpolar Biodiversity Monitoring Program (CBMP), norsk-russisk miljøovervåking, Forvaltningsplan for Barentshavet og Miljøovervåkingssystemet for Svalbard og Jan Mayen (MOSJ)). Fordi pelagiske, sympagiske og bentiske organismer forekommer i et dynamisk system vil også biodiversiteten være relativt stor i iskantsonen. Sett i sammenheng med ulike typer av påvirkning har dette ført til at deler av iskantsonen anses som et særskilt verdifullt og sårbart område i forvaltningsplanen for Barentshavet og forvaltningsplanen for Norskehavet (Vesterisen).

Det har også vært gjort forsøk på å oppdatere forvaltningsplanen for Barentshavets nordlige del, inkl. iskantsonen, i form av en melding til Stortinget i 2015 (Meld.St. 20 (2014–2015)). Begrunnelsen for hvorfor kun deler av forvaltningsplanområdet ble omtalt var at av de norske havområdene er det disse farvannene som er minst direkte påvirket av menneskelig aktivitet, samtidig som at det er her klimaendringene viser seg tidligst. Meldingen redegjør for naturverdiene i iskantsonen og det faglige grunnlaget for den oppdaterte beregningen av forvaltningsplanens iskant. Ved behandling i Stortinget vedtok imidlertid Stortingets flertall å sende meldingen tilbake til regjeringen, men ba samtidig regjeringen om å igangsette arbeid med ordinær helhetlig revidering av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten, og komme tilbake til Stortinget med denne.

Følgende momenter ble fremhevet spesielt for hvorfor iskanten er et verdifullt og sårbart område i forvaltningsplanen for Barentshavet og/eller Norskehavet:

- Verdier
 - Kortvarig, men intens primærproduksjon.

- Konsentrasjonen av beitende arter kan være høy.
 - Fordi produksjonen er så konsentrert i tid og rom, klarer ikke dyr i vannsøylen alltid å beite ned hele produksjonen, og en del (avhengig av dyp) vil nå bunnen.
 - Lodda beiter i iskantsonen, men gyter ved norskekysten og frakter deler av iskantproduksjonen til kystnære farvann.
 - Viktig for hvile og fødsler for enkelte sjøpattedyr.
 - Biogeografisk grense for flere arter.
 - Flere arter har nasjonal og/eller internasjonal verneverdi.
- Påvirkning
 - Klimaendringer
 - Mindre/ingen is – påvirker arter som er avhengige av is i sine livssykluser, produksjonsforhold og biodiversitet.
 - Større klimaendringer vil på lengre sikt kunne endre iskantens økosystem og utbredelse.
 - Akutte oljesøl fra eventuell utvinning eller skipstrafikk.
 - Andre giftige forbindelser kan dessuten inkorporeres i isen og frigjøres på et senere tidspunkt.

2.5 Referanser

Anon 2014. Faglig grunnlag for oppdatering av forvaltningsplanen for Norskehavet. Rapport fra Faglig forum, Overvåkingsgruppen og Risikogruppen til den interdepartementale styringsgruppen for forvaltningsplanen. *M140-2014*.

Von Quillfeldt C.H. (red.) 2010. Det faglige grunnlaget for oppdateringen av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten. Rapport fra Faglig forum, Overvåkingsgruppen og Risikogruppen til den interdepartementale styringsgruppen for forvaltningsplanen. *Fisken og havet, Sænummer 1a 2010*.

3 Miljøverdier og sårbarhet i iskantsonen - oppsummering

3.1 Innledning

Iskantsonen er et av flere verdifulle og sårbare områder i forvaltningsplanene for norske havområder. Sett i lys av ny kunnskap som har fremkommet de senere årene, er det behov for en gjennomgang av det faglige grunnlaget for iskantsonen som et verdifullt og sårbart område. Kapittel 4 beskriver resultatene fra denne gjennomgangen. Under følger et sammendrag av resultatene som synliggjør og nyanserer fysiske og biologiske sammenhenger, samt hvordan ulike typer av påvirkning regulerer sårbarhet.

Produksjonsforhold, forekomst av arter, sårbarhet for ulike typer av påvirkning og hvordan dette varierer gjennom året og mellom år har betydning for i hvilken grad iskantsonen er verdifull og sårbar. Grunnet iskantsonens dynamiske natur hvor både fysiske, kjemiske og biologiske egenskaper varierer gjennom året, mellom år, fra øst til vest og fra nord til syd, er det imidlertid med dagens kunnskap ikke mulig å gradere ulike deler av iskantsonen i forhold til sårbarhet.

Rapporten tar for seg den delen av Norskehavet og Barentshavet hvor iskantsonen kan befinne seg i hele eller deler av året (Figur 1; kapittel 2).



Ytterste del av iskantsonen. Foto: A. Derocher, NP.

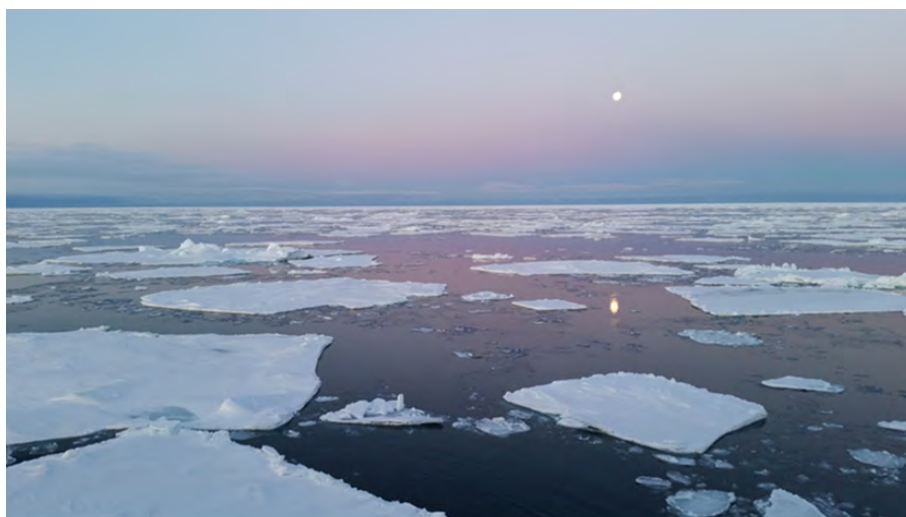
3.2 Fysiske og kjemiske forhold i iskantsonen

3.2.1 Havis, snødekke og lysforhold

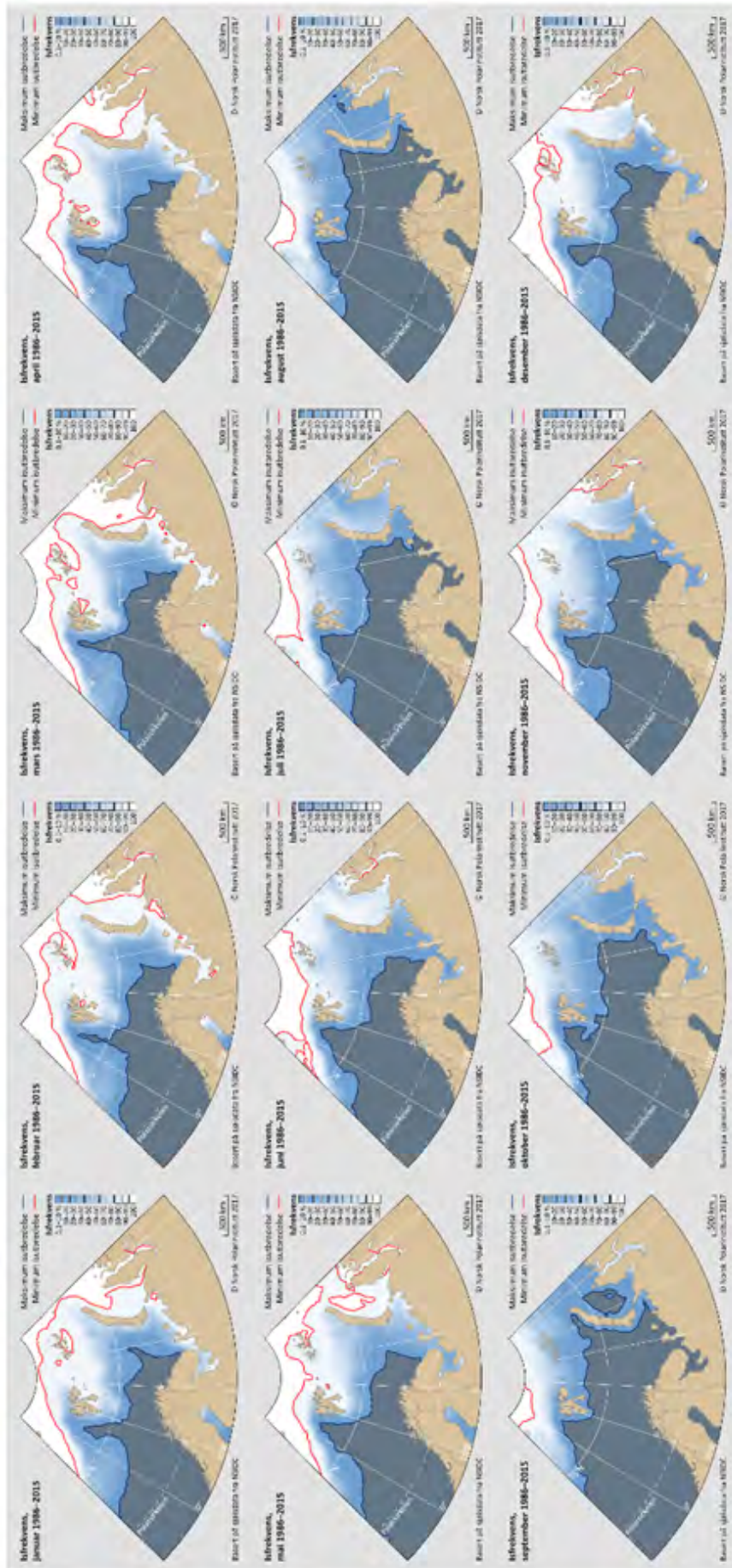
Iskantsonen (MIZ: Marginal Ice Zone) er en overgangssone mellom isfritt og isdekket hav hvor iskonsentrasjonen er mellom 15 og 80 % (<http://seaiceatlas.snap.uaf.edu/glossary>). Iskantsonen er vanligvis begrenset til noen titalls kilometer, men det finnes lite data som sier noe definitivt om hvor langt inn i drifisen den strekker seg.

Daglige målinger av iskonsentrasjon og etterfølgende beregninger av isutbredelse gir grunnlag for avgrensning av iskantsonen, uttrykt som isfrekvens. Isfrekvens angir hvor ofte isdekket er >15 % i en gitt periode innenfor et gitt område. I denne sammenhengen er den gitte perioden årets enkelte måneder. Maksimum og minimum isutbredelse er følgelig aggregert maksimum eller minimum utbredelse av is (15 % eller mer) innenfor en gitt måned. Frem til 2015 har gjennomsnittlig grense for isutbredelse i april vært benyttet som en fast maksimumsgrense fordi april historisk så langt har vært den måneden hvor isutbredelsen har vært størst. Minimum isutbredelse inntreffer normalt i september. Det er imidlertid ikke gitt at måneder for hhv. minimum og maksimum isutbredelse vil være de samme i framtiden på grunn av mellomårlig variasjon og klimaendringer. I tillegg er det også regionale forskjeller, noe som kan føre til ulikt forløp for hhv. Barentshavet og Framstredet. Isfrekvens, maksimum og minimum utbredelse presenteres som månedsvise kart for 30-årsperioden (Se figur 1 for 1986-2015) på Norsk Polarinstituttets nettsider (<http://www.npolar.no/no/fakta/iskantsonen.html>) og oppdateres årlig. Data fra en 30-årsperiode er en lang nok tidsserie til at den har statistisk utsagnskraft nok til å kunne si noe om forventet isutbredelse på kort sikt.

Maksimal sørlig utbredelse av iskantsonen styres i stor grad av polarfrontens beliggenhet, mens blant annet lufttemperatur, temperaturen på underliggende vannmasser, mengde av snø på havisen og vind er bestemmende for hvor stor avsmeltningen blir i løpet av sommeren.



Spredt (over) og kompakt (under) drivis i iskantsonen nord for Svalbard. Foto: C.H. von Quillfeldt, NP.



Figur 1. Isfrekvens i europeisk Arktis, månedvis for perioden 1986–2015. Kilde: NP.

I tillegg til sesongmessige variasjoner forekommer mer kortvarige variasjoner, for eksempel forårsaket av vindretning. Iskantsonen kan utvides sørover eller kan pakkes tettere ved at vinden presser isen mot nord. Endringer i romlig fordeling kan skje i løpet av timer eller dager.

Framstredet er dominert av havis som blir eksportert fra Polhavet og driver mot sør, i tillegg til kalvet is fra breer. Havisen i Framstredet er ofte en blanding av is fra den transpolare driften, Beaufort-virvelen og regionalt dannet havis. Derfor består isen av istyper med ulik alder fra ung is til gammel flerårsis. Særlig eldre istyper kan ha skrugarder av betydelig tykkelse. Isen i iskantsonen kan være påvirket av smelteprosesser, men siden isdynamikk er stor i Framstredet kan det være relativt kort tid isen er utsatt for smelting før den driver ut av området, sammenlignet med Barentshavet. Isen i Barentshavets iskantsone er i gjennomsnitt tynnere enn i Framstredet, og årsis er den mest vanlige istypen. Men det kan forekomme flerårsis som driver fra nord inn i området. Isen er generelt av mer regional opprinnelse enn isen i Framstredet og med lavere drifthastigheter kan isen være utsatt for frysing og smelting over lengre tid.



Flerårsis i Framstredet (venstre). Jo mer smeltedammer det er, jo mer innstrålt lys når primærproduktene i og på undersiden av isen. Også mengde snø på overflaten har betydning (høyre). Foto: C.H. von Quillfeldt, NP.

Isens egenskaper (alder, tykkelse, tekstur, porøsitet, mengde saltkanaler o.l.), iskonsentrasjon og mengde snø på havisen har betydning for kvantitet og kvalitet på innstrålt lys som når primærproduktene og andre organismer som lever i tilknytning til havisen eller i de underliggende vannmassene. Det er store sesongvariasjoner i sollysinstråling, og periodene med midnattssol og mørketid øker jo lenger nord man kommer. I tillegg spiller skydekket en rolle.

Snødekket på havisen er også relevant for fysiske og biologiske prosesser. Snøen kan isolere og redusere isveksten om vinteren og våren, den har høy albedo, og den kan danne grunnlag for smeltedammer i sommerhalvåret. Med hensyn til økosystemet har den blant annet betydning for demping av solstråling, og for sel som lager snøhuler. Generelt viser isen i Framstredet større snøtykkelse enn isen i Barentshavet (Forsström et al. 2011). Det kan være flere faktorer som bidrar til dette bildet, både regionale forskjeller i nedbør, og fordeling av istyper med mer flerårsis i Framstredet som kan samle mer snø om høsten enn årsis som dannes først i løpet av vinter og vår.

3.2.2 Oseanografiske og kjemiske forhold

Øvre del av vannsøylen er, i likhet med iskarakteristikken, svært variabel i tid og rom (Sundfjord et al. 2007; Randelhoff et al. 2017). I det nordlige Barentshavet og over kontinentalsokkelskråningen mot nord er det relativt varmt og salt vann av atlantisk opprinnelse i midlere dyp. Over dette ligger kaldere og ferskere arktisk vann. Om høsten og vinteren kjøles det arktiske vannet ned og det blir derfor tyngre. Når det er kaldt nok til at isfrysing inntreffer skiller det i tillegg ut salt som bidrar til vertikal omrøring og redusert stabilitet.

Når havisen begynner å smelte om våren/sommeren dannes det etter hvert et overflatelag som er ferskere enn det arktiske vannet. Tetthet og tykkelse (fra 5-30 meter) på smeltevannslaget varierer gjennom smeltesesongen. Tykkelsen av smeltevannslaget og graden av stabilitet mellom dette og vannet under avhenger blant annet av istykkelse og -konsentrasjon, smeltehastighet og hvor mye vinddrevet blanding som forekommer underveis i smeltesesongen (Randelhoff et al. 2017). I tillegg spiller varierende horisontal strøm og blanding i vannsøylen en rolle. Den relative betydningen av ulike faktorer varierer mellom ulike områder. For eksempel er det forskjeller i karakteristik og utviklingshastighet i smeltevannslaget mellom den ytre (østlige) delen av Øst-Grønlandsstrømmen, der tilgangen til smeltevarme fra havet er betydelig, og drivisen over kontinentalsokkelen som i hovedsak smeltes gjennom soloppvarming.

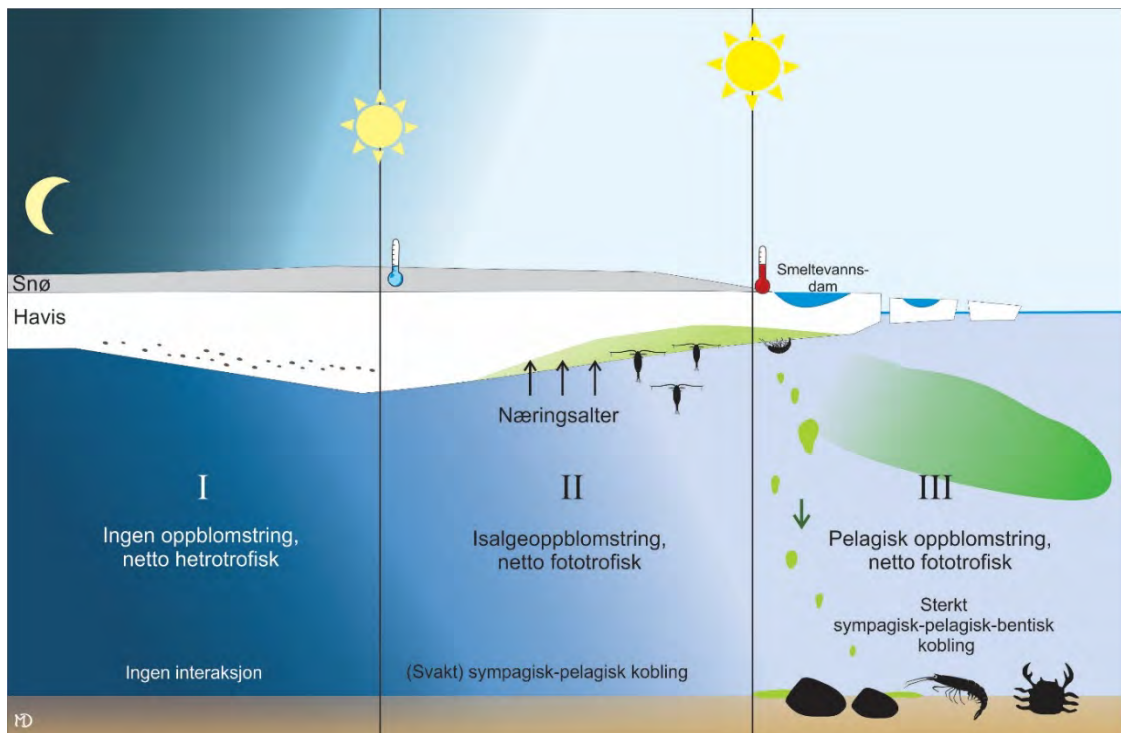
Næringssaltkonsentrasjonen varierer i isen og underliggende vannmasser, avhengig av forbruk fra primærprodusentene, tilførsel via omrøring eller havstrømmer og regenerering (gjenbruk). Vind som blåser langs kanten med en vinkel på mellom 0 og 135°, fører for eksempel til en overflatestrøm bort fra iskanten når isen ligger på venstre side i forhold til vindretningen. Dette kan føre næringsrikt dypvann til overflaten dersom sjikningen (lagdelingen) ikke er for stor. Jo mer stabilt det smeltepåvirkede laget er, jo mer av næringstilførselen skjer via regenerering, en prosess som ikke er like rask som tilførsel av nye næringssalter. Det relative forholdet mellom ulike næringssalter reguleres også av primærprodusentens artssammensetning som utnytter de forskjellige næringssaltene i varierende grad, for eksempel trenger noen silikat, andre ikke.

3.3 Biologiske forhold i iskantsonen

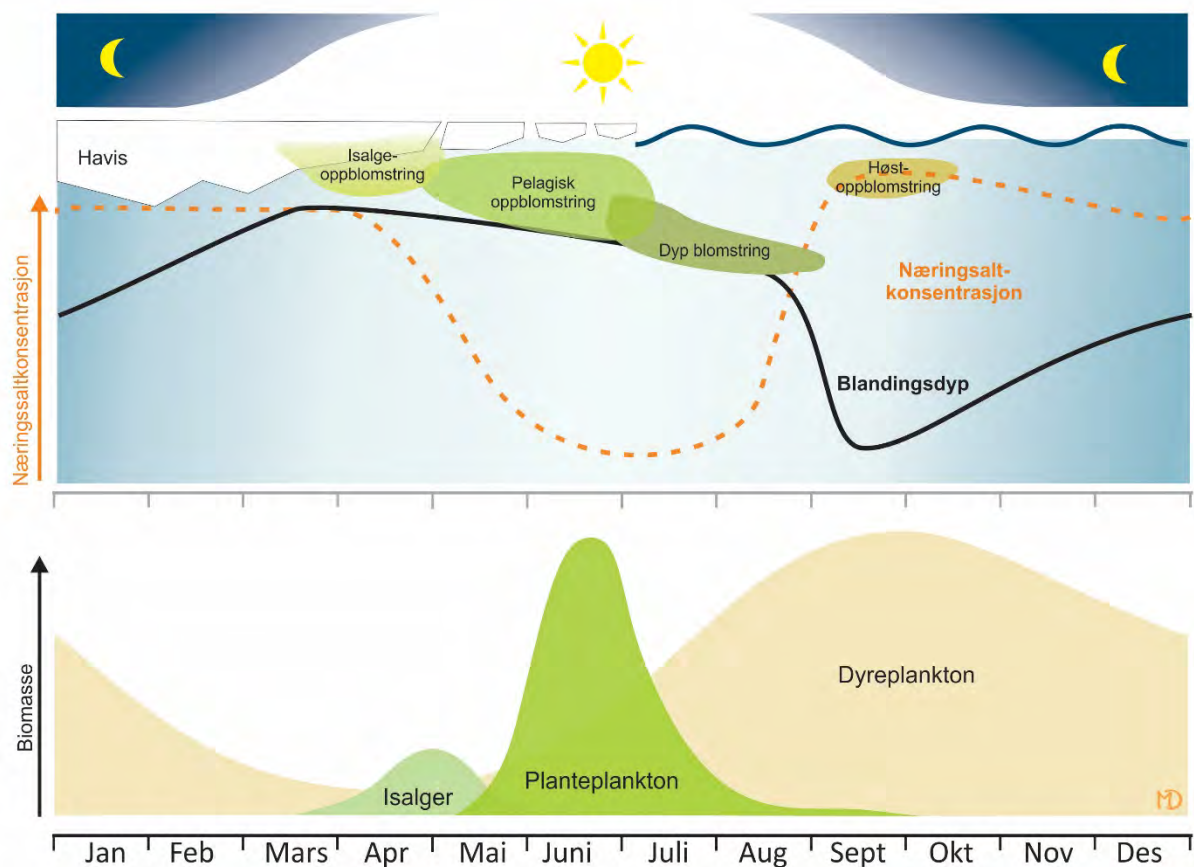
3.3.1 Artsgrupper og biologiske prosesser

Primærprodusenter

Etter hvert som isen smelter og det stabile overflatelaget utvikler seg, samtidig som vinterkonsentrasjoner av næringssalter avdekkes og vannmassene eksponeres for lys, igangsettes en oppblomstring av planteplankton (Figur 2). Tilgjengelig lys og næringssaltkonsentrasjon påvirkes av tykkelsen og graden av stabilitet mellom det smeltevannspåvirkede overflatelaget og vannet under og er derfor også avgjørende for omfanget av oppblomstringen. Etter hvert som planteplanktonblomstringen utvikler seg og forbruker næringssalter i de øverste vannmassene vil blomstringen i hovedsak forekomme nær overgangen mellom det stabile overflatelaget og vannmassene under (Figur 3). I tillegg har isens tykkelse, antall smeltesdammer på isoverflaten og mengde råker betydning for størrelsen på planteplanktonoppblomstringen i isfylte farvann (Arrigo et al. 2012; Assmy et al. 2017).

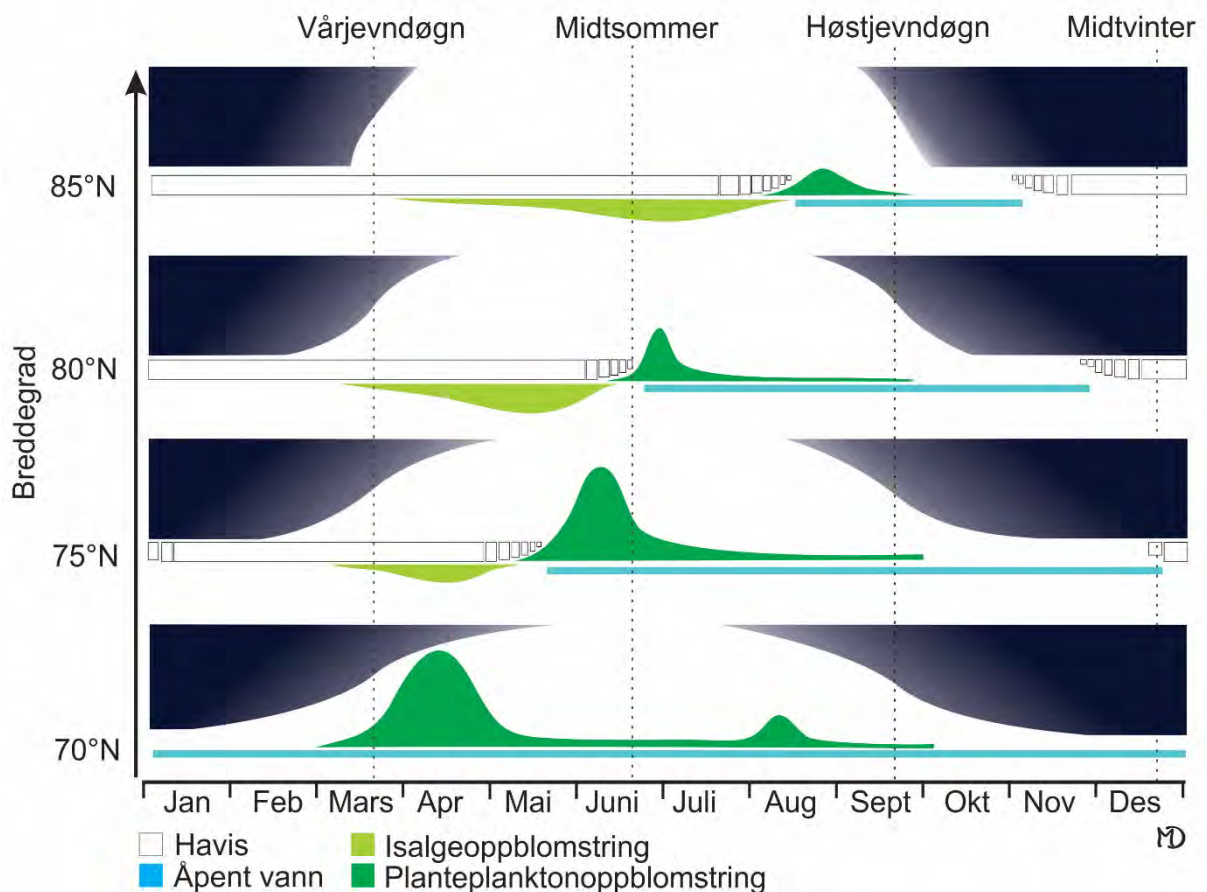


Figur 2. I overgangen fra vinter til vår er det tre hovedfaser i utviklingen av oppblomstringer knyttet til iskantsonen. Overgangen fra fase I til II styres av lys, mens temperatur har større betydning for overgangen mellom fase II og III. Modifisert fra Leu et al. (2015). III.: M. Daase.



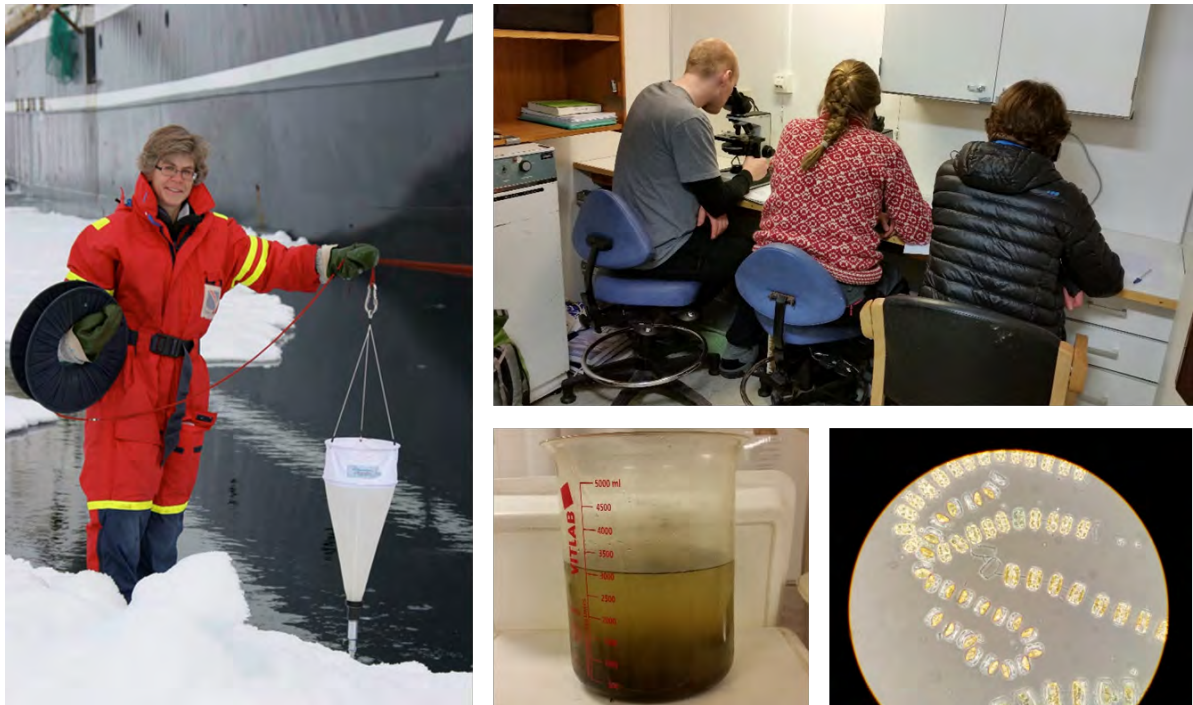
Figur 3. Stabilt næringsrikt overflatelag og tilstrekkelig lys fremmer en planteplanktonoppblomstring i iskantsonen. III.: M. Daase.

Planteplanktonoppblomstringen i iskantsonen vil følge isen ettersom den trekker seg nordover, men blir mindre tydelig med økende breddegrad (Wassmann et al. 2006; figur 4). Modellresultater tyder på at størstedelen av planteplanktonproduksjonen skjer i iskantsonen og reduseres betydelig når iskonsentrasjonen er mer enn 80 %, i første omgang på grunn av lysbegrensning (se kapittel 4.3.1.1). Generelt spiller lysbegrensning en større rolle nord i iskantsonen mens næringsbegrensning har størst betydning i sør, men den relative betydningen av næring som begrensende faktor øker uansett utover i sesongen. Ettersom isen smelter og blir tynnere kan blomstringen også pågå nord for iskantsonen. Det er imidlertid stor romlig variasjon i mengde planteplanktonproduksjon, i tillegg til variasjon mellom år. Det har også vært antydning at den totale primærproduksjonen i Barentshavet er opp mot 30 % høyere i år med lite is sammenlignet med år med mye is (Sakshaug et al. 2009). På grunn av den store mellomårslige variasjonen i forekomst av havis vil også produksjonsforholdene i den delen av Barentshavet hvor iskantsonen kan befinne seg variere mer sammenlignet med den sørlige delen av Barentshavet som aldri har is (Reigstad et al. 2011).



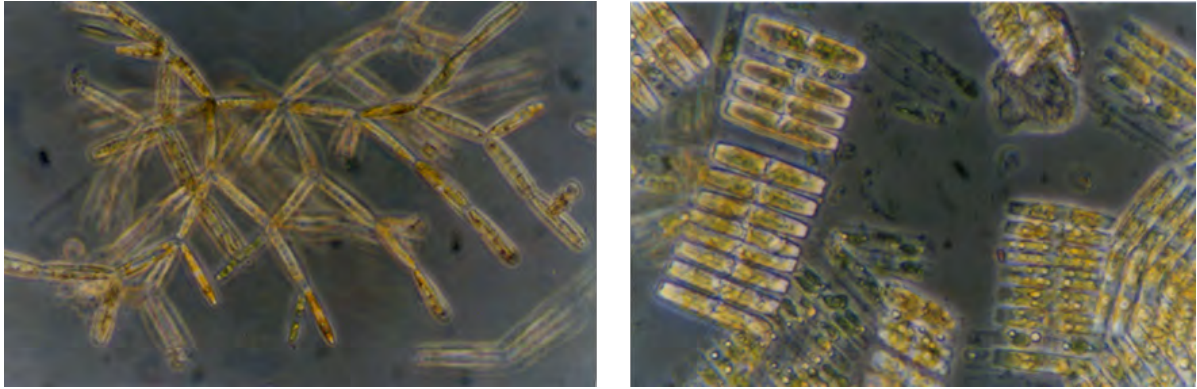
Figur 4. Omfang og tidspunkt for oppblomstring endrer seg gjennom året og med breddegrad. Modifisert fra Leu et al. (2011) (Basert på Zenkevitch (1963) og Falk-Petersen et al. (2007). Ill.: M. Daase.

Starttidspunkt for oppblomstringen i iskantsonen avhenger av isens maksimale sørlige utbredelse om vinteren (enten den ligger sør for polarfronten eller ikke), men starter vanligvis i midten av april i sør og så sent som september i de nordligste delene (Sakshaug et al. 2009). Dette er 6-8 uker tidligere enn i isfrie områder lenger sør hvor det stabile overflatelaget er resultat av oppvarming, og ikke issmelting.

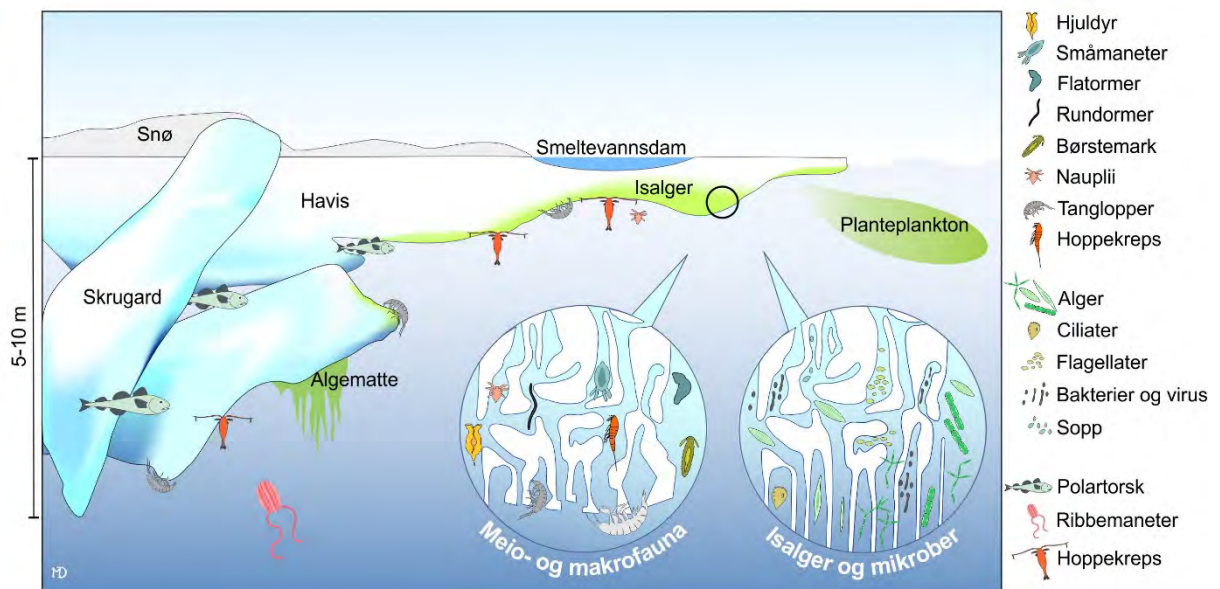


Innsamling og analysing av planteplankton i iskantsonen nord for Svalbard. Foto: T. Gabrielsen (venstre) og C. H. von Quillfeldt (resten).

I tillegg til kvantitet så har kvalitet betydning for planteplanktonets og isalgenes verdi som føde. I Arktis er det identifisert i overkant 2000 ulike arter fordelt på flere ulike artsgrupper (Poulin et al. 2011; figur 5), hvorav en stor andel forekommer i iskantsonen, også i Barentshavet og nordlige del av Norskehavet. Ulike arter dominerer i løpet av en blomstring, både i isen og vannmassene (von Quillfeldt 2000). Kiselalger er en spesielt viktig gruppe i planteplanktonoppblomstringen (for eksempel slektene *Fragilariopsis*, *Thalassiosira* og *Chaetoceros*), men kan være vanlig også ellers i året, men da gjerne andre arter. Vannmasser påvirket av atlantehavsvann kan ha store mengder *Phaeocystis pouchetii* som tilhører en helt annen gruppe (Metfies et al. 2016), og noen år dominerer denne planteplanktonoppblomstringen (Degerlund & Eilertsen 2010). Arten nedbrytes i de øvre vannmassene og bidrar mindre til eksport av karbon enn kiselalgene og er heller ikke foretrukket som føde for den dominante hoppekrepsen (Ray et al. 2016). Kiselalgen *Nitzschia frigida* er den viktigste arten i årsis, mens *Melosira arctica* øker i mengde i flerårsis (Syvertsen 1991). Issamfunn utvikler seg over tid både med hensyn til struktur og funksjon, det vil si økt biodiversitet og kompleksitet når det gjelder interaksjoner mellom arter, biomasse og resirkuleringskapasitet. Årsis har derfor ofte enklere samfunn enn flerårsis og består av arter som koloniserer isen hvert år.

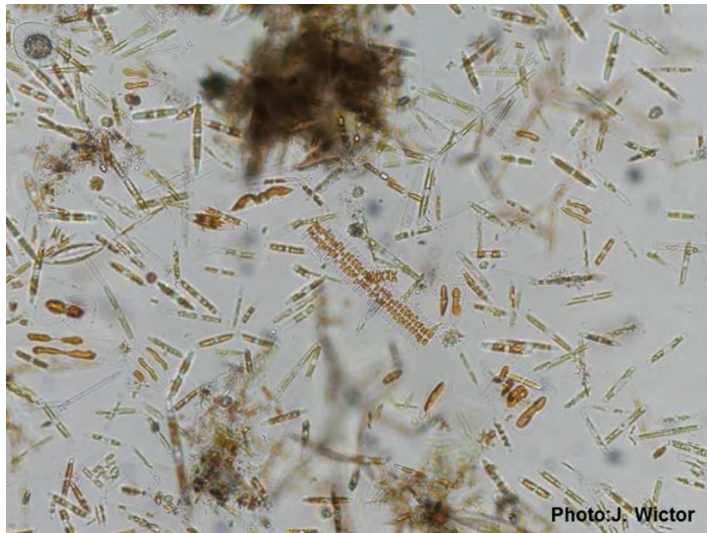


Nitzschia frigida (venstre) er den vanligste arten i velutviklede isalgesamfunn i årsis, men også andre arter som *N. promare* (høyre) kan forekomme. Foto: Else Hegseth, UiT.



Figur 5. I og under isen er det ulike mikrohabitater med arter fra en rekke forskjellige artsgrupper. Modifisert fra Bluhm et al. (2017). Ill.: M. Daase.

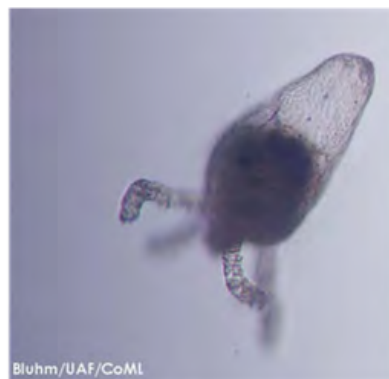
Områder som er mindre påvirket av atlantehavsvann, for eksempel øst i Barentshavet, har mer av det utpregete og løstsittende underisssamfunnet enn områder hvor det varme atlantehavsvannet forårsaker smelting av isen fra undersiden (von Quillfeldt pers. medd.). Dette samfunnet utgjør mest biomasse sammenlignet med andre typer isalgesamfunn. Isalger bidrar også relativt sett mer til den totale primærproduksjonen jo lenger nord man kommer og i områder med flerårsis sammenlignet med områder med yngre is hvor en større andel av primærproduksjonen også foregår i vannmassene. Dette har særlig sammenheng med at det er for dårlige lysforhold i vannet for primærprodusenter i områder med tett flerårsis, mens isalger er spesielt tilpasset lite lys. Årsis kan imidlertid ha betydelige mengder med isalger, dog gjerne andre arter enn i flerårsis. Allikevel er det også i årsis regionale forskjeller, blant annet økende andel arter som kan være viktige i planteplanktonoppblomstringen jo nærmere iskanten man kommer (Syvertsen 1991). Så lenge det er is og tilstrekkelig lys trenger gjennom isen starter isalgeblomstringen tidligere enn planteplanktonblomstringen, og dermed forlenges den produktive sesongen i området.



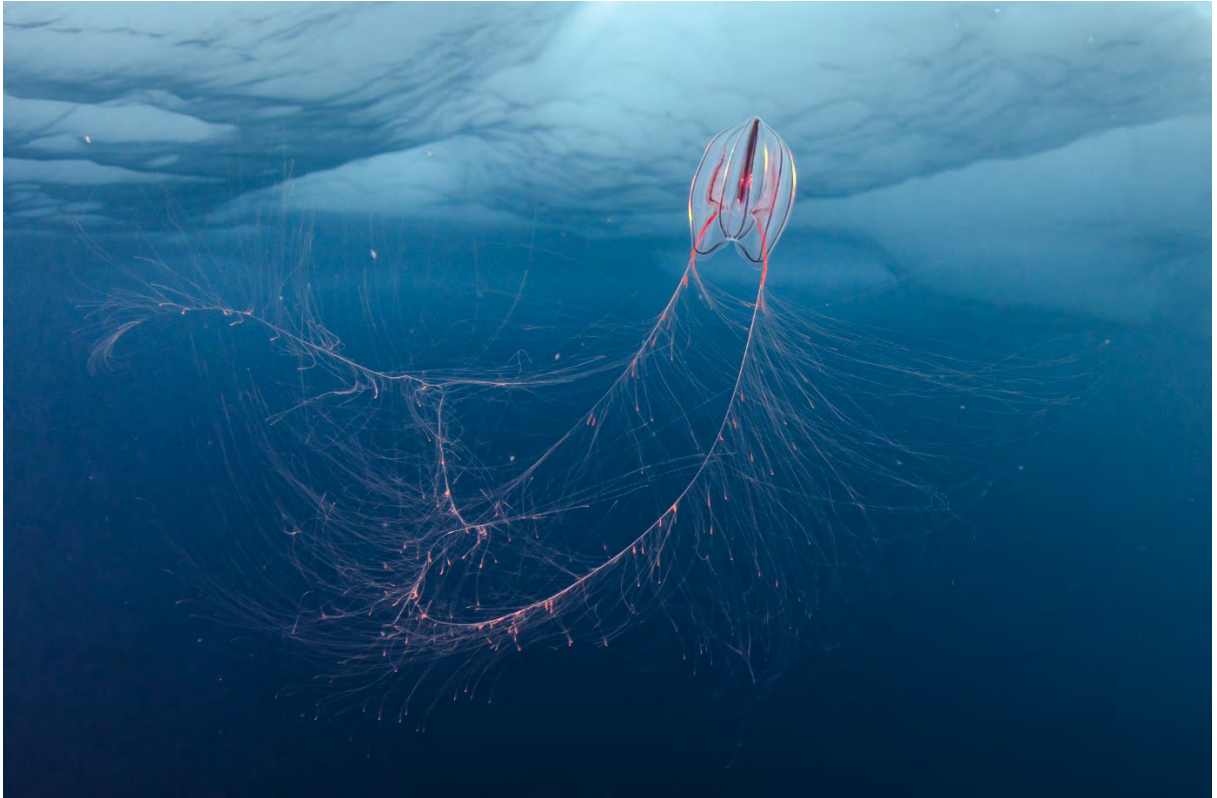
Typisk isalgamfunn i den nederste delen av årsis. Foto: J. Wictor, IOPAN.

Dyreplankton og isfauna

Totalt 16 arter av amfipoder, hoppekreps og flerbørstemark er rapportert fra is og nærliggende vannmasser i Barentshavet og Framstredet (Arndt et al. 2009; figur 5). Sekundærproduktene i de frie vannmasser (pelagialen) i iskantsonen inkluderer primært meroplankton (larver av bunndyr som bare lever pelagisk en kort periode i starten av livet), amfipoder (særlig *Themisto libellula* og *T. abyssorum*), krill (særlig *Thysanoessa inermis* og *T. longicaudata*), ulike arter og livsstadier av hoppekreps (for eksempel *Calanus glacialis*, *C. hyperboreus*, *C. finmarchicus*, *Metridia longa*, *Oithona* spp., *Microcalanus* spp. og *Pseudocalanus* spp.) og sekkedyr (Dalpadado et al. 2008a,b; Pasternak et al. 2008). *T. libellula* finnes (og reproducerer) i mesteparten av iskantsonen, mens *T. abyssorum*, krillartene og *C. finmarchicus* blir fraktet inn i iskantsonen med atlantehavsvann (Edvardsen 2003; Dalpadado et al. 2008a; Orlova et al. 2015). Selv om antallet av amfipoder og krill er lavere enn for eksempel *Calanus* spp., så utgjør de betydelig biomasse grunnet større kroppsstørrelse.



Bentisk larve av *Scololepis squamata* (venstre), *Sympagohydra tuuli*, en hydroide (midten) og nematode (høyre) er alle eksempler på istilknyttet fauna. Foto: R. Gradinger og B. Bluhm, UiT.



Ribbemaneten *Mertensia ovum* på undersiden av isen. Den ernærer seg på hoppekreps og små krepser som den fanger med de to lange tentaklene. Foto: P. Leopold, UiT.

I tillegg forekommer flere arter av amfipoder med tilknytning til havis gjennom hele livssyklusen. Vanlige arter er *Gammarus wilkitzkii*, *Apherusa glacialis*, *Onisimus nansenii* og *O. glacialis*, de to første er vesentlig større enn *Onisimus* artene, men de sistnevnte kan ofte være mer tallrik. En annen amfipode, *Pleusymtes karsteni*, som opprinnelig er beskrevet fra pelagiske vannmasser, kan også synes å være istilknyttet basert på funn i flerårsis nord for Svalbard (Macnaughton et al. 2007). Alderen til amfipodene varierer fra 5-6 år (*G. wilkitzkii*) til 2 år (*A. glacialis*). Selv om amfipodene deler samme habitat, okkuperer de ulike trofiske nisjer og har ulik diett. *A. glacialis* okkuperer isen først av amfipodene og forekommer primært langs kanten av isflak.



Eksempler på amfipoder som er knyttet til isen i hele livssyklusen: *Gammarus wilkitzkii* (venstre, øverst), *Onisimus glacialis* (venstre, nederst), *Onisimus nanseni* (høyre, øverst) og *Apherusa glacialis* (høyre, nederst). Foto: H. Hop, NP.

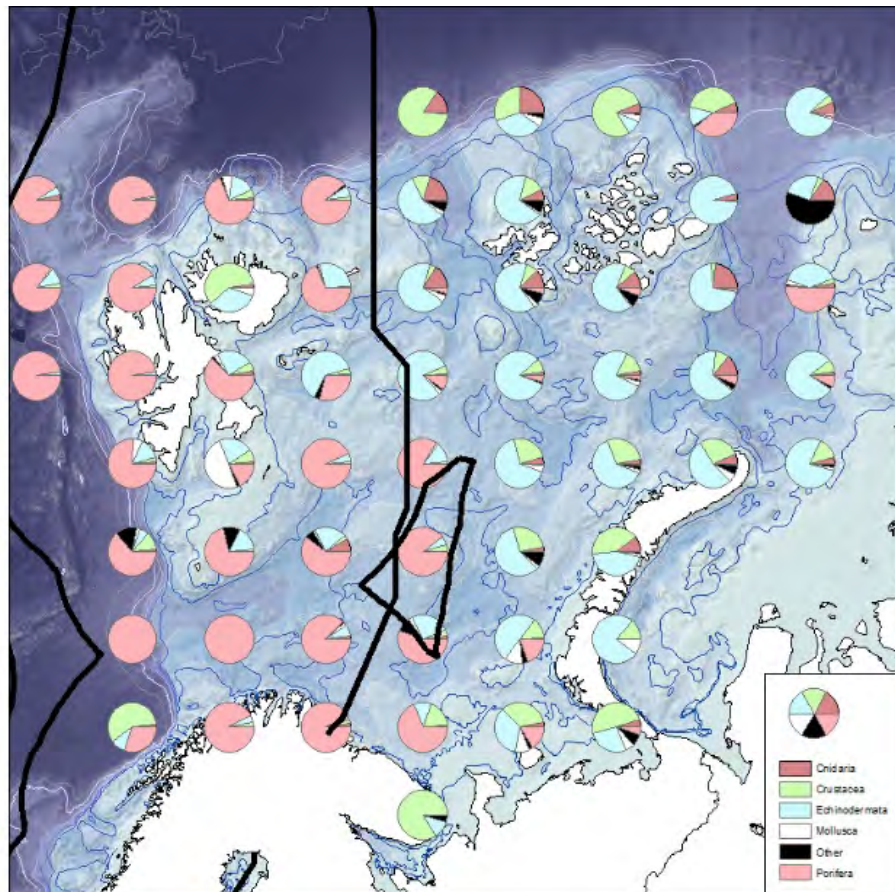
Bunndyr

Bunndyrene i Barentshavet viser et tydelig biogeografisk mønster, der artene har tydelige preferanser når det kommer til dybde, temperatur, salinitet, sedimentets beskaffenhet, strømforhold og graden av isdekke, dvs. antall dager per år som et gitt område er dekket av havis (Cochrane et al. 2009, 2012; Carroll & Ambrose 2012; Jørgensen et al. 2015a). Der det er en forholdsvis sterk kobling mellom de fysiske og biologiske prosessene i de frie vannmasser og på bunnen er det dominans av arter som er aktive oppe på havbunnen, mens det i dypere områder med mindre strøm og tykkere sediment er flere gravende arter (Cochrane et al. 2012). Iskantsonen og de nordlige delene av Barentshavet er generelt kjennetegnet med et høyt antall arter. Basert på store bunndyr (megabenthos) kan iskantsonen i Barentshavet grovt sett deles inn i to store biogeografiske regioner: nordvest og nordøst (Jørgensen et al. 2015a). Den nordvestre delen av iskantsonen, som kjennetegnes av relativt grunt vann, lave temperaturer, lav saltholdighet og relativt høy grad av isdekke (området er stort sett dekket av is om vinteren), har høyest artsdiversitet av store bunndyr. Den nordøstre delen av iskantsonen, som kjennetegnes av relativt dypt vann, lave temperaturer, høy saltholdighet og høy grad av isdekke har høyest antall av store bunndyr. Det er også registrert biomasse «hotspots», særlig på dypere vann vest for Svalbard samt oppå og langs sidene på Spitsbergenbanken og Sentralbanken i det sentrale Barentshavet. Hependypet har relativt mindre

biomasse, men derimot et høyt antall små individer. Høyt antall arter, stor biomasse, og mange individer samtidig som følge av spesielt komplekse biologiske habitater, finner man på bankene og på sidene på bankene i Barentshavet, samt skråningen vest for Svalbard (Jørgensen et al. 2015a). Megabenthos i Barentshavet er dominert i biomasse av svamper (Porifera) i vest, pigghuder (Echinodermata) i nordøst, krepsdyr (Crustacea) i nord og i øst, og nesledyr (Cnidaria) i nordøst (Figur 6). Skillet mellom det svamp-dominerte og pigghud-dominerte områdene følger delvis den bentiske polarfronten (arktisk bunnvann < 0 °C møter atlantisk bunnvann T > 3 °C).



Molpadia borealis (sjøppølsen) og *Saduria sabini* (isopoden) fra Hopen dypet (venstre, øverst). Andre arter som kan forekomme i isfylte farvann er *Gorgonocephalus* sp. (høyre, øverst), *Heliometra glacialis* (venstre, nederst) og ulike arter av sjøanemoner (høyre, nederst) Foto: Lis L. Jørgensen, HI (venstre, øverst) og B. Gulliksen, UiT (resten).



Figur 6. Fordeling av store dyregrupper i Barentshavet. Cnidaria (rødt): nesledyr som korall og maneter. Crustacea (grønt): krepser som reker og krabber. Echinodermata (blått): piggdyr som sjøstjerner, slangestjerner, kråkeboller, sjøpølser og sjøliljer. Mollusca (hvitt): bløtdyr som skjell og snegler. Delelinjen mellom Russland og Norge (i Barentshavet) og delelinjen mellom norsk og internasjonalt territorium (i Norskehavet) er markert med svart.

På grunn av den høye arts- og funksjonskompleksiteten i bunndyrssamfunnet, samt forskjellene mellom grunne banker, havbunnens dybdegradienter, og de dype bløtbunnslettene i Barentshavet, er det umulig å gi et helhetlig svar på verdien av iskantsonen. De grunne bankene kan ha en sterkere tilknytning til havisen på grunn av den kortere avstanden til havoverflaten, sammenlignet med de dype områdene (Tabell 1). De grunne megabenthossamfunnene har tilpasset seg et levesett som effektivt kan fange eller filtrere en mulig direkte og indirekte økt produksjon av føde fra havisen, mens dypere samfunn har en høyere andel av detritorer (dvs. dyr som plukker opp døde eller levende matpartikler fra havbunnen) og predatorer.

Tabell 1. Verdisetting av iskantsonen på bunndyrs-føde kategorier (basert på subjektiv vurdering).

	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
Dype områder		Furasjering	Dannelse av kaldt bunnvann
Grunne områder	Dannelse av kaldt bunnvann		Furasjering

Fisk

Antall fiskearter i Barentshavet ligger mellom 150-180 (Karamushko 2008; Christiansen & Reist 2013). Det finnes imidlertid ikke noe godt estimat for hvor mange fiskearter som lever i den delen av Barentshavet som overlapper med iskantsonen, både fordi dette tallet varierer igjennom året og fra ett år til et annet, men også fordi store klimastyrte endringer i fiskeartenes romlige utbredelse finner sted i disse dager (Fossheim et al. 2015). For de kommersielt viktige fiskeartene i Barentshavet er iskantsonen først og fremst et beiteområde, og i noen grad også et oppvekstområde (Tabell 2). Torsk kan for eksempel beite langt inn i iskantsonen om sommeren og høsten, mens lodde, hyse og snabeluer forekommer et stykke inn i iskantsonen. Særlig unglodde og deler av torskebestanden vil dessuten ha tilhold i iskantsonen om vinteren, men også hyse og snabeluer kan forekomme i iskantsonen om vinteren. I tillegg finnes det en god del ikke-kommersielle arter (for eksempel ringbuker, enkelte ålebrosmer og ulker) som har hele livssyklusen i dette området (Kapittel 4.3.1.3). Mange arter har stor sesongmessig variasjon i den geografiske fordelingen gjennom året. De siste 10-15 årene har imidlertid fordelingen av mange arter strukket seg betydelig lenger nordover og østover enn på slutten av 1900-tallet. Selv om det kan være store sesongvariasjoner, så har de arktiske fiskeartene, med unntak av polartorsk, liten grad av sesongvandring (Ponomarenko 1968; Christiansen & Reist 2013). Med unntak av to pelagiske arter (polartorsk og istsorsk), er de fleste fiskeartene i iskantsonen i Barentshavet sterkt tilknyttet havbunnen (Christiansen 2012). I tillegg er polartorsk og blåsteinbit oppført som nær truet (NT) i norske farvann. Rødlisten er imidlertid ikke oppdatert etter den betydelige bestandsøkningen for polartorsk fra 2015 til 2016.



Polartorsk i drifisen nord for Svalbard. Foto: P. Leopold, NP.

Tabell 2. Verdisetting delt inn i gyte-, beite- og overvintringsområder (Kriterium 1: Livshistorisk viktig område). De fleste bestander gyter sent på vinteren eller på våren, og beiting skjer sommer og høst. Det er derfor ikke gjort en tilleggsgradering av verdi på årstid. Kriterium 2: Rødlistestatus: Lav verdi: NT (Nær truet); Middels verdi: VU (Sårbar) og EN (Sterkt truet); Høy verdi: CR (Kritisk truet); ikke på rødlisten:-.

Art	Verdi	Begrunnelse	Rødlistestatus/verdi
Polartorsk	Høy	Gyte-, beite- og overvintringsområde	NT/Lav
Andre ikke-kommersielle arter	Høy	Gyte-, beite- og overvintringsområde	-
Lodde	Middels	Beite- og overvintringsområde	-
Torsk	Middels	Beiteområde	-
Blåkveite	Middels	Beite- og overvintringsområde	-
Gapeflyndre	Middels	Beite- og overvintringsområde	-
Hyse	Lav	Beiteområde	-
Snabeluer	Lav	Beiteområde	-



Atlantisk torsk, polartorsk, lodde, sild, gapeflyndre og ulke. Foto: G.W. Gabrielsen, NP.



Eksempler på ikke-kommersielle arter som kan forekomme i iskantsonen, til venstre *Gymnelus retrodorsalis* (Spitsbergenålebrosme) og til høyre *Eumicrotremus spinosus* (vortekjeks). Foto: B. Gulliksen, UIT.

Sjøfugl

Særlig polarlomvi og alkekonge kan forekomme i store konsentrasjoner i iskantsonen og inne i råker om våren, men også teist og ismåke er vanlig (Lønne & Gabrielsen 1992; Hunt et al. 1996; Gilg et al. 2010; Fort et al. 2013). I tillegg observeres havhest, polarmåke og krykkje i iskantsonen gjennom hele året, men den relative betydningen av iskantsonen som furasjeringsområde er dårlig kjent for disse artene (se kapittel 4.3.1.4). Ismåken er den eneste arten som er direkte avhengig av iskantsonen gjennom hele sitt livsløp, men kan trekke over store områder om våren og høsten, selv om de normalt ikke forlater iskantsonen under trekkperiodene (Figur 7).



Alkekonge (venstre, øverst) og polarlomvi (venstre, nederst) kan forekomme i store konsentrasjoner i iskantsonen og inne i råker om våren. Også krykkje (høyre) kan observeres i iskantsonen Foto: G.W. Gabrielsen (venstre, øverst), B. Frantzen (venstre, nederst) og A.K. Balto (høyre), NP.



Figur 7. Skjematisk fremstilling av forflyttingene hos ismåke. Fra: Strøm et al. (2015).

Felles for alle sjøfuglartene, med unntak av ismåke (Figur 9), er at vi har en manglende forståelse av den relative betydningen av iskantsonen som habitat, i forhold til andre habitat sjøfuglene utnytter gjennom året. Foreløpige resultater, blant annet fremkommet ved bruk av lysloggere, har imidlertid vist at et fellestrekk er at særlig de nordlige bestandene på Spitsbergen, Franz Josef Land, og til dels Jan Mayen, forekommer i iskantsonen i større grad eller lengre perioder av året, enn de sørlige populasjonene (se for øvrig kapittel 4.3.1.4). Det er først gjennom de siste års raske utvikling av ulike typer sporingsteknikker (lysloggere, små satellittsendere) at det har blitt mulig å få kunnskap om de ulike artenes bruk av iskantsonen. Bruken av disse teknikkene er likevel kun i startfasen og få studier er ennå publisert. Det forventes at bare innen noe få år vil kunnskapstilfanget være vesentlig bedre. Verdisettingen i dette dokumentet er derfor basert på en subjektiv vurdering basert på tilgjengelig kunnskap per i dag (Tabell 3). Området som er vurdert begrenser seg til den norske delen av Barentshavet, samt iskantsonen i Grønlandshavet.

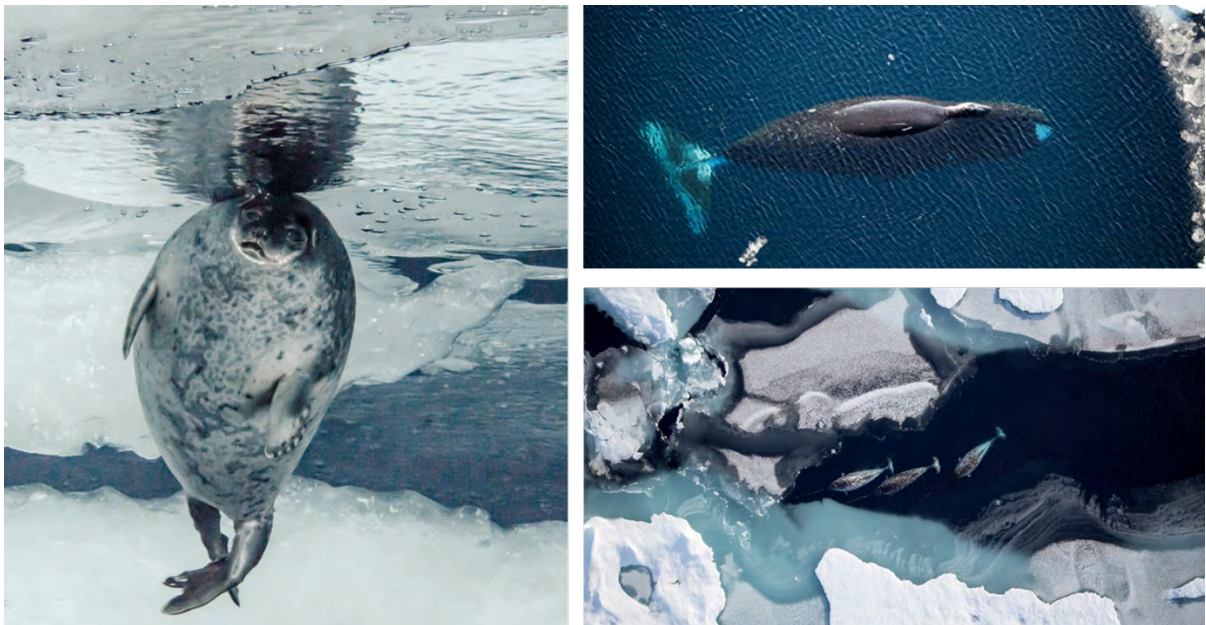
Tabell 3. Verdisetting av iskantsonen som livshistorisk viktig område, samt rødlistestatus. Kriterium 1: Livshistorisk viktig perioder/områder: Vår (trekkperiode, gradvis forflytning fra vinterområde tilbake til hekkekoloniene, forberedelse til hekkesesong); Sommer (hekking, for polarlomvi også inkludert svømmetrekk fra koloni til myteområde); Høst (myting, trekkperiode; gradvis forflytning mot vinterområdet); Vinter (opphold i overvintringsområdene). Kriterium 2: Rødlistestatus: Lav verdi: NT (Nær truet); Middels verdi: VU (Sårbar) og EN (Sterkt truet); Høy verdi: CR (Kritisk truet); Ikke på rødlisten: -.

Art	Verdi	Begrunnelse	Rødlistestatus/verdi
Ismåke	Høy (vår)	Furasjering	VU/Middels
	Høy (sommer)	Hekking	
	Høy (høst)	Myting og oppvekst	
	Høy (vinter)	Overvintring	
Polarlomvi	Middels (vår)	Furasjering	NT/Lav
	Middels (høst)	Furasjering og myting	
	Lav (sommer)	Furasjering	
	Lav (vinter)	Furasjering	
Alkekonge	Middels (vår)	Furasjering	-
	Middels (sommer)	Furasjering	
	Middels (høst)	Furasjering og myting	
	Lav (vinter)	Furasjering	
Krykkje	Middels (høst)	Furasjering og oppvekstområde	NT/Lav
	Lav (vår)	Furasjering	
	Lav (sommer)	Furasjering	
	Lav (vinter)	Furasjering	
Havhest	Lav (vår)	Furasjering	NT/Lav
	Lav (sommer)	Furasjering	
	Lav (høst)	Furasjering	
	Lav (vinter)	Furasjering	
Polarmåke	Lav (vår)	Furasjering	NT/Lav
	Lav (sommer)	Furasjering	
	Lav (høst)	Furasjering	
	Lav (vinter)	Furasjering	

Sel

Flere selarter bruker isen som kaste-, hårfellings- og hvileområde (Tabell 4). Store deler av Svalbards ringseler (den mest is-avhengige selarten) vandrer hver sommer ut fra fjordene til iskantsonen (særlig ungdyr) for å spise seg feite før de vandrer tilbake igjen om høsten (Freitas et al. 2012). I dette området finner vi da også, ikke uventet, store deler av Svalbards isbjørnbestand om sommeren som jakter blant annet på disse ringselene. Grønlandssel forekommer også hyppig i iskantsonen om

sommeren. Det er to separate bestander som begge samles i store grupper i iskantsonen i kasteperioden om våren; en som kaster i «Vesterisen» og en i Kvitsjøen (Russland). Klappmyss kaster i «Vesterisen» og har hårfelling og furasjering i iskantsonen, men drar også på næringsvandring langt vekk fra iskantsonen (Folkow & Blix 1999; Folkow et al. 2010; Isachsen et al. 2014). Utbredelsen av storkobbe er ikke tilstrekkelig kjent, men arten foretrekker grunne områder og kaster og hviler på hav- og breis i slike områder (Kovacs et al. 1996; Lydersen et al. 2014). Utbredelsen av hvalross styres også delvis av isutbredelse og man har derfor ulike forekomster om sommeren og vinteren, i tillegg til at vinterutbredelsen i seg selv i stor grad er styrt av fordelingen av drivis (kan variere fra år til år) (Lydersen & Kovacs 2014). Kasting hos hvalross foregår dypt inne i isen om våren i grunne områder hovedsakelig på østsiden av Svalbard og over mot Franz Josef Land (Freitas et al. 2009; Lowther et al. 2015). Bestanden har hatt en økning på 48 % fra første systematiske telling i 2006 (Lydersen et al. 2008) til andre i 2012 (Kovacs et al. 2014), men er fortsatt lav i forhold til hva den opprinnelig var. Steinkobbe på Svalbard oppholder seg for det meste på vestsiden av Spitsbergen (Blanchet et al. 2015) og foretrekker isfrie områder, men kan benytte seg av drivisen (helt ytterst) som hvileplattform om vinteren (Hamilton et al. 2011; Blanchet et al. 2014).

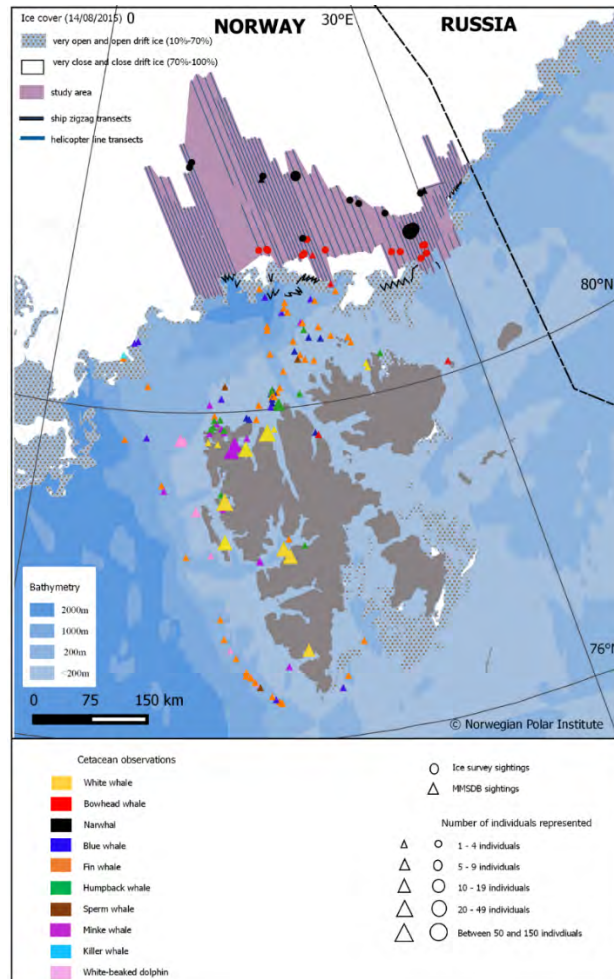


Ringsel under isen (venstre). Grønlandshval (høyre, øverst) og narhval (høyre, nederst) observert i forbindelse med hvaltelling i norsk del av Barentshavet og Polhavet. Foto: P. Leopold (venstre), N. Cobbing (høyre, øverst) og J. Aars (høyre, nederst), NP.

Hval

Grønlandshval, hvithval og narhval er de eneste hvalartene som er tilpasset til å være i områder med is hele året. Grønlandshval er den mest sjeldne av disse, men resultater fra akustiske lyttebøyer i Framstredet tyder på at bestandsstørrelsen er underestimert (Stafford et al. 2012, Ahonen et al. 2017). I en flytelling nord for Svalbard fant man overraskende mengder med grønlandshval og narhval. Grønlandshvalene ble overveiende observert i iskantsonen med 50-80 % isdekke, mens narhvalene ble observert lenger nord i isen hvor isdekket var mer sammenhengende (80-100 %) (Vacquié-Garcia et al. 2017; figur 8). Hvithvalene i Svalbardområdet kan også forekomme i iskantsonen om vinteren og tidlig vår, men vandrer nesten utelukkende langs kysten og i indre

fjordstrøk i nærheten av brefronter, og er mindre avhengig av havisen om sommeren (Lydersen et al. 2001). Sesongbesøkende bardehvaler (blåhval, finnhval, knølhval og vågehval) er også observert langs iskanten hvor de da furasjerer i sommermånedene (Storrie et al.; in prep.). Av tannhvalene er det kun spekkhogger som er observert i iskantsonen, dog ikke vanlig forekommende, i tillegg til de stedegne artene (hvithval og narhval).



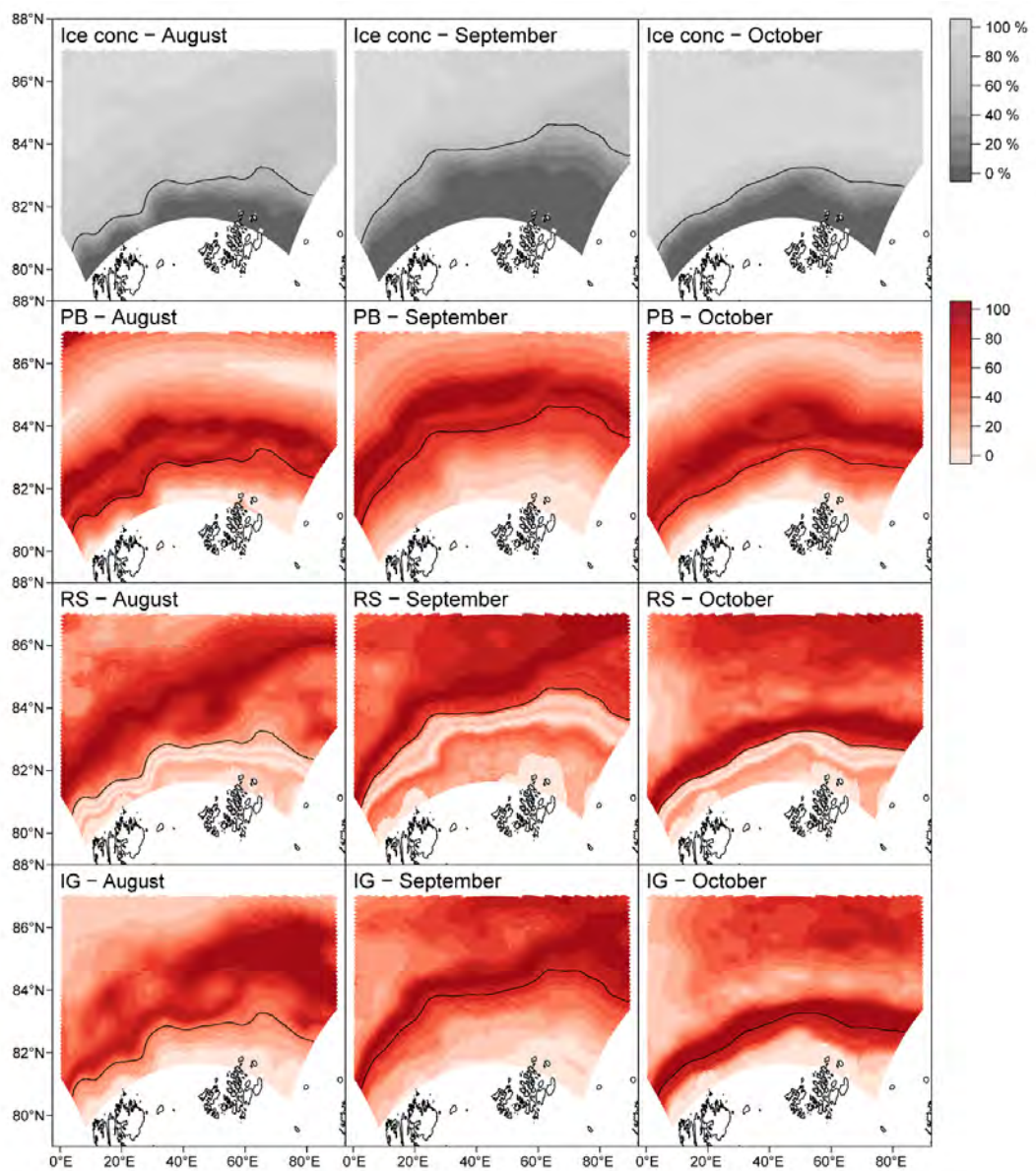
Figur 8. Grønlandshval og narhval observert i iskantsonen under telling i august 2015. Fra: Vacquié-Garcia et al. (2017).

Isbjørn

En stor fraksjon av isbjørnbestanden jakter i iskantsonen hele året. Ved siste isbjørntelling som ble foretatt i august 2015 estimerte man at det var totalt 903 (95 % CI=334 - 1026) isbjørner i Svalbardområdet og av disse var hele 709 (95 % CI=334-1026) i iskantsonen nord for Svalbard (Aars et al. 2017). Det er i tillegg også dokumentert at når isbjørnene oppholder seg i denne iskantsonen så foretrekker de områder med 40-80 % isdekke (Hamilton et al. 2017; Lone et al. 2017; figur 9). Det er en mulig sammenheng mellom isdekket og ungeproduksjon hos isbjørn, siden isens utbredelse har betydning for hvorvidt isbjørnen når sine hiområder om høsten. Dessuten utnytter isbjørnen isen når den forflytter seg over større områder. Man antar at det er en stor sammenhengende populasjon mellom Svalbard og Franz Josef Land, i tillegg til en mindre lokal populasjon i Storfjordområdet. Formelt er imidlertid all isbjørn på Svalbard og Franz Josef Land en del av samme delbestand («subpopulation» - IUCN terminologi); Barentshavsbestanden (Obbard et al. 2010).



Isbjørnen får vanligvis to unger som følger moren i to år. Foto: A.K. Balto (venstre) og J. Aars, NP.



Figur 9. Iskonsentrasjon og habitatbruk for isbjørn, ringseal og ismåke. Fra: Hamilton et al. (2017).

Tabell 4. Verdisetting av iskantsonen som livshistorisk viktig område, samt rødlistestatus. Kriterium 1: Livshistorisk viktig perioder/områder. * For storkobbe og hvalross er forutsetningen at iskantsonen befinner seg over sokkelområder, ikke dyphav. Kriterium 2: Rødlistestatus: Lav verdi: DD (Datamangel) og NT (Nær truet); Middels verdi: VU (Sårbar) og EN (Sterkt truet); Høy verdi: CR (Kritisk truet); Ikke på rødlisten: -.

Art	Verdi	Begrunnelse	Rødliste/Verdi
Isbjørn	Høy (hele året)	Furasjering	VU/Middels
	Høy (hele året)	Generelt leveområde	
	Lav (vinter/vår)	Yngling	
Hvalross*	Høy (vår)	Kasting	VU/Middels
	Middels (hele året)	Furasjering	
	Middels (hele året)	Generelt leveområde	
	Lav (sommer)	Hårfelling	
Ringsel	Høy (hele året)	Furasjering	VU/Middels
	Middels (hele året)	Generelt leveområde	
	Lav (vår)	Kasting	
	Lav (sommer)	Hårfelling	
Grønlandsseel	Høy (vår)	Kasting	-
	Høy (hele året)	Furasjering	
	Høy (sommer)	Hårfelling	
	Høy (hele året)	Generelt leveområde	
KLappmyss	Høy (vår)	Kasting	EN/Middels
	Høy (sommer)	Hårfelling	
	Høy (hele året, unntatt sommer)	Generelt leveområde	
	Middels (hele året, unntatt sommer)	Furasjering	
Storkobbe *	Middels (vår)	Kasting	-
	Middels (sommer)	Hårfelling	
	Middels (hele året)	Furasjering	
	Middels (hele året)	Generelt leveområde	
Steinkobbe	Lav (vinter)	Generelt leveområde	VU/Middels
Grønlandshval	Høy (vår)	Kalving	CR/Høy
	Høy (hele året)	Furasjering	
	Høy (hele året)	Generelt leveområde	
Narhval	Høy (vår)	Kalving	EN/Middels
	Høy (hele året)	Furasjering	
	Høy (hele året)	Generelt leveområde	
Hvithval	Middels (hele året, unntatt sommer)	Furasjering	DD/Lav
	Middels (hele året, unntatt sommer)	Generelt leveområde	
	Lav (vår/sommer)	Kalving	

3.3.2 Økologiske interaksjoner

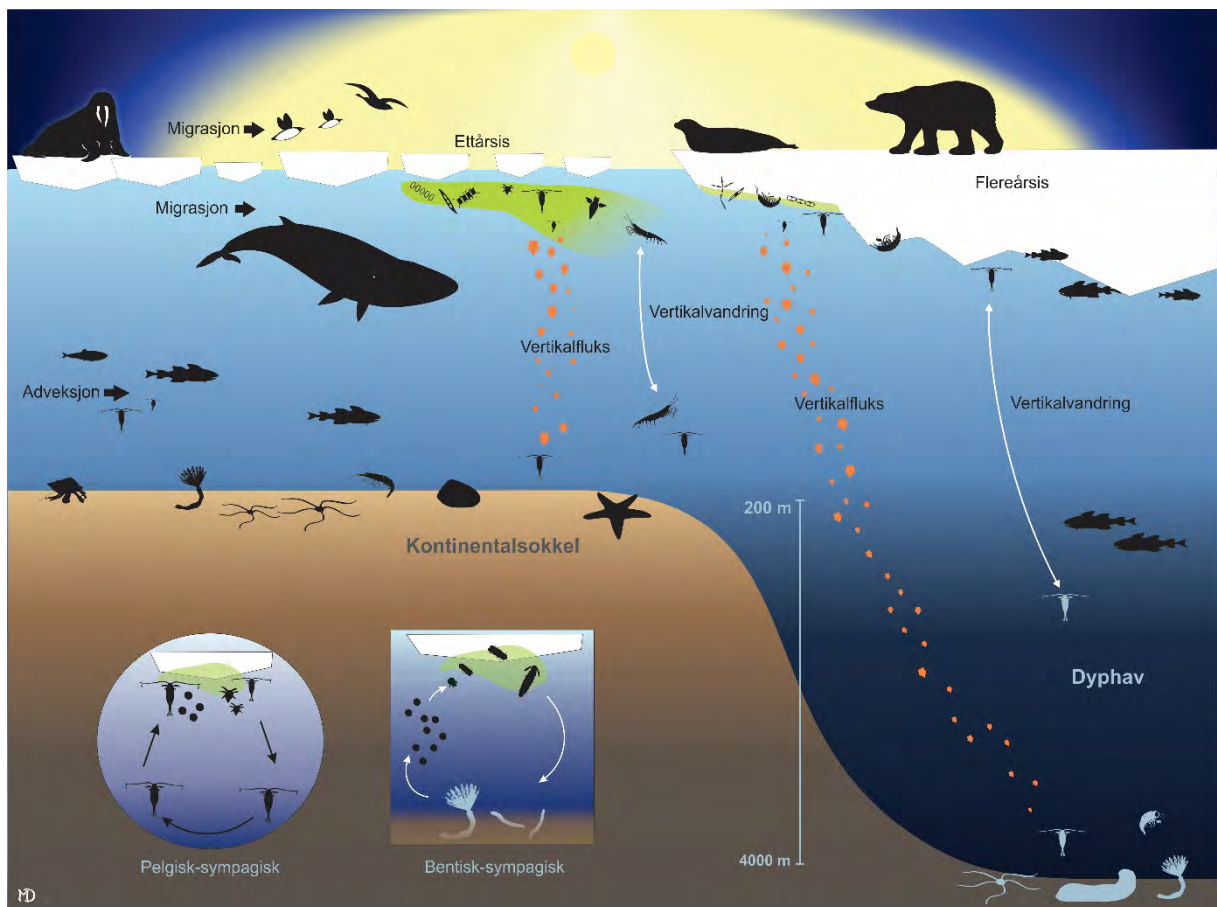
Primærproduksjonen i iskantsonen følges av dyreplankton, fisk, sjøfugl og sjøpattedyr som beiter seg nordover, i tillegg til at en stor del av produksjonen sedimenterer ut av vannsøylen og kommer benthiske organismer til gode. Eventuelle endringer i lokalisering av iskantsonen og primærproduksjonen knyttet til havis vil kunne få følger for øvrige ledd i næringskjeden. Lokalisering av iskanten er derfor med på å bestemme forekomsten av fisk, sjøfugl, isbjørn, samt flere sel- og hvalarter, både når det gjelder antall og utbredelse. Mange av disse artene er toppredatorer.

Isalger utgjør en konsentrert, næringsrik matkilde for både dyr som lever i isen og pelagiske beitere (Søreide et al. 2010; Leu et al. 2011). Isalger er blitt anslått å utgjøre 16-22 % av den totale primærproduksjonen i iskantsonen i Barentshavet (Hegseth 1998), og generelt for iskantsonen i Arktis er det anslått at isalger produserer $0.002-20 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ (Tamelander et al. 2009, og referanser deri). I tillegg kan en del sedimentere til havbunnen og utnyttes av bunndyr (Carroll & Carroll 2003; Ambrose et al. 2005). Den relative betydningen av isalger for dyreplankton i forhold til for bunndyr avhenger blant annet av om isalgene frigjøres gradvis eller mesteparten på en gang. Dersom iskantsonen befinner seg over dype havområder vil dessuten mindre alger nå havbunnen enn på sokkelområder, selv om isalger har vært observert ned til 4400 meter (Boetius et al. 2013). Også vertikal fluks av andre organismer og partikler til havbunnen henger sammen med havdyp, prosesser

i vannmassene, havstrømmer m.m. (Figur 10). I dype havområder vil imidlertid denne produksjonen uansett være utilgjengelig for høyere trofiske nivå.

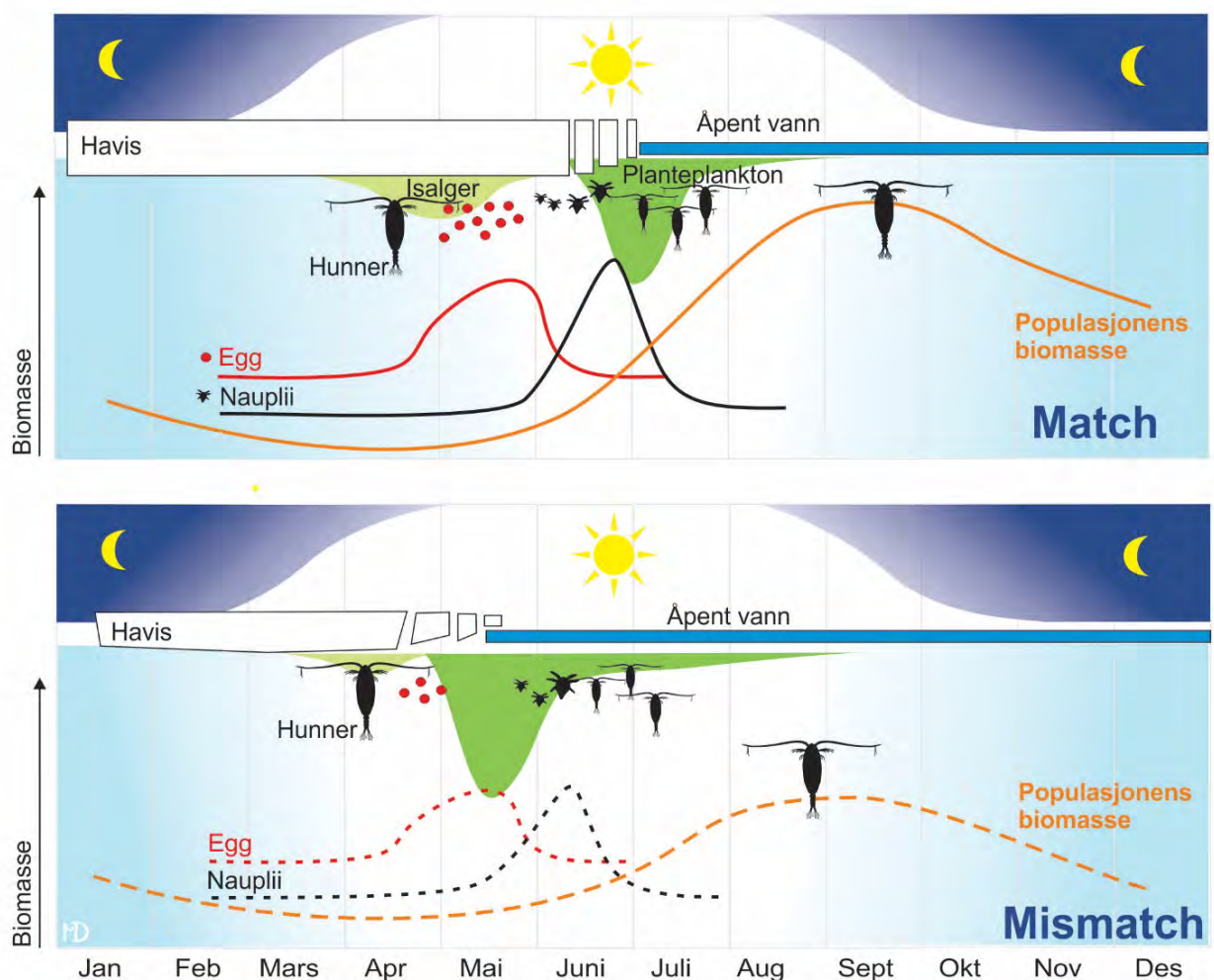


Innsamling av bunndyr fra Hopen dypet. Foto: L.L. Jørgensen, HI.

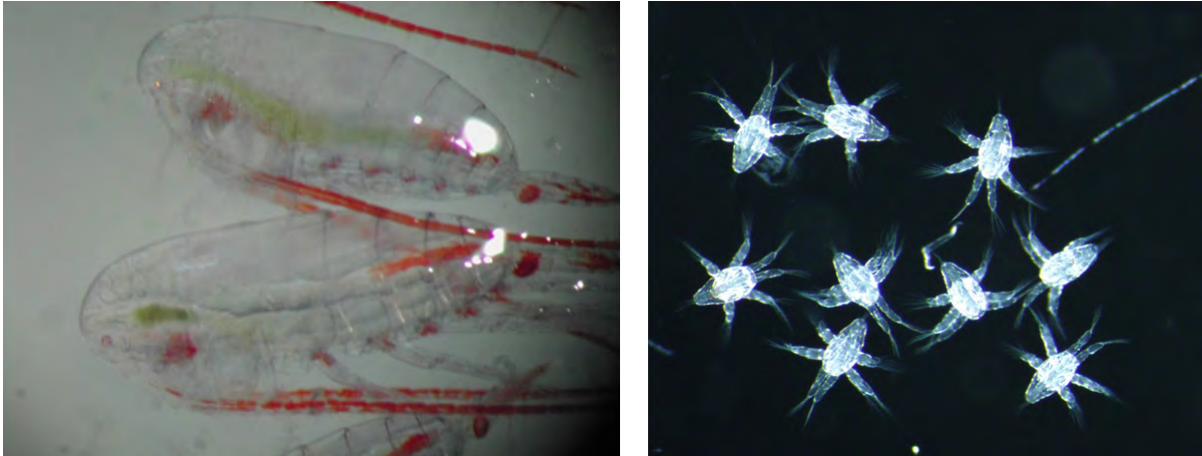


Figur 10. Forenklet næringsnett i iskantsonen i grunne og dypere områder. III.: M. Daase.

Mange arktiske sekundærprodusenter har tilpasset sin livssyklus til den korte, men intense algeoppblomstringen om våren, dvs. de er avhengig av en god kobling ("match") i tid og rom med algeoppblomstringen (Søreide et al. 2010). Alle de tre vanligste *Calanus*-artene er herbivore («planteetende»), men *Calanus glacialis* er særskilt tilpasset et liv i isfylte farvann ved at den får energi til reproduksjon via isalger, mens avkommet primært ernærer seg av pelagisk planteplankton (Figur 11). Endrede isforhold med påfølgende endringer i primærproduksjonen kan føre til en mismatch mellom tidspunkt for oppblomstring og de ulike stadiene i livssyklusen til *C. glacialis*. Flere av de istilknyttede amfipodene er imidlertid i større grad frikoblet fra sesongvariasjoner i fødetilgang da de kan nyttiggjøre seg et bredere spekter av føde, selv om de synes å foretrekke detritus (Arndt et al. 2009). Av isamfipodene er *Apherusa glacialis* den eneste herbivore.



Figur 11. Sammenhengen mellom ulike stadier av *Calanus glacialis*, primærproduksjon og isforhold. Nauplii er larvestadiet for *C. glacialis*. Modifisert fra Søreide et al. (2010). Ill.: M. Daase.



To voksne hunner (venstre) og nauplii (høyre) av *Calanus glacialis*. Den grønne tarmen viser at de har spist alger. Foto: J. Søreide, UNIS (venstre) og A. Bailey, NP (høyre).

Både hoppekreps, amfipoder og krill spiller viktige roller i økosystemet i iskantsonen (Dalpadado et al. 2008a). Det finnes flere viktige predatorer på krill, for eksempel lodde i perioden februar-april, torsk på sommeren (Orlova et al. 2011), grønlandssel (Grahl-Nielsen et al. 2011), vågehval (Haug et al. 2002) og mange av sjøfuglene (Strøm 2006). Hoppekreps er særlig viktig for alkekonge.

Stor biomasse av bunndyr nord-øst for Svalbard blir forklart med fødetilgang av isalger (Søreide et al. 2013) og arter som livnærer seg ved å filtrere små partikler, større levende byttedyr eller nedfall fra havis. Det er også høyere megabentisk sekundærproduksjon i de delene av Barentshavet som har sesongmessig isdekke, sammenlignet med isfrie områder, noe som sannsynligvis skyldes tettere pelagisk-bentisk kobling og lokale miljøforhold som blant annet innvirker på omrøring av vannmasser (Degen et al. 2016).

Sammenliknet med fiskesamfunn i atlantiske vannmasser i Barentshavet har de arktiske fiskesamfunnene i iskantsonen også annerledes næringsnettstruktur, med mer spesialisert diett og mindre kannibalisme (Kortsch et al. 2015).

Næringsgrunnlaget til sjøfugl i Barentshavet gjenspeiler gradienten fra varmt atlantehavsvann i sør og vest til arktiske vannmasser i nord og øst (Se kapittel 4.1 og 4.3.1.4 og referanser deri). Lengst mot nord, i de arktiske økosystemene, inklusiv iskantsonen, er polartorsk og arktisk dyreplankton tilknyttet havisen viktigere enn lenger sør. Imidlertid har de ulike sjøfuglene ulike beitestrategier, noe som også gjenspeiles i valg av byttedyr. En liten pelagisk dykkende art som alkekonge, spiser hovedsakelig hoppekreps, tanglopper og krill, mens større dykkende arter som polarlomvi og teist spiser blekksprut, polartorsk og andre fiskearter i tillegg til amfipoder og krill. Pelagisk overflatebeitende fugl som ismåke finner byttedyr i de øvre vannmassene. Valg av byttedyr varierer noe mellom artene, men polartorsk og lodde, krill, blekksprut og flerbørstemark er viktige næringsemner. Ulike arter av dyreplankton og fisk utnytter primærproduksjonen i iskantsonen, noe som igjen danner grunnlaget for at sjøfuglene tiltrekkes iskantsonen. Etter hvert som iskanten trekker seg nordover gjennom våren og sommeren, forflyttes denne produksjonen gradvis nordover. Sjøfuglene følger etter nordover, og selv om flere arter ikke observeres i selve iskantsonen, er de avhengig av den produksjonen iskantsonen genererer og den forutsigbarheten dette årlige fenomenet innebærer. Havis spiller også en viktig rolle som hvileplattform for flere sjøfuglarter, og har således betydning for det årlige energibudsjettet for flere arter.

Dietten hos marine pattedyr gjenspeiler leveområde. For eksempel har ringselen spesialisert seg på istilknyttede byttedyr som ulike krepsdyr og polartorsk (Labansen et al. 2007), storkobben foretrekker relativt grunne områder siden de furasjerer på organismer i eller ved havbunnen (Hjelset et al. 1999), det samme gjør hvalross om sommeren, mens grønlandsselen har en mer variert diett bestående av lodde og annen småfisk, samt krepsdyr som krill og amfipoder (Nilsen 1995). Dietten til flere av de store hvalartene vi finner i iskantsonen, som grønlandshval og blåhval, består også sannsynligvis av krill, amfipoder og hoppekreps, men dette er ikke undersøkt i våre farvann. Det er imidlertid det de spiser i iskantsonen i andre deler av verden (Perrin et al. 2002).

Isens maksimale utbredelse bestemmer også den sørlige grensen for utbredelse av arter som er avhengig av is i sin livssyklus. Det gjelder for alle trofiske nivåer. Kiselalgen *Fossula arctica* som kan være en viktig art i is og i starten av planteplanktonoppblomstringer, er for eksempel foreløpig ikke rapportert fra områder hvor det ikke forekommer havis. Mer kjent er eksempler som ismåke og isbjørn. De har en utbredelse som i hovedsak sammenfaller med isens, selv om de periodevis kan forekomme på land.

3.4 Sårbarhet

I forvaltningssammenheng er begrepet sårbarhet definert som sannsynligheten for at en effekt oppstår som følge av en påvirkning (Kværner et al. 2006). Når man skal identifisere sårbare områder, er det viktig å definere hva området er sårbart for, da de fysiske, kjemiske og biologiske egenskapene varierer fra område til område, og området sjeldent er like sårbart gjennom hele året eller like sårbart overfor alle typer av påvirkning.

Sårbarhet kan vurderes på arts-, bestands- og økosystemnivå, og tolking av årsakssammenhenger blir mer krevende i takt med økende kompleksitet. Sårbarhetsvurderinger krever kunnskap om enkeltarter, deres levesteder, vandringsmønster og følsomhet i forskjellige livsfaser. Videre kan sammenhengen mellom påvirkningsfaktorer og respons i et økosystem være resultat av både direkte og indirekte trofiske interaksjoner.

Følgelig er det vanskelig/umulig å gradere sårbarhet gjennom iskantsonen på generell basis uten at man først angir hvilken ressurs, miljøverdi eller art/artsgruppe som man ønsker å angi sårbarhet for, hva påvirkningene er, og hvilke andre parametere man har informasjon om som vil påvirke sårbarheten (for eksempel tid på året). Det er imidlertid en stor utfordring at mange av parameterne som bør inngå i sårbarhetsvurderinger er dårlig kjent og/eller forbundet med stor usikkerhet.

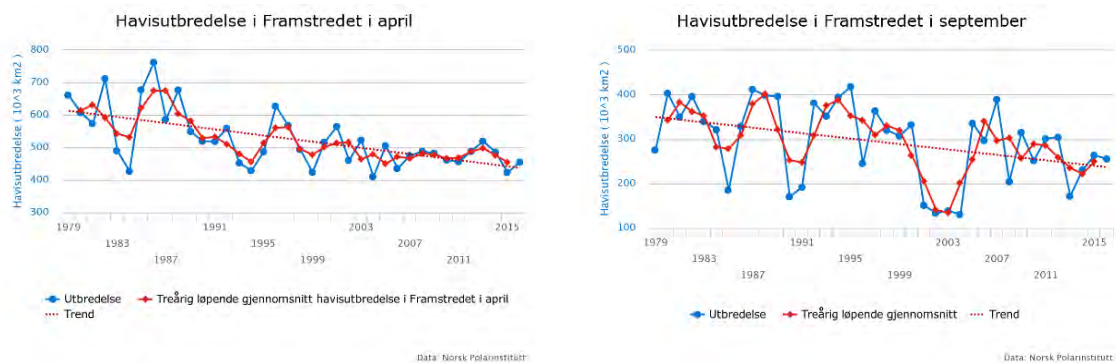
De viktigste endringene i de marine økosystemene, og som har betydning for næringssituasjonen for mange arter i iskantsonen, er trolig klimaendringer, endringer i fiskeriene og fluktuasjoner i de pelagiske fiskebestandene (Fauchald et al. 2015). De fleste av disse faktorene virker over et større geografisk område enn iskantsonen slik den er definert i denne rapporten. Under omtales kort noen av påvirkningene som kan forekomme i iskantsonen og ulike økosystemkomponenters respons på disse i den grad det er kjent.

3.4.1 Klimaendringer

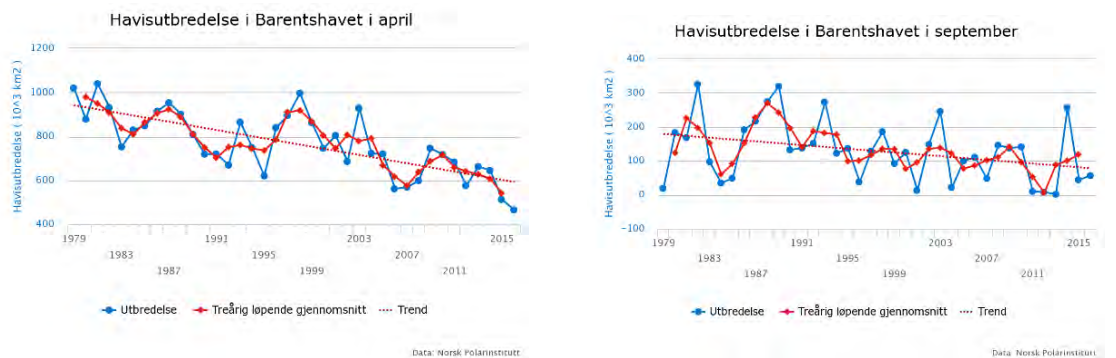
Mulige konsekvenser av klimaendringer er blant annet økt havnivå, forandringer i havstrømmer, og endret isdekke og saltinnhold. Videre vil klimaendringene føre med seg værforandringer i form av endringer i temperatur, nedbør, vind, sol/skyforhold og UV-stråling. En av de mest markante konsekvensene av klimaendringer i Arktis er imidlertid redusert havisutbredelse (både i tid og rom) og tykkelse (skifte fra tykk flerårsis til tynnere årsis). Dette er også observert i Framstredet og i Barentshavet (Figur 12), men det er også store mellomårslige variasjoner. Sommerisdekket i

Barentshav-regionen er imidlertid det området i Arktis hvor isreduksjonen har vært mest dramatisk de senere år, med en isfri sesong som er over 20 uker lengre i 2013 sammenliknet med 1979 (Laidre et al. 2015). Også istykkelsen i Framstredet har blitt mindre siden overvåkingen begynte tidlig i 1990-tallet (Hansen et al. 2013; 2014; Krumpen et al. 2016; Renner et al. 2014). Havområdene rundt Svalbard og Barentshavet for øvrig, er også sterkere påvirket av atlantehavsvann («atlantifisering») enn tidligere (Polyakov et al. 2017). I tillegg har smelting av is og oppvarming av havvannet en selvforsterkende effekt. Den lyse overflaten til isen reflekterer sollys, men økt smelting vil redusere denne reflekterende effekten i takt med at isdekket reduseres, noe som fører til økt smelting av is og ytterligere oppvarming av havvannet.

a)



b)



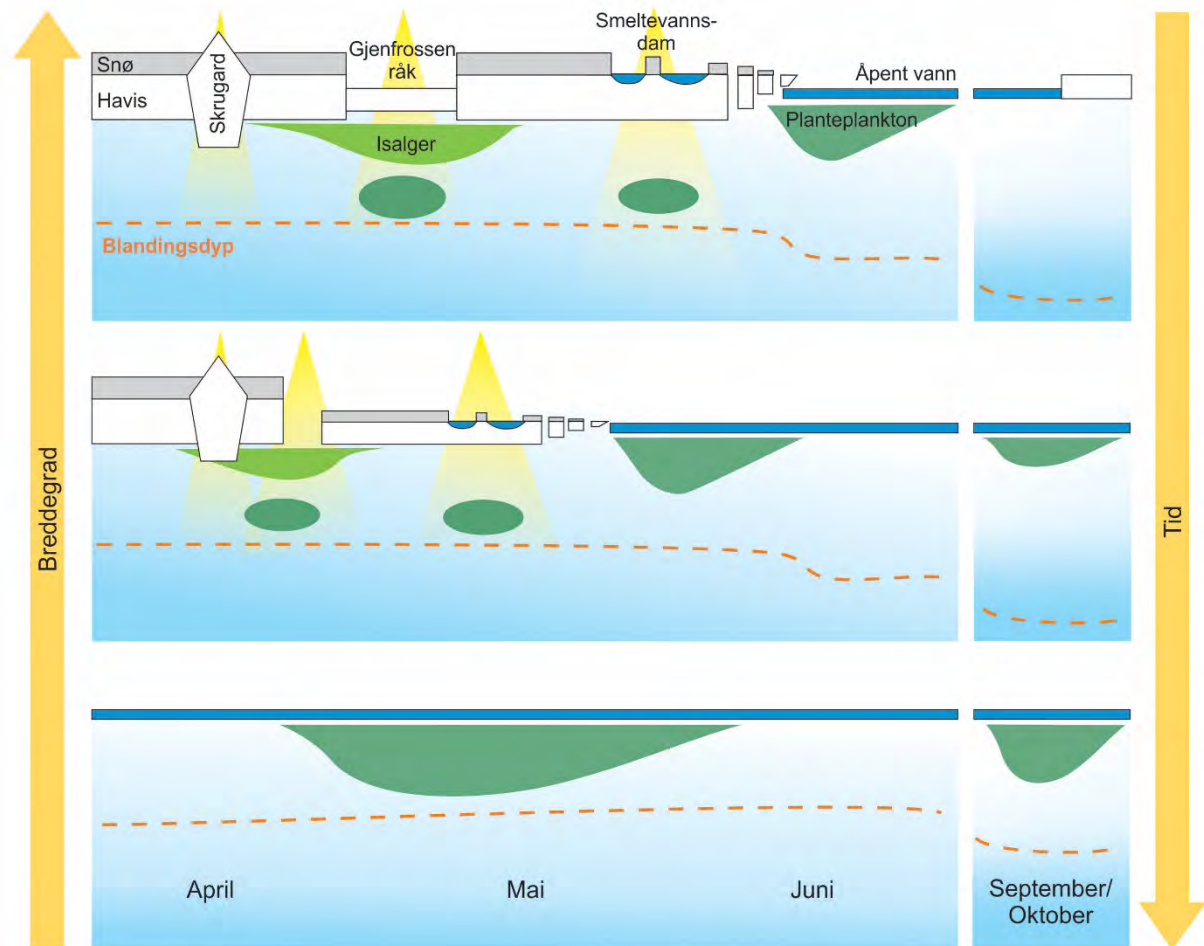
Figur 12. Overvåkingsserier av isutbredelse i (a) Framstredet og (b) Barentshavet for hhv. april og september i perioden 1979-2016. Fra: MOSJ¹.

3.4.1.1 Endret produksjon og biomasse

Klimaendringer fører til at isen legger seg senere og smelter tidligere, noe som påvirker tidspunkt, lokalisering og intensitet på produksjonen både i isen og i vannsøylen, inkl. i iskantsonen (Barber et al. 2015). I denne sammenheng vil også mengde snø på isoverflaten være avgjørende for mengde lys som når isalger og/eller planteplankton i vannmassene. Klimaendringer fører til økt nedbør (Bintanja & Selten 2014) og der den kommer som snø vil snødekket øke, men hvor mye som akkumuleres avhenger av hvor lenge det har vært is i området med økte snømengder (Webster et al. 2014). Generelt så vil imidlertid tynn og dynamisk is muliggjøre planteplanktonoppblomstringer under is, noe som nå rapporteres fra flere arktiske områder, inkl. nord for Svalbard (Arrigo et al. 2012; Mundy et al. 2009; 2014; Assmy et al. 2017; figur 13). Omfanget av disse blomstringene avhenger imidlertid

¹ <http://www.mosj.no/no/klima/hav/havisutbredelse.html>

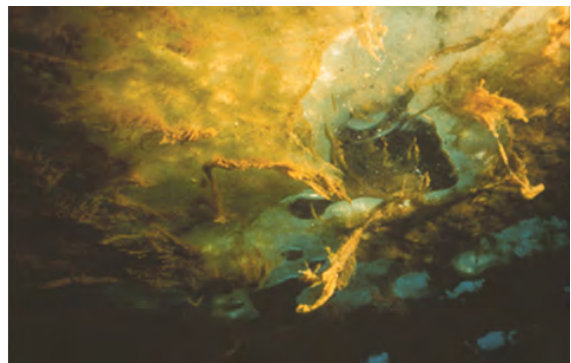
også av tilgang på næringsalter, og derfor vil det være ulike forløp avhengig av vanddyb og stabilitet i de øvre vannlagene. De siste årene er det for eksempel målt en økende mengde smeltevann fra havis i utstrømningen fra Polhavet gjennom Framstredet om sommeren (Dodd et al. 2012), noe som øker sjiktingen (lagdelingen).



Figur 13. Modellerte resultater som viser romlige og temporære trender for isalge- og planteplanktonblomstringer i arktiske havområder. Nedre del: åpent vann, uten isdekke; øvre og midtre del: is- og snøforhold med økende breddegrad. De samme tre figurene representerer også en temporær trend (høyre akse). Lystransmisjon gjennom havis tillater planteplanktoppblomstringer under isen. Ill.: P. Duarte/M. Daase.

I dype områder i Arktis hvor det allerede er observert lavere saltholdighet i det produktive laget (McPhee et al. 2009), vil dette være avgjørende for den totale produksjonen i området. Imidlertid vil økt påvirkning fra atlantehavsvann (blant annet observert i det europeiske bassenget i Polhavet) med høyere saltholdighet føre til at lagdelingen svekkes og gjennomblanding av vannmassene fremmes (Polyakov et al. 2017). Økt vind, inkl. antall polare lavtrykk, bidrar ytterligere til økt omrøring, men samtidig øker muligheten for at gjennomblandingen vil bli så omfattende at det lysavhengige planktonet blir ført ned til så store dyp at det blir redusert/for lite lys til primærproduksjon. Dersom det fortsatt er tilfredsstillende lysforhold, kan imidlertid økt omrøring tilføre overflatelaget næringsalter fra dypere vannlag og fremme primærproduksjonen (Zhang et al. 2014). Effekten av økt vind har også sammenheng med grad av isdekke, jo mer is jo mindre effekt har vinden. Økt næringsalkkonsentrasjon som en direkte konsekvens av økt omrøring i områder hvor isen dannes senere enn før, er med på å forklare en økt forekomst av planteplanktonblomstringer om høsten (Ardyna et al. 2014).

Isfylte områder med økt påvirkning av varmt atlantehavsvann fører samtidig til økt smelting av isens underside og dette gjenspeiles for eksempel i Barentshavet ved redusert biomasse av isalger i den nederste delen av isen (Barber et al. 2015). Mindre flerårsis og mer årsis i Nansen-bassenget nord for Svalbard reduserer også isalgebiomassen, noe som forklarer nedgangen av de isamfipodene som har isalger som fødepreferanse (Barber et al. 2015). Med tynnere og derfor mer mobil is vil det løstsittende isalgesamfunnet på undersiden av isen lettere løsne på grunn av isens bevegelse og/eller fordi isen driver inn over varmere atlantehavsvann. Dette kan være en av årsakene til at dette samfunnet ikke observeres så ofte vest i Barentshavet som tidligere (von Quillfeldt pers. medd.).

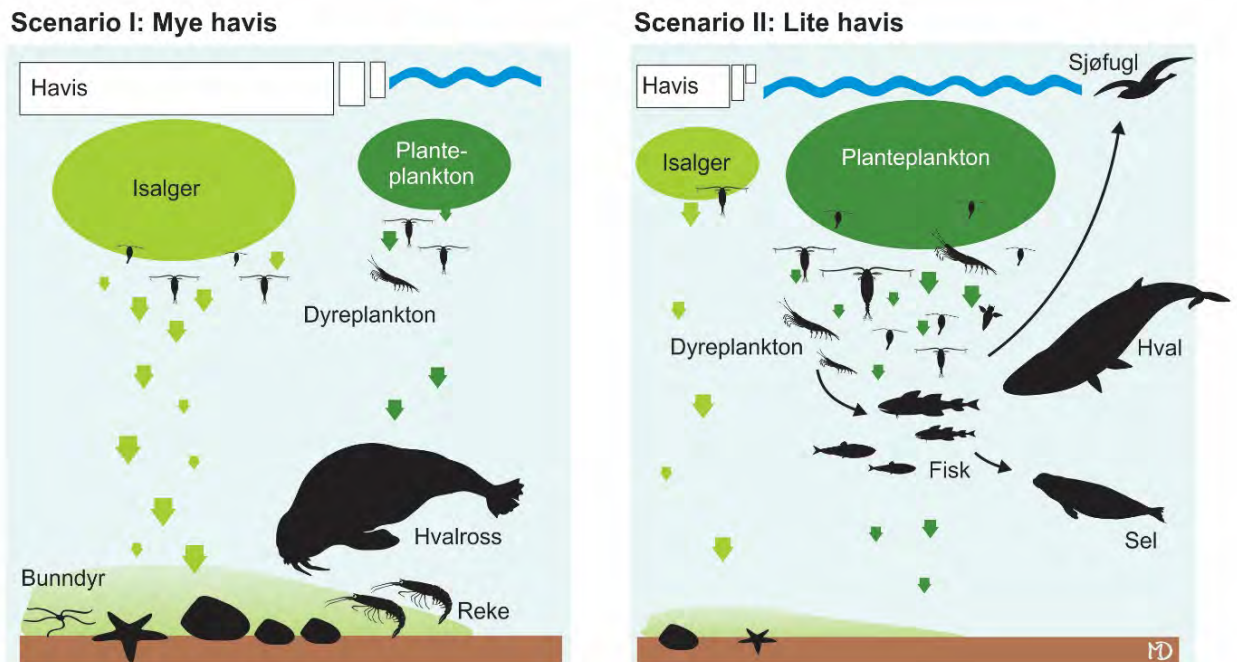


Løstsittende algesamfunn (høyre) samlet av dykker (venstre) fra undersiden av isen øst for Svalbard i april 1985. Foto: C.H. von Quillfeldt (høyre) og B. Gulliksen, UiT (venstre).

Tabell 5 Sårbarhet for lavere trofiske nivå ift. redusert isutbredelse og istykkelse.

	Lav sårbarhet	Middels sårbarhet	Høy sårbarhet
Isalger			X
Isamfipoder			X
Dyreplankton		X	
Plantep plankton	X		

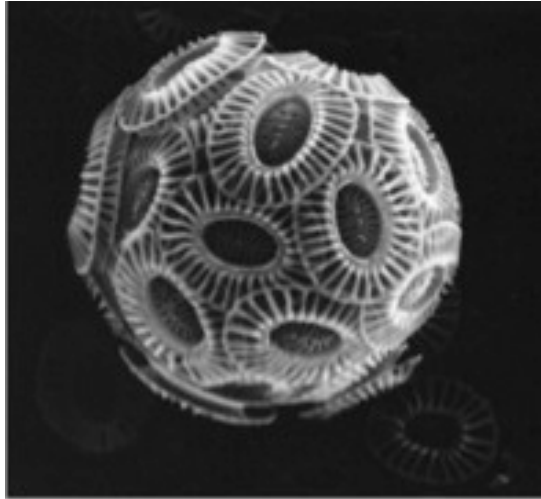
Endrete isforhold påvirker den bentisk-pelagisk koblingen i iskantsonen, noe som kan få integrerte effekter i hele økosystemet. En reduksjon av havis kan ha en dramatisk effekt på timing, omfang og romlig fordeling av istilknyttet og pelagisk primærproduksjon, og som et resultat av dette, tilgangen av denne matkilden til de pelagiske og bentiske konsumentene (Carroll & Carroll 2003; Hansen et al. 2003; Grebmeier et al. 2006; Wassmann et al. 2006; figur 14). Endringer i biomasse som følge av redusert havis kan for eksempel være en mulig konsekvens for megabenthossamfunnet, men det er ikke mulig å si noen om sammenhengen mellom havis og biomasse gjennom året i Barentshavet, fordi overvåkningsperioden frem til i dag er for kort. Videre vil dette kunne føre til endret mattilbud for marine pattedyr, for eksempel storkobbe og hvalross, og for arktiske fiskearter som har spesialisert seg på beiting på bunndyr, slik som knurrulker og ringbuker.



Figur 14. Sammenheng mellom mengde is, ulike typer av primærproduksjon og bentisk-pelagisk-sympagisk (istilknyttet) kobling. Ved mye is over sokkelområder øker sannsynligheten for at mer av isalgeproduksjonen vil nå bunnsamfunnene enn når det er lite is. Modifisert fra Carroll & Carroll (2003). Ill.: M. Daase.

3.4.1.2 Endret fødekvalitet

Endret artssammensetning på lavere trofiske nivå vil også ha integrerte effekter i økosystemet. Redusert saltholdighet favoriserer små flagellater fremfor større kiselalger, dvs. den gruppen som normalt dominerer vår oppblomstringen i iskantsonen, noe som allerede er observert i kanadisk Arktis (Li et al. 2009). Videre fører «atlantifisering» til at arter utvider sitt utbredelsesområde nordover, for eksempel er det en økning i enkelte planteplanktonarter, blant annet mer kalkflagellater og oseaniske kiselalger (Smyth et al. 2004; Hegseth & Sundfjord 2008); samt *Phaeocystis pouchetii* (Lasternas & Agusti 2010; Lalande et al. 2013; Nöethig et al. 2015; Assmy et al. 2017) ved Svalbard og i Barentshavet; en dreining av dominerende hoppekreps fra arktiske (*Calanus glacialis*) mot mer atlantiske arter (*C. finmarchicus*, og mindre hoppekreps som *Oithona*), dvs. arter med lavere energiinnhold (Hop et al. 2006; Weydmann et al. 2014); skifte i dominerende amfipoder fra arktiske (*Themisto libellula*) til atlantiske (*T. abyssorum* og *T. compressa*) arter (Krafft et al. 2013; Dalpadado et al. 2016); en signifikant økning i makrodyreplankton, særlig krill, i Barentshavet siden 1990-tallet (Eriksen et al. 2017); mer maneter (Wassmann et al. 2011) og endret utbredelse av polartorsk (Hop & Gjørseter 2013; ICES 2017). Mindre kiselalger kan ha sammenheng med redusert silikatinhold i vannet (Rey 2012). I tillegg er det observert en trans-arktisk inntreden av den pelagiske kiselalgen, *Neodenticula seminae* (egentlig en Stillehavs-art) til nordiske havområder, inkludert Framstredet (Miettinen et al. 2013), etter å ha vært fraværende fra den atlantiske sektoren av Polhavet i 800 000 år, noe som tilskrives et varmere klima (Reid et al. 2008). Adveksjon av atlantehavsvann påvirker også sammensetningen av isalger og forklarer hvorfor isalgen *Melosira arctica* kan være så godt som fraværende nord for Framstredet (til forskjell fra tidligere), men fortsatt observeres i nordlige del av Laptev havet og sentrale deler av Polhavet (Lalande et al. 2014). Mer årssis og ung is og mindre flerårsis resulterer i mindre komplekse samfunn, noe som har vært observert i flere arktiske områder (Melnikov et al. 2002).



Kalkflagellaten *Emiliana huxleyi*, en av flere arter som kan bli mer vanlig i Arktis. Foto: E. Paasche, UiO.

Endringer i sammensetting av byttedyr fra et arktisk næringsnett dominert av iskantson fauna som polartorsk og *Themisto libellula*, til et mer borealt næringsnett dominert av lodde, torsk og krill, har negative konsekvenser for flere ulike artsgrupper. For sjøfugl gjelder det spesielt ismåke, polarlomvi, teist og alkekonge. For spesialiserte arter som ismåken, vil en omfattende reduksjon i isens utbredelse med tilhørende produksjon, være spesielt dramatisk. At de store bestandene av polarlomvi går markant tilbake på Spitsbergen kan skyldes den pågående endringen fra et arktisk næringsnett til et mer borealt næringsnett (Fluhr et al. 2017). For vestlige bestander av grønlandssel er det også påvist reduksjon i reproduksjonsrater antakelig som følge av endringer i byttedyrfaunaen som resulterer i at dyrene er i dårligere kondisjon (Stenson et al. 2016). Også de tre stedeagne hvalartene vil oppleve endringer i de lipidrike byttedyrene, noe som kan være potensielt kritisk for grønlandshval som i dag er helt avhengig av svært lipidrike arktiske hoppekreps og amfipoder.

Megabenthossamfunnene i ispåvirkede områder kan være sammensatt av arter som livnærer seg ved å filtrere mindre partikler eller som filtrerer større levende byttedyr eller nedfall fra havis, av predatorer/åtselsetere eller av detrivore arter. Følgelig er det mulig at artssammensetning og biomassefordeling endres som en følge av endret mattilgang fra havis, men her er det imidlertid store kunnskapshull. Videre vil opportunistiske arter som kan tilpasse seg en endring fra tilgang på fersk føde fra havisen til degradert pelagisk detritus, ha en fordel (Sun et al. 2009).

3.4.1.3 Endret lokalisering av iskantsonen

Iskantens avstand til land har betydning for dyr som vandrer til iskantsonen for å beite. Forflytting av iskantsonen nordover fører isen over dypere områder og lenger fra land enn tidligere. De sjøfuglartene som er avhengige av isen og iskantsonen i hekketiden vil bare kunne utnytte dette habitatet så lenge isen er innenfor akseptabel avstand fra hekkeområdene, men noen arter vil trolig kunne forskyve hekkeområdene nordover i takt med reduksjonen i isens utbredelse (Anker-Nilssen & Strøm 2010).

At iskantsonen om somrene i de senere år har befunnet seg over det dype Polhavet i stedet for over grunnere områder i nordlige Barentshavet har også vist seg å ha konsekvenser for flere marine pattedyrarter, blant annet ringselene på Svalbard. Satellittsporing av ringsel i dagens situasjon viser at de svømmer lenger, dykker lenger, bruker mindre tid i overflaten mellom dykk, hviler mindre oppe på isen hver dag og generelt har en mindre romlig begrenset furasjeringsaktivitet (Hamilton et al.

2015). Dette viser klart at selene må bruke mer tid for å finne mat og at energikostnadene forbundet med denne aktiviteten har økt. Dette vil potensielt ha effekter for vekst, alder ved kjønnsmodning, reproduksjon og overlevelse (Hamilton et al. 2015). Dersom iskantsonen befinner seg lengre enn 600-700 km nord for Svalbard vil det ikke være energimessig fornuftig å vandre så langt, under forutsetning av at de ikke spiser på veien og skal tilbake igjen til Svalbards kyster om høsten slik selene gjør i dagens situasjon (Freitas et al. 2008). Hvis ringselene, som er hovedbyttedyret for isbjørnen i området, ligger mindre og hviler på havisen vil dette også kunne ha konsekvenser for jaktuksessen til isbjørnene som oppholder seg her (Hamilton et al. 2015). Hvis iskantsonen ligger langt nord for Svalbard vil dessuten isbjørnen som oppholder seg der få problemer med å nå yngleområdene på land. Det er f. eks. vist at hvis ikke havisen ligger inn mot Hopen eller Kongsøya før en gang i november, fører dette til en svært stor reduksjon i antall registrerte hi i disse to områdene (Derocher et al. 2011; Aars 2013). På samme måte vil isforholdene når binnene kommer ut av hiene være avgjørende for om disse kan komme til iskantsonen å jakte. Isbjørn er svært dyktige svømmere og er registrert å kunne svømme kontinuerlig i dagevis (Pilford et al. 2017), men de små årsungene vil ikke kunne tåle å svømme i lengre perioder i det kalde arktiske vannet (Aars & Plumb 2010; Durner et al. 2011).



Isbjørn som jakter på sel i drifisen vil kunne få problemer med å nå yngleområdet dersom isen ligger for langt nord. Voksne bjørner er dyktige svømmere, men ungene tåler ikke dette like godt. Foto: A. Renner (venstre) og J. Aars (resten), NP.

For storkobbe og hvalross som foretrekker grunne områder hvor de finner maten, vil ikke iskantsonen være et foretrukket beiteområde dersom iskantsonen ligger over dyphav. Storkobbe er da også i økende grad observert å bruke land og isbrekalvinger som hvileplattform i kystnære farvann på Svalbard (Lydersen et al. 2014).



Hvalross (venstre) og storkobbe (høyre) som beiter på bunndyr, er avhengig av at havisen ligger over relativt grunne områder. Foto: H.F. Aas (venstre) og G.W. Gabrielsen (høyre), NP.

3.4.1.4 Mindre og dårligere is

Redusert tilgang på is påvirker arter med isen som habitat. Hvalross, grønlandssel og klappmyss yngler i iskantsonen. Dårlige isforhold med mye vann mellom flakene gjør også at flakene ungene kastes på er mye mer eksponert for vær, vind og bølger, noe som kan føre til at mange unger faller av isflakene og dør som følge av drukning, utmattelse, eller fryser ihjel som er vist i vestligere bestander av grønlandssel (Stenson & Hammill 2014). Dersom vinterisen trekker seg nord for sokkelen vil det være for dypt til at hvalrossmødrene vil kunne finne mat i den perioden de yngler og de vil da antakelig måtte yngle på land. Konsekvenser av dette vet vi ikke, men en større sjanse for ungene til å bli knust når det er uro i flokkene er rimelig å anta, sett i perspektiv av hva som er beskrevet fra store liggeplasser på land for Stillehavshvalross (Jay et al. 2011).

Dårlige isforhold fører til at isens beskyttende effekt med hensyn til predasjon fra spekkhuggere vil kunne bli redusert eller falle bort for arter som beiter et stykke inn i iskantsonen, eller yngler på havisen, noe som har blitt påvist i andre steder av Arktis for flere arter; grønlandssel, klappmyss, hvalross og grønlandshval (Ferguson et al. 2010; Øigård et al. 2014). I Vestisen har i tillegg isen hvor selen yngler kommet nærmere og nærmere kysten av Grønland, slik at dyrene eksponeres for en større grad av predasjon fra isbjørn (Øigård et al. 2014).



Grønlandssel på isflak i Storfjorden på Svalbard sommeren 2004. Foto: T. Andrea, NP.

3.4.1.5 Forflytting av arter, endrete konkurranseforhold og sykdom

Samtidig med endrete isforhold vil også temperaturendringer i vannet nær havbunnen ha betydning for artssammensetningen (Tabell 6). Megabenthossamfunnets gjennomsnittlige temperaturpreferanse vil forventes å bli høyere og toleransen for variasjon bredere. Slike trender er observert i de sentrale delene av Barentshavet (Jørgensen et al.; in prep) og tyder på at en «borealiserings» er i gang i dette området. Dette kommer i tillegg til eventuelle endringer forårsaket av endrete isforhold i de samme områdene.

Tabell 6. Bunndyrs sårbarhet for temperaturøkning.

	Lav sårbarhet	Middels sårbarhet	Høy sårbarhet
Dype samfunn			Lav toleranse for økt bunntemperatur
Grunne samfunn	Tolerant for økt bunntemperatur		

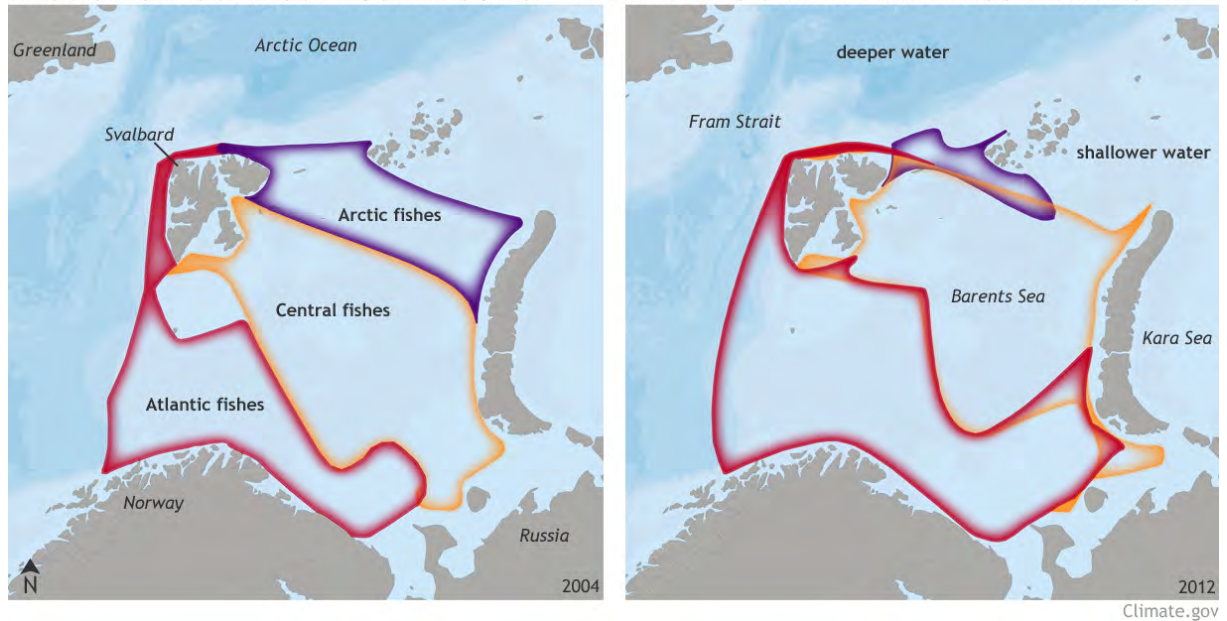
Mens beiteområdene for fisk ofte endres (utvides/krymper/flytter seg), er gyteområdene og vandringsmønstrer mellom gyte-, beite- og overvintringsområder mer stabilt. Den geografiske utbredelsen av bunntilknyttede fiskebestander er imidlertid ofte begrenset av dypet, slik at dersom iskantsonen skulle flytte seg langt nordover og inn i det dype området i Polhavet, vil utbredelsen av mange fiskebestander som i dag utnytter produksjonen i iskantsonen være begrenset nordover av dypet (Haug et al. 2017).

Den totale mengden fisk i det nordlige Barentshavet om sommeren ble firedoblet fra 2004 til 2012, mens det ble observert en nedgang for flere arktiske arter. Denne nedgangen kan skyldes både predasjon fra boreale arter, økt konkurranse og tap av habitat. Forekomsten av boreale arter i det nordlige Barentshavet øker om sommeren og langs vestkysten av Svalbard vinterstid, noe som sannsynligvis henger sammen med at området med passende temperatur for den enkelte fiskeart flytter seg nordover (Fossheim et al. 2015 og litteratur deri; figur 15). Det kan også føre til økt konkurranse for andre predatorer som grønlandssel, vågehval, blåkveite og isskate. Fiskearter som trekker nordover er blant annet torsk, hyse, makrell og lodde (Haug et al. 2017).

Forflytting av en arts utbredelsesområde kan også påvirkes indirekte av endringer i næringsnett og energiflyten. Høyere temperatur favoriserer atlantiske arter av dyreplankton over arktiske, men atlantiske arter er mindre fett- og energirike enn arktiske arter. Følgelig kan et slikt skift være negativt for fisk (og andre artsgrupper) som beiter på dyreplankton i iskantsonen (Fossheim et al. 2015 og litteratur deri).

Nye arter sørfra kan også føre med seg sykdommer, sykdomsbærere og parasitter som de arktiske artene ikke har noe forsvar mot, og dermed er svært sårbare for.

ARCTIC FISHES ALMOST PUSHED OUT OF THE BARENTS SEA BETWEEN 2004 AND 2012



Figur 15. Endring i utbredelse av atlantiske, sentrale og arktiske fiskesamfunn fra 2004 til 2012. Kilde: Climate.gov (basert på Fosheim et al. 2015).

3.4.2 Sot

Utslipp av sot fra skip er en forurensing som kan ha påvirkning i Arktis, mest kjent som Black Carbon. Soten vil ved å dekke snø- og isdekte områder kunne redusere den reflekterende albedo-effekten i disse områdene. Svarte partikler vil istedet føre til økt absorbering av lysenergi, og dermed være med på å øke hastigheten på den øvrige klimaeffekten med oppvarming og issmelting i Arktis. En akselerering av issmeltingen vil slå negativt ut på alle trofiske nivåer med arter som i hele eller deler av sin livssyklus forekommer i iskantsonen.

3.4.3 Havforsuring

Overflatevannet i verdenshavene har blitt 30 % surere enn for 200 år siden (MD 2009). Grunnen til dette er at økt mengde CO₂ i atmosfæren også fører til økt opptak av gassen i havet og når CO₂ reagerer med vann dannes karbonsyre og pH-verdien synker. CO₂ tas lettere opp i kaldt vann, og effekten av havforsuring vil dermed bli større i områder langt nord. Resultater fra havforsuringsovervåkingen viser at overflatevannet i Barentshavet allerede nå er undermettet med hensyn til aragonitt i deler av året (Arneberg & Jelmert 2017).

Redusert pH medfører økt løselighet av kalk, og dette kan påvirke viktige marine arter som er avhengige av kalk for å bygge skjelett eller skall (for eksempel noen arter av plankton og muslinger), hvorav flere arter er viktig føde for dyreplankton som igjen danner næringsgrunnlaget for andre arter på høyere trofiske nivåer. En forsuring kan dermed ha integrerte effekter i økosystemet. Vingesneglen *Limacina helicina*, som kan ha store forekomster i Arktis, er spesielt utsatt da den danner skall av aragonitt, den formen av kalk som er mest følsom for havforsuring. Den er også viktig føde for mange arter i Arktis (Karnovsky et al. 2008). I Kongsfjorden er allerede aragonittmetningen i vannet nær kritisk nivå for aragonittdannende arter (Fransson et al. 2016). Artens evne til å tilpasse seg endring eller til å reparere skader i skallet vil også innvirke på den totale effekten (Peck et al. 2016). Kalkflagellater er en annen utsatt gruppe, men effekten er fortsatt uvis og så langt ser det ut som om en eventuell negativ effekt av havforsuring kompenseres av økt temperatur som er den mest

sannsynlige årsaken til økt forekomst av denne gruppen i Barentshavet (Smyth et al. 2004). Sjøfugl og marine pattedyr vil primært bli påvirket av havforsuring gjennom endret kvalitet og kvantitet av byttedyr.

Havforsuring vil også kunne påvirke enkelte planktongruppers fysiologi og reproduksjon. Også bunndyr og fisk i tidlige utviklingsstadier vil være sårbare for redusert pH, mens voksen fisk trolig vil forbli upåvirket (MD 2009). Selv om noen eksperimenter har vist økt metabolske kostnader for unge stadier av *Calanus glacialis* ved økt pCO₂ (Thor et al. 2016), så ser det ut til at de store *Calanus*-artene er relativt upåvirket av økte nivåer av CO₂ (Bailey et al. 2016; Hildebrandt et al. 2016), antagelig på grunn av at de er tilpasset store variasjoner i CO₂ i forbindelse med vertikale vandring, både gjennom døgnet og gjennom året. Mindre hoppekreps som stort sett holder til i overflaten (for eksempel *Oithona* sp.) har derimot vist seg å være mer sensitive for høye CO₂ nivåer (Lewis et al. 2013).

3.4.4 Miljøgifter

Det er langtransporterte miljøgifter via luft- og havstrømmer som er hovedkilden til forurensing i Arktis. I tillegg inkorporeres enkelte giftige forbindelser i isen når den dannes, både fra vannet og sedimentene som fryser inn og deponeres og akkumuleres fra atmosfæren. Isen er dermed en transportmekanisme som samler opp ulike bidrag. Det er foreslått at utsmeltingsområdene er viktige for opptak av miljøgifter i næringskjedene ettersom organismer med tilknytning til isen blir eksponert for disse forbindelsene når isen smelter. Isorganismer vil også være særlig utsatt for giftige forbindelser med lang oppholdstid i de øvre vannlagene (for eksempel PAH-forbindelser). Dessuten vil et kompakt isdekke redusere giftige forbindelsers muligheter til å fordampe fra vannmassene (hvor produksjonen er svært konsentrert) og dermed økes oppholdstiden deres i et område.

Generelt sett er det målt lave nivåer av miljøgifter og radioaktive stoffer i det arktiske miljøet siden 2006, med unntak av artene på de øverste trofiske nivåene som isbjørn, tannhvaler, sjøfugl og sel, samt fisk som lever på store dyp og når høy alder (von Quillfeldt 2010). Effekten av dette er ikke tilstrekkelig kjent, men det er sannsynlig at immun- og forplantningssystem påvirkes hos en del arter. For eksempel kan de fysiologiske effektene av de frigitte miljøgiftene ha effekt på hekkeparametere hos ismåke og føre til redusert hekkesuksess og overlevelse, med påfølgende bestandsnedgang (Miljeteig et al. 2012; Lucia et al. 2016). Det er imidlertid individuelle forskjeller i næringsvalg og tilsvarende forskjeller i akkumulert mengde miljøgift hos ismåke (Lucia et al. 2016). Mange av de spesielt utsatte organismene har livsstrategier som innebærer fasting gjennom deler av året. For disse vil de fettløselige miljøgiftene bli tilgjengelige når kroppen tærer på de oppsamlede fettlagene. Mange arter er ekstra sårbare i de periodene de oppholder seg i iskantsonen, ettersom de har et høyt inntak av næring i disse periodene, for eksempel unger som dier. Effekten avhenger blant annet av art, alder og kjønn.

Tannhvaler er generelt dårlige til å metabolisere ulike forurensningsstoffer og følgelig er både hvithval og narhval i Svalbardområdet svært forurensede (Andersen et al. 2001, 2006; Wolkers et al. 2006), og har for mange forbindelser høyere konsentrasjoner enn hva man finner i for eksempel isbjørn selv om disse hvalene er lavere i næringskjeden.

På grunn av ismåkens sterke tilknytning til drivisen og dens rolle som åtselugl, kan ismåkene akkumulere høye nivåer av miljøgifter, samtidig som de er sårbare for endringer i forekomst og utbredelse av havis (Strøm 2006). Det er også vist at det er en sammenheng mellom tilgjengelig havis, isbjørnens kroppskondisjon og nivå av miljøgifter (Tartu et al. 2017) og at isbjørnens valg av byttedyr er påvirket av utbredelse av havis (Tartu et al. 2016).



Ringselunge som dier (venstre). Mangel på snø til å lage snøhuler gjør i tillegg ungene ekstra utsatt for predasjon. Ismåke som spiser på selkadaver (høyre). Foto: K. Kovacs & C. Lydersen (venstre), NP og NP (høyre).

3.4.5 Plast

Plastforurensing er den mest veldokumenterte miljøforandringen de siste 20-30 år. Det er estimert at omtrent 12,7 millioner tonn plastkøppler havner i havet hvert år (Jambeck et al. 2015). Polhavet fungerer som et endepunkt for plast fra Nord-Atlanteren og særlig Barentshavet synes å være en hotspot for akkumulering av plast (Cozar et al. 2017). I tillegg kan mikroplast oppkonsentreres i havis (Obbard et al. 2014) og frigjøres når denne smelter. Nivå av plast i havis er høyere enn de mest forurensede hvirvelstrømmene (gyrer) i verdenshavene (38 til 234 biter per m³) (Trevail et al. 2015a).

Små, delvis nedbrutte partikler av plast, vanligvis mindre enn 5 mm i diameter, kan bli tatt opp av marine organismer og påvirke både plankton, filtrerende bunndyr, fisk, bardehvaler og sjøfugl, enten direkte eller ved opphopning av plast oppover i næringskjeden. Grønlandshval som filtrerer vannmasser med barden vil for eksempel få i seg dette. Det er også potensielle effekter på hvalross og storkobbe som lever av filtrerende invertebrater som muslinger. Per i dag er det lite informasjon om opptak av mikroplast på lavere trofiske nivå i Arktis. Lenger sør har imidlertid mikroplast hatt negativ effekt på funksjon og helse hos dyreplankton (Cole et al. 2013) og påvirket fødeopptak hos hoppekrepser (Cole et al. 2015). Overflatebeitende arter som for eksempel havhest, krykkje og polarmåke er også sårbare dersom de inntar plast som i neste omgang stopper til mage- og tarmsystemene og til slutt kan føre til død. Av 40 undersøkte havhester fra Svalbard hadde 87,5 % inntatt plast, med et gjennomsnitt av 0,08 gram og 15,3 plastdeler per individ. Plastinntak hos havhester fra Svalbard overgår en grenseverdi, Ecological Quality Objective (EcoQO), som er etablert av OSPAR i europeiske havområder (Trevail et al. 2015b).

Plast kan også ta opp miljøgifter, og plastforurensing kan dermed overføre giftige stoffer til organismene (Cole et al. 2011). I tillegg kan større plast som driver med havstrømmene frakte fremmede arter som sitter fast eller vokser på plastobjektene (Gregory 2009).

Iskantsonen med intens produksjon og høy beiteaktivitet, samtidig som det er et potensielt akkumuleringsområde for mikroplast, gjør at dette området er en mulig hotspot for kanalisering av mikroplast oppover i næringsnettet.

3.4.6 Fiskeri

Mange rekefiskefelt ligger slik til at fisket i perioder av året foregår nær iskantsonen, eller kan foregå i områder som også omfatter iskantsonen deler av året (Figur 16 og 17). Også torskfiske kan foregå her. Fisket flytter seg nord- og østover i takt med at isutbredelsen endres, og omfatter i dag store deler av Barentshavet i kortere eller lengre perioder av året. Bunntåling kan ha skadelige effekter på bentiske samfunn, både direkte og ved endring i sedimentstruktur. Bunnnsamfunnets sårbarhet

overfor tråling (samt annen fysisk påvirkning som ankerkjettinger fra oljeplattformer, boring i havbunnen, med mer) stiger med økt kompleksitet av biologisk habitat, dvs. høyere antall arter, større biomasse av bunndyr og flere individer, men også som en konsekvens av den gjennomsnittlige høyde, vekt, og mobilitet blant artene som utgjør et samfunn. Dette betyr at de mest komplekse bunndyrssamfunn, som samtidig består av de største, mest stillestående og oppreiste artene, er mer sårbare overfor fysisk slitasje enn samfunn hovedsakelig bestående av små, flate og krypende arter. Slik blir sårbarheten overfor tråling i iskantsonen i Barentshavet lav i Høpendypet, men høyere på de grunne bankene og på sidene av bankene i Barentshavet, samt vest for Svalbard (Tabell 7). Endring i bunnsamfunn kan også påvirke fisk som steinbit, hyse og gapeflyndre som beiter på bunnlevende dyr. Gapeflyndre er så sterkt bunntilknyttet at den vil trolig bli mest påvirket.

Tabell 7. Sårbarhet for tråling i iskantsonen.

	Lav sårbarhet	Middels sårbarhet	Høy sårbarhet
Banker i Barentshavet		Delvis dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter	
Høpendypet	Enkle samfunn med små arter		
Vest for Svalbard		Delvis dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter	
Nordvest for Svalbard, inkludert Yermak-platået			Dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter og flere sårbare arter
Nord og øst for Svalbard		Delvis dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter	

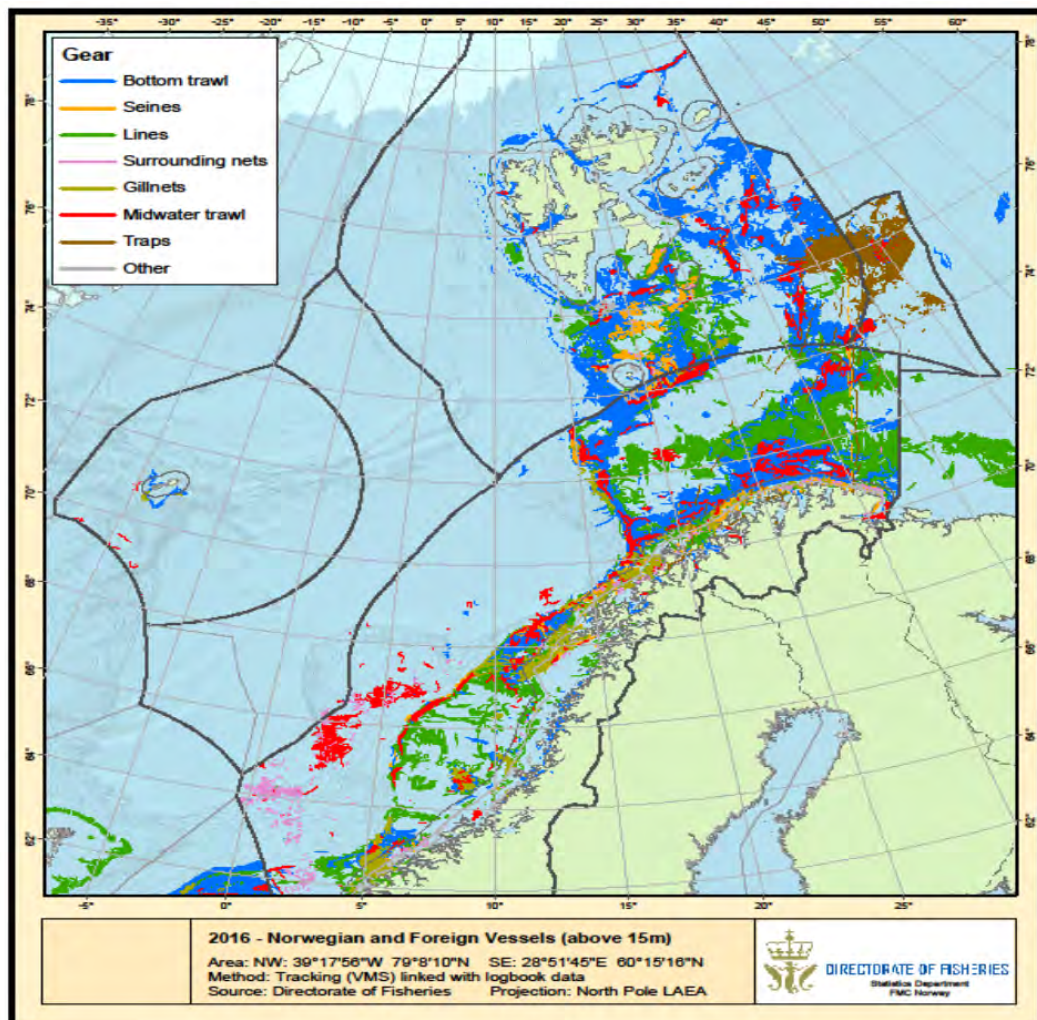
Ungsild, lodde og polartorsk er viktig føde for sjøfugl og marine pattedyr som beiter i iskantsonen. Disse fiskebestandene har store naturlige fluktuasjoner, ofte knyttet til variasjon i rekruttering som følge av klimafluktuasjoner koblet med trofiske interaksjoner. For eksempel har en stor bestand av ungsild konsekvenser for rekrutteringen av lodde (Gjøsæter et al. 2016). Følgelig opptrer sjelden sild og lodde i store mengder samtidig i Barentshavet. Store bestander av torsk og andre fiskespisende fisk kan også ha en negativ innvirkning på lodde og andre fiskebestander lavere i næringskjeden. Sjøfugl i Barentshavet har imidlertid andre alternative pelagiske næringskilder, og da først og fremst tobis i sør og øst, fiskelarver i sør og vest og fettrike dyreplankton i nord. Når flere av disse næringsemnene kolliderer på én gang, kan det imidlertid få fatale konsekvenser for bestandene av sjøfugl (Fauchald et al. 2015).

Både fugler og marine pattedyr kan i tillegg bli påvirket gjennom bifangst.

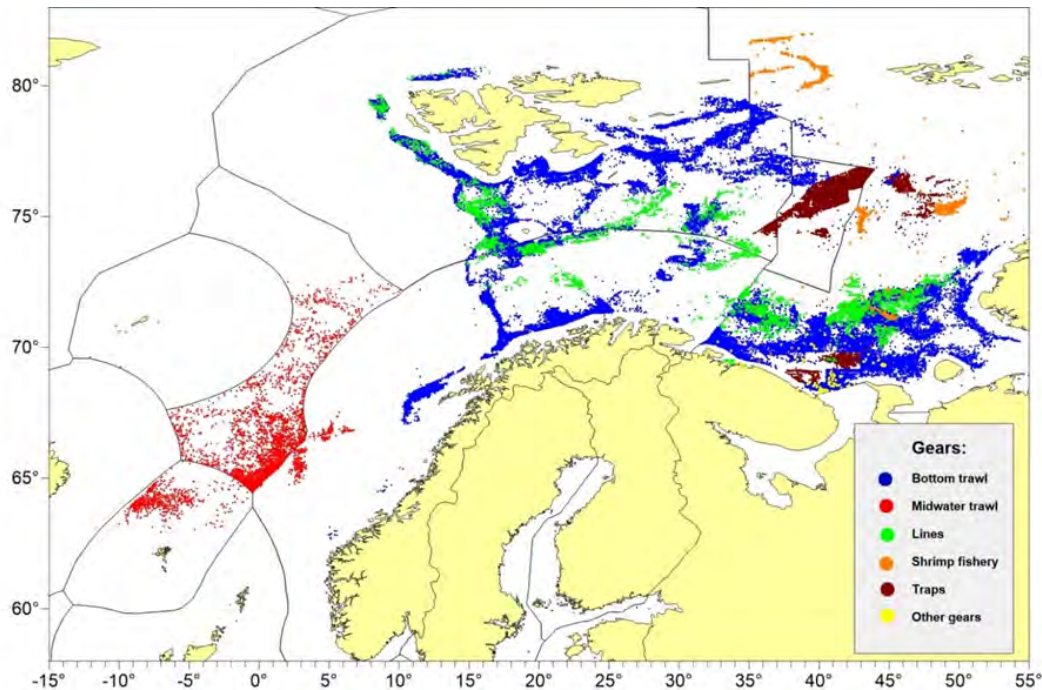
Fiskeriaktivitet kan også påvirke gytebestanden til arter i iskantsonen. Derfor har det i flere tilfeller blitt satt nullkvote (mellom 2004 og 2008, samt fra og med 2016) på kommersielt fiske av lodde i Barentshavet frem til bestanden har tatt seg opp igjen.



Tapte fiskeredskaper kan være en potensiell trussel for marine pattedyr og sjøfugl. Foto: B. Frank.



Figur 16. Lokalisering av norsk og utenlandsk fiskeriaktivitet fra kommersiell flåte (båter større enn 15 meter total lengde) og fiskefartøy brukt i forskningsøyemed i 2016, som rapportert (VMS) til norske myndigheter. VMS-data er koblet med loggbok-data. Kilde: Fiskeridirektoratet.



Figur 17. Lokalisering av russisk og utenlandsk fiskeriaktivitet fra kommersiell flåte og fiskefartøy brukt i forskningsøyemed i 2016, som rapportert (VMS) til russiske myndigheter. VMS-data er koblet med loggbok-data. Kilde: PINRO fiskeristatistikdatabase.

3.4.7 Støy (fra skipstrafikk og seismikk)

Påvirkning fra undersjøisk støy er relatert til en økning av lydeksponering (menneskeskapt) over bakgrunnsnivå (naturlige lyder). Gjennom lyd, trykk og vibrasjoner vil undersjøisk støy påvirke på forskjellig måte avhengig av art. Støypåvirkning er også avhengig av faktorer som lydtrykk, lydstyrke, eksponeringsnivå og frekvens. Fysiske faktorer som dyp og bunntopografi er avgjørende når det gjelder hvor fort lyden blir redusert i vannet. Støy kan påvirke marin fauna ved å føre til hørselstap, ubehag og skade, reaksjon, maskering og deteksjon (Richardson et al. 1995). Det er hovedsakelig fisk og marine pattedyr som blir påvirket av undersjøisk støy.

Arktiske områder er fortsatt betraktet som relativt frie for menneskeskapt støy da isdekket tradisjonelt har forhindret kommersielle aktiviteter i disse områdene. Den største støykilden i iskantsonen er per i dag isen selv (Ahonen et al. 2017), men dette er i ferd med å endre seg og støy fra skip og seismikk er blitt mer og mer vanlig i iskantsonen. En lyttebøye som har vært plassert på en oseanografisk rigg midt i Framstredet mot sokkelen i vest på ca. 79°N og som har stått ute mer eller mindre kontinuerlig siden 2008 i et område som nesten hele året ligger inne i iskantsonen, har registrert lyd fra grønlandshval og narhval nesten året rundt (Stafford et al. 2012; Ahonen et al. 2017), men også støy fra seismikk. Denne støyen er særlig registrert i perioden april til september, men også i mindre grad om vinteren (Moore et al. 2012; Ahonen et al. 2017). Økende støy fra menneskelig aktivitet vil kunne ha effekter på sel- og hvalartene som oppholder seg i iskantsonen, da alle bruker lyd i en eller annen form til å kommunisere, navigere eller finne mat. Også svømmeaktiviteten hos flere fiskearter har for eksempel blitt påvist å ha økt rundt seismikkområder, noe som kan være dyrenes stressreaksjoner på støyen (se artikler i Popper & Hawkins 2012).

Det er også økende cruiseturisme i iskantsonen, samt at det foregår noe fiskeri og hvalfangst i området. Disse aktivitetene har per i dag relativt lite omfang. Generelt vil menneskeskapt støy kunne maskere disse dyrenes evne til å finne mat, orientere seg og kommunisere (Kvadsheim et al. 2017). Kraftige lydimpulser fra f. eks. seismikk vil potensielt kunne påføre dyrene direkte skade og atferdsendringer (Kvadsheim et al. 2017). Vi vet lite om langtidseffekter av menneskeskapt støy på disse marine pattedyrene.

3.4.8 Oljeutslipp (fra skipstrafikk og petroleumsvirksomhet)

Fiskerier og skipstrafikk (cruise- og ekspedisjonsfartøy, lasteskip og forskningsfartøy), i tillegg til petroleumsvirksomhet, er de viktigste aktivitetene som foregår i Barentshavet i dag. Det er cruisetrafikken som har økt mest de siste årene. I motsetning til forurensing fra petroleumsvirksomhet, er skipstrafikk mindre stedbunden, og en eventuell hendelse med akutt utslipp kan skje hvor som helst. Eventuelle havari av fiskebåter, laste- og cruiseskip vil kunne få lokale konsekvenser dersom dette medfører oljeutslipp. Også akutt oljeutslipp lenger sør vil kunne få direkte konsekvenser på beitende sjøfugl og sjøpattedyr dersom oljeutslipp driver nordover til isfylte farvann. Olje som havner under isen har heller ikke mulighet til å fordampe, og enkelte komponenter vil i stedet løses opp og bli til giftige komponenter. Oljen kan også fryses inn i selve isen og transporteres gjennom isen i saltkanaler. Påvirkninger fra skipstrafikk og petroleumsvirksomhet er imidlertid foreløpig antatt å være små.



Cruiseturisme øker i iskantsonen. Ved et eventuelt uhell kan olje på undersiden av isen transporteres opp til isens overflate via saltkanaler. Foto: B. Frantzen, NP (venstre) og B. Gulliksen, UiT (høyre).

Olje er en blanding av flere organiske stoffer med forskjellige fysiologiske, kjemiske og toksikologiske egenskaper. Disse kan føre med seg ulike effekter på forskjellige organismer, og toksisiteten vil også avhenge av sammensetningen av selve oljen, eksponeringstid, -mengde og -måte (inhalering, svelging, opptak via gjeller, hud eller fjær), samt hver enkelt organismes biologiske forutsetninger. Størsteparten av komponentene i olje er hydrokarboner. Ettersom de fleste hydrokarbonene fra olje er lipofile, vil olje som inntas bli oppløst og lagret i organismenes fett. Mange dyr som er assosiert med iskantsonen lagrer fett for å klare seg gjennom vinteren og er følgelig spesielt utsatte for oljesøl.

Istilknyttede samfunn vil kunne påvirkes av oljesøl og dermed påvirkes indirekte næringsgrunnlaget for beitende organismer. Konsekvensen vil avhenge av omfang, type utslipp og årstid. Negativ påvirkning vil i dette området kunne ha enda større effekt enn lenger sør siden produksjon av plante- og dyreplankton foregår konsentrert i de øvre vannlag og ved lave temperaturer. Utslipp i iskantsonen kan få betydelige konsekvenser, da det er stor sannsynlighet for at flere arter rammes samtidig.

Rusten (2014) og Havmiljø.no har gjort vurderinger av sårbarhet for forskjellige aspekter ved petroleumsvirksomhet, i hovedsak for marine pattedyr og sjøfugl (Tabell 8). Olje kan påvirke i form av ytre skader på fjærdrakt og pels eller føre til gifteffekter og skader på organer ved inntak. Sårbarheten for slike effekter av olje avhenger av type olje, men varierer også mellom dyregruppe, livsstadium og årstid: tidlige stadier av de fleste artsgrupper er generelt mer sårbare enn fullvoksne individer, men noen effekter – for eksempel opphopning av miljøgifter – blir større med alderen (se under og kapittel 4.3.2 for flere detaljer).

Tabell 8. Evaluering av sårbarhet for sjøfugl og sjøpattedyr som kan forekomme i iskantsonen. Verdien er basert på den fysiske sårbarheten, samt adferdsfaktorer som også kan påvirke sårbarheten for giftige og andre effekter av olje. Sårbarhetsverdi 1 er laveste, 3 høyeste verdi. Verdien kan også bli «0», dersom ressursen enten ikke er tilstede den måneden, eller at oljeeksponering er høyst usannsynlig. Verdien er gitt på grunnlag av individuell fysiologisk sårbarhet for oljeforurensning. I tillegg spiller også sårbarhetsfaktorer på populasjonsnivå, som for eksempel sjeldenhet, adferdsmønstre som gjør det mindre sannsynlig at populasjonen blir utsatt for oljeforurensning, eller hvorvidt populasjonen vil bruke lang tid på å gjenoppbygge seg. Fra: Rusten (2014).

	Jan	Feb	Mars	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Ismåke	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Polarlomvi	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Alkekonge	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Krykkje	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Polarmåke	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2
Havhest	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Isbjørn	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Hvalross	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ringsel	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2
Klappmyss	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
Grønlandssel Østlig iskantpop.	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
Grønlandssel Vestlig iskantpop.	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Storkobbe	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
Steinkobbe	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2
Grønlandshval	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Hvitthval	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Narhval	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Spekkhogger	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Knølhval	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Vågehval	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Blåhval	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Finnhval	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Spermhval				1	1	1	1	1	1	1		

Larve- og eggstadier hos enkelte fiske- og fuglearter er også svært utsatte for gifteffekter fra olje. Dette er fordi individer i disse stadiene gjennomgår komplekse fysiologiske og biokjemiske forandringer som er svært sårbare for mange kjemikalier. Oljepåvirkning i disse stadiene kan blant annet føre til redusert vekst eller død.

I Havmiljø.no konkluderes det med at sjøfugl i iskantsonen er mest sårbar i april – oktober. Noen sjøfuglgrupper er imidlertid mer sårbare over lenger tid enn andre. Sjøfugl som dykker etter mat (for eksempel alkekonge og polarlomvi) tilbringer store deler av livet på havoverflaten, med unntak av under storskala migrasjoner og hekking, og derfor mer sårbare gjennom alle årets måneder enn overflatebeitende sjøfugl (for eksempel havhest, krykkje, ismåke og polarmåke) som i større grad flyr eller svever over overflaten for å finne mat og til forskjell fra dykkende arter, oftest bruker enten land

eller havis til å hvile seg på (Rusten 2014). Hekkeperioden regnes som sårbar for alle fugler. Den største faren for fugl i kontakt med oljesøl er forurensning av fjærdrakten, som fører til tap av termoregulerende egenskaper og flyteeenskaper.

Hval er avhengige av å komme opp til vannoverflaten for å puste og derfor særlig usatt for oljesøl på havoverflaten. De kan inhalere lettflyktige petroleumsforbindelser og/eller bli mer eller mindre dekket av olje slik at svømmeegenskapene påvirkes (Schwacke et al. 2013). Bardehvaler, for eksempel grønlandshval, vil i tillegg være spesielt utsatte for oljesøl, da olje vil skade bardene og dermed filtreringsegenskapene til disse, i tillegg til at olje kan bli svelget sammen med maten.

Isbjørnen er det eneste marine pattedyret i Arktis som er avhengig av pels for isolasjon hele livet. I tillegg gjelder dette for kvitunger av ringsel og grønlandssel. Oljesøl på pelsen reduserer pelsens isolasjonskapasitet og fører til energitap som følge av økt metabolisme for å holde varmen (Hurst & Øritsland 1982; Hurst et al. 1991). Voksne seler er ikke like avhengige av pelsens isolasjon som isbjørnen, og er i større grad utsatt for gifteffekter av oljeutslipp. Eldre sel kan for eksempel få øyeinfeksjoner (St. Aubin 1988). Dette betyr at av pattedyrene anses isbjørn som ekstremt sårbar hele året, mens hval er gjennomgående noe sårbar, men dette er også artsavhengig.

Det trenges mer data for å avgjøre mengden av oljeassosierte gifter som får dødelige konsekvenser for isfauna på lavere trofiske nivå, som for eksempel *Gammarus wilkitzkii* og *Apherusa glacialis* samt polartorsk (Rusten 2014).

3.5 Fremtidige endringer av iskantsonens utbredelse og fysiske egenskaper, og økologiske implikasjoner som følge av dette

Under følger en oppsummering av fremtidige endringer som forventes i områder som i dag har iskantsone i hele eller deler av året.

En reduksjon i isutbredelse og endring i istype forventes å fortsette i takt med et varmere klima (Kapittel 4.4.1). Modellresultater viser at Barentshavet om vinteren generelt er preget av en oppvarming på rundt en grad frem mot 2060, og enda mer i den nordøstlige delen. Om sommeren er temperaturøkningene noe mindre og den største økningen på 1-1,5 grader finner sted i den nordligste halvparten av Barentshavet, mens den i sør ligger på rundt 0,5 grader.

Modellresultater viser en iskonsentrasjon som er noe større rundt nordspissen av Novaya Semlya frem mot midten av 2030-årene, mens den ellers er noe redusert i den nordlige delen av Barentshavet (Kapittel 4.4.1). For perioden 2060-2069 ser man ingen slik økning i konsentrasjonen, men derimot en relativt sterk reduksjon mellom Franz Josef Land og Novaya Semlya, og en noe svakere reduksjon i hele den nordlige og østlige randen av Barentshavet. Utviklingen i istykkelse viser et tilsvarende mønster.

«Atlantifisering» vil fortsette i havområdene rundt Svalbard og Barentshavet for øvrig, og det er forventet ytterligere «atlantifisering» i øst som er minst påvirket i dag (Polyakov et al. 2017).

3.5.1 Endringer i økosystemers struktur og funksjon

Mer årsis i forhold til flerårsis vil føre til issamfunn med mindre kompleks struktur (Olsen et al. 2017), og samfunn med arter som kun er avhengig av isen i deler av sin livssyklus, og arter som kan kolonisere isen hvert år vil favoriseres fremfor arter som er avhengig av isen i hele sin livssyklus.

Skrugarder vil få økt betydning for istilknyttet fauna i det nye årsisregimet i iskantsonen i nordlig del av Barentshavet (Hop et al. 2000).

Iskantsonen vil strekke seg lenger nord, og planteplankton vil øke primærproduksjonen nord for iskantsonen så lenge det er tilstrekkelig med lys og næringssalter (Wassmann & Reigstad 2011). Det er sannsynlig at planteplanktonoppblomstringer under is vil bli vanligere og mer utbredt med tynnere, mer dynamisk is (Assmy et al. 2017; figur 18). Isalgenes relative bidrag til primærproduksjonen vil minke (Duarte et al. 2017).

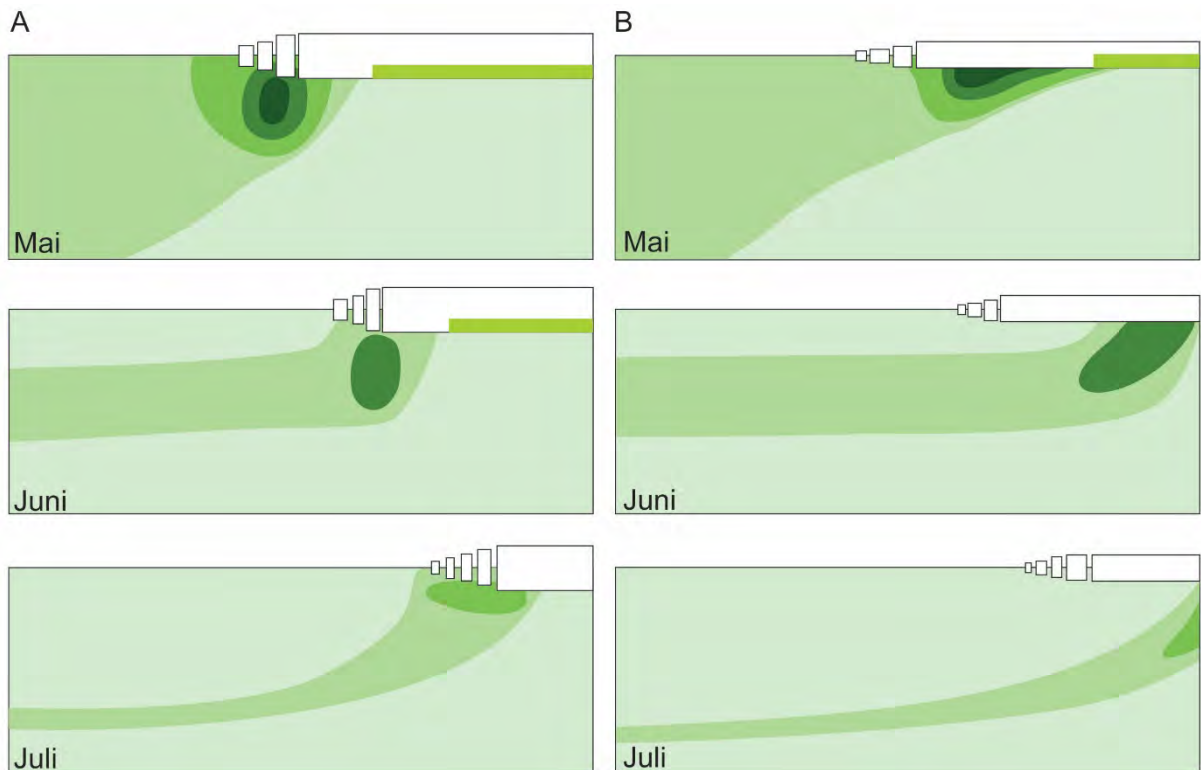


Med tynnere, mer dynamisk is (venstre) er det sannsynlig at planteplanktonoppblomstringer (høyre) under is vil bli vanligere og mer utbredt. Foto: J. Aars (venstre) og P. Assmy (høyre), NP.

En oppblomstring av planteplankton kan bli vanligere om høsten sør for iskantsonen enn hva tilfelle er i dag, blant annet på grunn av senere tilfrysing (Ardyna et al. 2014).

Videre forventes det at en oppvarming av vannmassene vil favorisere planteplankton av mindre størrelse, som igjen vil styrke det mikrobielle næringsnettet (og den regenererte produksjonen) og dermed redusere den vertikale eksporten av karbon til havbunn (Reigstad et al. 2011).

Planteplankton- og isalgeoppblomstringer vil starte tidligere enn i dag (Leu et al. 2011; Ji et al. 2013) og sannsynligheten for redusert reproduksjonssuksess for arter som har innrettet sin livssyklus i forhold til dagens algeoppblomstring (isalger og planteplankton) øker (Søreide et al. 2010).



Figur 18. Utvikling av våroppblomstringen i iskantsonen i dag (A) og mulig fremtidig utvikling med tynnere havis (B). Modifisert fra Barber et al. (2015). Ill.: M. Daase.

Modellresultater antyder en mulig økning av dyreplanktonets sekundærproduksjon i Polhavet og på eurasiatiske sokkelområder, men minking i andre områder (Barentshavet), avhengig av blant annet fremtidige endringer i lufttemperaturen (Slagstad et al. (2011).

Endrede isforhold påvirker den bentisk-pelagiske koblingen i iskantsonen, noe som kan få integrerte effekter i hele økosystemet og resultatet kan bli et økosystem med andre arter som er mer avhengige av pelagisk produksjon sammenlignet med hva som er tilfelle i dag (Carroll & Carroll (2003); figur 14). Disse områdenes rolle som karbonlager vil følgelig også bli påvirket.

Bentiske arter som kan tilpasse seg en endring i kvalitet og kvantitet av føde fra havisen vil favoriseres (Sun et al. 2009) og arktiske bunnsamfunn vil bli mer likt samfunn i atlantehavsvann (Wassmann et al. 2011).

Temperaturøkning vil kunne føre til at mer boreale bentiske arter sprer seg nord- og østover og mer arktiske samfunn «tynnes» ut med arter som er bedre tilpasset «atlantiske» isfrie områder. Dvs. at bunnsamfunn som dekker havbunn med årlig isdekke vil over tid «borealiseres» og bli mer tilpasset et miljø uten effekter fra iskantsonen (Jørgensen et al. 2015).

En ytterligere flytting nordover av iskantsonen vil kunne føre til at blant annet blåveite blir en viktigere art i iskantsonen enn den er i dag, men blåveites oppvekstområdet kan neppe strekke seg stort lenger nordover enn i dag. Uer er mindre bunntilknyttet og vil kunne flytte seg inn i Polhavet. Lodda kan utvide utbredelsen nordover dersom produksjonen og dermed mattilgangen er tilstrekkelig i nordlige områder. For en såpass liten fisk som lodde vil imidlertid avstanden til gyteområdene være mer begrensende enn for større fisk som for eksempel torsk, med mindre gyteområdene også flytter seg nordover, for eksempel til øyene i Barentshavet.

De store pelagiske og planktonspisende fiskebestandene som i dag finnes sør for iskantsonen (ungsild, ung kolmule, eventuelt også makrell dersom den vandrer inn i Barentshavet) vil trolig fortsette å være sør for iskantsonen på grunn av temperaturpreferansene.

Økte hav- (og luft-) temperaturer bringer med seg nye byttedyrarter og kan potensielt føre til en reduksjon eller tap av de svært lipidrike byttedyrartene som i dag danner grunnlaget for arktiske økosystemer (Kovacs & Lydersen 2008; Kovacs et al. 2011). På lang sikt kan imidlertid bortfall av byttedyr som følge av økt temperatur i noen grad oppveies av at nye, sørlige arter kommer inn som erstatning, men det er grunn til å forvente betydelige endring i for eksempel sjøfuglsamfunnene. Jo raskere endringene er, jo større problemer vil sjøfuglene ha med å tilpasse seg.

Det er mulig at isen reduseres så raskt at den om ganske få år ikke lenger kan utnyttes som næringsområde for sjøfugl om sommeren. Dette vil føre til kraftig bestandsnedgang for enkelte arter, for eksempel ismåke (Anker-Nilssen & Strøm 2010).

Ettersom det blir varmere i Arktis vil de stedege marine pattedyrartene utsettes for ekstreme endringer i sine leveområder. Dersom vinterisen trekker seg nord for sokkelen vil det være for dypt til at istilknyttede arter kan beite på bunndyr. Hvalrossmødrene vil for eksempel ikke kunne finne mat i den perioden de yngler og sannsynligheten for at de vil måtte yngle på land, hvor det kan være større sjanse for ungene å bli knust når det er uro i flokkene, øker (Jay et al. 2011). Ringsel vil oppleve økte energikostnader forbundet med matsøk og til slutt vil avstanden til land bli så lang at det ikke er energimessig lønnsomt å vandre så langt (Freitas et al. 2008b), noe som igjen vil kunne få konsekvenser for isbjørn. Isbjørn vil i tillegg kunne få problemer med å nå yngelområder på land.

Isens beskyttende effekt for flere marine pattedyr med hensyn til predasjon fra spekkhoggere, for eksempel grønlandssel, vil kunne bli redusert eller falle bort (Ferguson et al. 2010).

Prognoser viser en forventet reduksjon på 0,45 av pH-verdien i norske havområder i løpet av dette århundret (Steinacher et al. 2009). Overflatevannet i Polhavet, som har lav temperatur og høye naturlige konsentrasjoner av ikke-organisk karbon, er ventet å bli undermettet med hensyn til aragonitt innen få tiår (Hansen-Bauer et al. 2015). Det er vanskelig å spå effekten av en slik havforsuring, men flere arter som er utsatte er sentrale arter (for eksempel *Limacina helicina*) i de marine økosystemene, slik at effekter på en art kan få konsekvenser for større deler av økosystemet (Karnovsky et al. 2008).

Økt forekomst av miljøgifter i iskantsonen, for eksempel gjennom smelting og økt avrenning fra fastlandselver, vil kunne være alvorlig for arter som allerede har høye nivåer av miljøgifter som tannhvaler, ismåke og polarmåke.

3.5.2 Endret aktivitet

Særlig i et område nord for Kong Karls Land, utenfor territorialfarvannene og nordover mot Kvitøya er det forventet økt fiskeaktivitet (Fiskeridirektoratet, pers. medd.). Så langt har det vært lite fiske i dette området på grunn av havis.

Det er en økning i ekspedisjonscruise til iskantsonen som muligens vil fortsette å utvikle seg, men de større oversjøiske cruisebåtene til Svalbard seiler nå kun til Isfjorden (dvs. i isfrie områder), grunnet innføring av tungoljeforbud.

3.5.3 Samvirkende effekter, eksempler

Et økosystem vil bli utsatt for ulike typer av påvirkninger samtidig, noe som gjør det ytterligere komplisert å forutse økologiske implikasjoner som følge av fremtidige endringer i iskantsonen. Klimaoppvarming fører til at havet varmes opp, isen trekker seg tilbake og kommersielle fiskearter kan trekke enda lengre nordover. Det betyr at fiskeflåten kan bruke bunntål i et større område. Studier viser at arter som oppholder seg i ytterkanten av sitt toleranseområde reagerer sterkere på miljøendringer når de allerede er påvirket av andre faktorer (Hewitt et al. 2016). Når bunnsamfunn opplever flere stressfaktorer samtidig (for eksempel både oppvarming og tråling) kan biodiversitet og struktur endres (Doney et al. 2012) med følgende tap av arter. Dette kan forårsake redusert motstandsdyktighet (resilience) (Hughes et al. 2003). Havbunnen langs den tilbaketrekkende iskantsonen opplever press både fra oppvarming og tråling i områder som tidligere var utilgjengelige på grunn av isdekke. Dette gjelder for eksempel øst og nord for Svalbard og ute på Yermak-platået nordvest for Svalbard. Påvirkning av bunnsamfunn i disse områdene kan ytterligere forsterkes hvis nye predatorer (for eksempel snøkrabbe) sprer seg inn i disse nye områder, med effekt på biodiversitet og funksjon til et allerede stresset bunndyrssamfunn.



Den første snøkrabben som ble funnet i 2011 i Svalbardområdet. Foto: C.H. von Quillfeldt, NP.

Sjøfuglene er i dag under press fra flere menneskeskapte faktorer. Endringer i klimaet, med påfølgende endringer i sjøfuglenes næringsgrunnlag og habitat, vil utgjøre en ytterligere stressfaktor for mange arter. Disse faktorene vil ofte ha større effekt når de virker sammen enn enkeltvis. Et beskrivende eksempel er miljøgifter, hvor bestander som opplever gode miljøforhold i liten grad påvirkes av selv høye nivåer, mens i perioder med dårlig næringstilgang tærer fuglene på fettlagrene og miljøgiftene frigjøres fra kroppsfett til blod. De fysiologiske effektene av de frigjorte miljøgiftene kan bidra til redusert hekkesuksess og overlevelse, med påfølgende bestandsnedgang.

Konkurransen fra sørligere arter samt eksponering for nye sykdommer og parasitter vil potensielt kunne være et problem for de stedegne hvalartene. Hvis utslipp av ulike forurensningsstoffer øker som følge av klimaendringer lenger sør og disse når iskantsonen, vil dette være alvorlig for eksempel narhval og hvithval som allerede har ekstremt høye konsentrasjoner av ulike forurensningsstoffer (Andersen et al. 2001, 2006; Wolkers et al. 2006).

3.6 Kunnskaps- og overvåkingsbehov



Forskningsaktivitet i ulike deler av iskantsonen og til ulik tid på året. Foto: C. H. von Quillfeldt, NP (venstre, øverst; midten, nederst; høyre), P. Leopold, UiT (venstre, nederst) og P. Assmy, NP (midten, øverst).

Under følger en kort oppsummering av overordnede kunnskaps- og overvåkingsbehov hvor målsettingen er økt forståelse av økosystemenes struktur og funksjon i iskantsonen, samt å få bedre grunnlag for å vurdere sårbarhet overfor ulike typer av påvirkning. For enkelte istilknyttede arter betyr det også innsats i områder utenfor iskantsonen. Kapittel 4 har flere detaljer om kunnskaps- og overvåkingsbehov på de enkelte trofiske nivåene.

Kunnskapsbehov

- Det er behov for mer kunnskap om hvordan koblingen mellom atmosfære, is og hav styrer variasjoner i iskantsonens utbredelse, og dens fysiske egenskaper gjennom året og mellom år. Økt kunnskap vil kunne gi mer presise fremtidsscenarioer.
- Generell datamangel gjør det problematisk å estimere primær- og sekundærproduksjon i iskantsonen og følgelig økosystemets bærekraft for høyere trofiske nivå, inkl. hvordan dette vil kunne bli påvirket av globale endringer. I tillegg er det teknologiske utfordringer når det gjelder å få gode estimater av primærproduksjon under havis. Videre vet man for lite om primær- og sekundærproduksjonen langs sokkelkanten, og betydningen av at havisen reduseres i disse områdene.
- Det er behov for bedre kunnskap om hvor ulike arter oppholder seg til ulik tid i iskantsonen, både på isen og i tilhørende vannmasser, inkl. hva som styrer habitatbruk og utbredelse. Videre trengs det kunnskap om betydningen av iskantsonen som habitat i forhold til andre

habitat for de artene som ikke har tilhold i iskantsonen hele tiden. Dette vil blant annet bidra til økt forståelse av iskantsonens betydning for bestandsutvikling og demografi hos de aktuelle artene.

- For mange av de istilknyttede artene er det behov for mer kunnskap om hvordan diett varierer gjennom året og mellom år, hva som regulerer vekst, reproduksjon, overlevelse og til slutt bestandsstørrelse. Det er behov for oppdaterte bestandsestimater for flere av artene. Samlet vil dette styrke dagens sårbarhetsvurderinger.
- Omfang og konsekvenser av endret næringsnett, i form av nye arter, endrede konkurranseforhold, mulige sykdomsbærere og parasitter osv. i iskantsonen er utilstrekkelig kjent, noe som gjør det utfordrende å forutsi fremtidige effekter av blant annet klimaendringer.
- Det er begrenset kunnskap om den direkte koblingen mellom megabenthos og iskantsonen, og iskantsonens betydning for bunndyrene gjennom året. Derfor er det også problematisk å kvantifisere endringer i bentisk biomasse og artssammensetning som følge av endrete isforhold.
- Det er behov for bedre kunnskap om skadelige stoffers egenskaper og spredningsveier i miljø, inkl. havis, og biota. Særlig nye kommersielle kjemikalier/stoffer er utfordrende i denne sammenheng. I tillegg er samvirkende effekter på biota av ulike stoffer og /eller andre påvirkninger som klimaendringer og havforsuring en utfordring. Videre er det så godt som ingen kunnskap om effekt av mikroplast på lavere trofiske nivå og eventuelle integrerte effekter i økosystemet.

Modeller

- Det er fortsatt behov for å videreutvikle modeller for å få økt forståelse av økosystemprosesser, noe som blant annet vil være nyttig ved vurdering av fremtidig utvikling og effekter av ulike typer av påvirkning.

Teknologi

- Teknologit utvikling, styrket akustisk overvåking, økt bruk av ulike sporingsteknikker, fjernmåling og fjernstyrte farkoster bør få økt prioritet i kunnskapsinnhenting og overvåking, blant annet fordi iskantsonen har logistiske utfordringer som åpne havområder ikke har.

Overvåking

- Artssammensetning på lavere trofiske nivå bør inngå i overvåkingen i større grad enn i dag med tanke på betydningen dette har for trofiske interaksjoner.
- Økosystemkomponenter og prosesser i iskantsonen må overvåkes gjennom året og mellom år for å kunne skille mellom naturlige variasjoner og effekter av menneskeskapte påvirkninger, særlig klimaendringer.
- Dagens tidsserier på bestandsstørrelse og habitatbruk bør opprettholdes, i tillegg til å starte nye tidsserier for utvalgte arter. Dette vil gi bedre innsikt i hvor og når istilknyttede arter benytter ulike deler av iskantsonen gjennom året, samt bidra til bedre forståelse av hvordan ulike arter responderer på endringer i isforholdene.

3.7 Referanser

- Aars J. 2013. Variation in detection probability of polar bear maternity dens. *Polar Biology* 36, 1089-1096.
- Aars J., Marques T.A, Lone K., Anderson M., Wiig Ø., Fløystad I.M.B., Hagen S.B. & Buckland S.T. 2017. The number and distribution of polar bears in the western Barents Sea. *Polar Research* 36 (1), 1374125.
- Aars J. & Plumb A. 2010. Polar bear cubs may reduce chilling from icy water by sitting on mother's back. *Polar Biology* 33, 557-559.
- Ahonen H., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2017. The soundscape where Spitsbergen's critically endangered bowhead whales breed. *Research notes - Fram Forum* 2017, 72-75.
- Ambrose W.G., von Quillfeldt C.H., Clough L.M., Tilney P.V.R. & Tucker T. 2005. The sub-ice algal community in the Chukchi sea: large- and small-scale patterns of abundance based on images from a remotely operated vehicle. *Polar Biology* 28, 784-795, doi:10.1007/s00300-005-0002-8
- Andersen G., Foreid S., Skaare J.U., Jenssen B.M., Lydersen C. & Kovacs, K.M. 2006. Levels of toxaphene congeners in white whales (*Delphinapterus leucas*) from Svalbard, Norway. *Sci. Total Environ.* 357, 128-137.
- Andersen G., Kovacs K.M., Lydersen C., Skaare J.U., Gjertz I. & Jenssen B.M. 2001. Concentrations and patterns of organochlorine contaminants in white whales (*Delphinapterus leucas*) from Svalbard, Norway. *Sci. Total Environ.* 264, 267-281.
- Anker-Nilssen T. & Strøm H. 2010. Nytt klima for sjøfugl. *Ottar* 283, 73-81.
- Ardyna M., Babin M., Gosselin M., Devred E., Rainville L. & Tremblay J.-É. 2014. Recent Arctic Ocean sea ice loss triggers novel fall phytoplankton blooms. *Geophys. Res. Lett.* 41, 6207–6212, doi:10.1002/2014GL061047
- Arendt C.E, Gulliksen B., Lønne O.J. & Berge J. (2009) Ice fauna. Pp. 303-322 in in Sakshaug E., Johnsen G. & Kovacs K. (eds.) *Ecosystem Barents Sea*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Arneberg P. & Jelmert A. 2017 (eds.). Status for miljøet i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten og Vesterålen – rapport fra Overvåkingsgruppen 2017. *Fisken og havet, særnr.* 1b-2017.
- Arrigo K.R., Perovich D.K., Pickart R.S., Brown Z.W., van Dijken G.L., Lowry K.E., Mills M.M., Palmer M.A., Balch W.M., Bahr F., Bates N.R., Benitez-Nelson C., Bowler B., Brownlee E., Ehn J.K., Frey K.E., Garley R., Laney S.R., Lubelczy, L., Mathis J., Matsuoka A., Mitchell B.G., Moore G.W.K., Ortega-Retuerta E., Pal S., Polashenski C.M., Reynolds R.A., Schieber B., Sosik H.M., Stephens M. & Swift J.H. 2012. Massive Phytoplankton Blooms Under Arctic Sea Ice. *Science* 336(6087), 1408-1408.
- Assmy P., Fernández-Méndez M, Duarte P., Meyer A., Randelhoff A., Mundy C.J., Olsen L.M., Kauko H.M., Bailey A., Chierici M., Cohen L., Doulgeris A.P., Ehn J.K., Fransson A., Gerland S., Hop H., Hudson S.R., Hughes N., Itkin P., Johnsen G., King J.A., Koch, B.P., Koenig Z., Kwasniewski S., Laney S.R., Nicolaus M., Pavlov A.K., Polashenski C.M., Provost C., Rösel A., Sandbu M., Spreen G., Smedsrud L.H., Sundfjord A., Taskjelle T., Tatarek A., Wiktor J., Wagner P.M., Wold A, Steen H. & Granskog, M.A. 2017. Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. *Sci. Rep.* 7, 40850, doi:10.1038/srep40850
- Bailey A., Thor P., Browman H.I., Fields D.M., Runge J., Vermont A., Bjelland R., Thompson C., Shema S., Durif C.M.F. & Hop H. 2016. Early life stages of the Arctic copepod *Calanus glacialis* are unaffected by increased seawater pCO₂. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsw066
- Barber D.G., Hop H., Mundy C.J., Else B., Dmitrenko I.A., Tremblay J.-E., Ehn J.K., Assmy P., Daase M., Candlish L.M. & Rysgaard S. 2015. Selected physical, biological and biogeochemical implications of a rapidly changing Arctic Marginal Sea Ice Zone. *Progress in Oceanography* 139, 122-150.
- Bintanja R. & Selten F.M. 2014. Future increases in Arctic precipitation linked to local evaporation and sea-ice retreat. *Nature* 509(7501), 479-482.

- Blanchet M.-A., Lydersen C., Ims R.A. & Kovacs K.M. 2015. Seasonal, oceanographic and atmospheric drivers of diving behaviour in a temperate seal species living in the high Arctic. *PLoS ONE* 10, 1-28.
- Blanchet M.-A., Lydersen C., Ims R.A., Lowther A.D. & Kovacs K.M. 2014. Harbour seal *Phoca vitulina* movement patterns in the high-Arctic archipelago of Svalbard, Norway. *Aquat. Biol.* 21, 167-181.
- Bluhm B.A., Swadling K. & Gradinger R. 2017. Chapter 16: Sea ice as habitat for macrograzers. Pp. 394-414 in Thomas D.N. (ed.). *Sea ice 3rd edition*, Wiley Blackwell.
- Carroll M.L. & Ambrose, W.G. (2012) Benthic infaunal community variability on the northern Svalbard shelf. *Polar Biology* 35, 1259-1272.
- Carroll M.L. & Carroll J. 2003. The Arctic Seas. Pp. 127-156 in Black K. & Shimmield G. (eds.) *Biogeochemistry of Marine Systems*, Blackwell Publ Ltd, Oxford.
- Christiansen J.S. 2012. The TUNU programme: Euro-Arctic marine fishes – diversity and adaptation. Pp. 35-50 in Verde C & di Prisco G (eds.) *Adaptation and evolution in marine environments: from pole to pole*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Christiansen J.S. & Reist J.D. 2013. Fishes. Pp. 192-245 in Meltofte H. (ed.) *Arctic biodiversity assessment. Status and trends in Arctic biodiversity*, Narayana Press, Denmark.
- Cochrane S.K.J., Denisenko S.G., Renaud P.E., Emblow C.S., Ambrose Jr. W.G., Ellingsen I.H. & Skarðhamar J. 2009. Benthic macrofauna and productivity regimes in the Barents Sea — Ecological implications in a changing Arctic. *Journal of Sea Research* 61, 222-233.
- Cochrane S., Pearson T.H., Greenacre M., Costelloe J., Ellingsen I.H., Dahle S. & Gulliksen B. 2012. Benthic fauna and functional traits along a Polar Front transect in the Barents Sea – advancing tools for ecosystem-scale assessments. *Journal of Marine Systems* 94, 204-217.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C. & Galloway T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin* 62(12), 2588-2597.
- Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., Goodhead R., Moger, J. & Galloway T.S. 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology* 47, 6646–6655.
- Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C. & Galloway T.S. 2015. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science & Technology* 49, 1130–1137.
- Cozar A., Marti E., Duarte C.M., Garcia-de-Lomas J., van Sebille E., Ballatore T.J., Eguiluz V.M., Gonzalez-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarria F., Trouble R. & Irigoien X. 2017. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the thermohaline circulation. *Science Advances* 3, e1600582
- Dalpadado P., Ellertsen B. & Johannessen S. 2008b. Inter-specific variations in distribution, abundance and reproduction strategies of krill and amphipods in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea. *Deep-Sea Research Part II* 55, 2257-2265.
- Dalpadado P., Hop H., Rønning J., Pavlov V., Sperfeld E., Buchholz F., Rey A. & Wold A. 2016. Distribution and abundance of euphausiids and pelagic amphipods in Kongsfjorden, Isfjorden and Rijpfjorden (Svalbard) and changes in their relative importance as key prey in a warming marine ecosystem. *Polar Biology* 39, 1765–1784.
- Dalpadado P., Yamaguchi A., Ellertsen B. & Johannessen S. 2008a. Trophic interactions of macro-zooplankton (krill and amphipods) in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea. *Deep-Sea Research Part II* 55, 2266-2274.
- Degen R., Jørgensen L.L., Ljubin P., Ellingsen I.H., Pehlke H. & Brey T. 2016. Patterns and drivers of megabenthic secondary production on the Barents Sea shelf. *Marine Ecology Progress Series* 546, 1-16.

- Degerlund M. & Eilertsen C.H. 2010. Main Species Characteristics of Phytoplankton Spring Blooms in NE Atlantic and Arctic Waters (68-80A degrees N). *Estuaries and Coasts* 33(2), 242-269.
- Derocher A.E., Andersen M., Wiig Ø., Aars J., Hansen E. & Biuw M. 2011. Sea ice and polar bear den ecology at Hopen Island, Svalbard. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 441, 273–279.
- Doney S.C., Ruckelshaus M., Duffy J.E., Barry J.P., Chan F., English C.A., Galindo H.M., Grebmeier J.M., Hollowed A.B., Knowlton N., Polovina J., Rabalais N.N., Sydeman W.J. & Talley L.D. 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4, 11-37.
- Duarte P., Meyer A., Olsen L.M., Kauko H.M., Assmy P., Rösel A., Itkin P., Hudson S.R., Granskog M.A., Gerland S., Sundfjord A., Steen H., Hop H., Cohen L., Peterson A.K., Jeffery N., Elliot S.M., Hunke E.C. & Turner A.K. 2017. Sea-ice thermodynamics and biogeochemistry in the Arctic Ocean: empirical and model results. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2016JG003660
- Durner G.M., Whiteman J.P., Harlow H.J., Amstrup S.C., Regehr E.V. & Ben-David M. 2011. Consequences of long-distance swimming and travel over deep-water pack ice for a female polar bear during a year of extreme sea ice retreat. *Polar Biology* 34(7), 975-984.
- Edvardsen A., Slagstad D., Tande K.S. & Jaccard P. 2003. Assessing zooplankton advection in the Barents Sea using underway measurements and modelling. *Fisheries Oceanography* 12, 61-74.
- Eriksen E., Skjoldal H.R., Gjøsæter H. & Primicerio R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming. *Progress in Oceanography* 151, 206-226.
- Falk-Petersen S., Timofeev S., Pavlov V. & Sargent J.R. 2007. Climate variability and the effect on Arctic food chains. The role of *Calanus*. Pp. 147–166 in Ørbæk J.R., Tombre T., Kallenborn R., Hegseth E., Falk-Petersen S. & Hoel A.H. (Eds.) *Arctic–Alpine ecosystems and People in A Changing Environment*. Springer, Berlin.
- Fauchald P., Barrett R.T., Bustnes J.O., Erikstad K.E., Nøttestad L., Skern-Mauritzen M. & Vikebø F.B. 2015. Sjøfugl og marine økosystemer. Status for sjøfugl og sjøfuglenes næringsgrunnlag i Norge og på Svalbard. *NINA Rapport 1161*, 44 pp.
- Ferguson S.H., Higdon J.W. & Chmelnitsky E.G. 2010. The rise of killer whales as a major arctic predator. Pp. 117-136 in Ferguson S.H., Loseto L.L. & Mallory M.L. (eds.) *A little less Arctic. Top predators in the world's largest northern inland sea*. Hudson Bay. Springer, New York.
- Fluhr J., Strøm H., Pradel R., Duriez O., Beaugrand G. & Descamps S. 2017. Weakening of the subpolar gyre as a key driver of North Atlantic seabird demography: a case study with Brünnich's guillemots in Svalbard. *Mar Ecol Prog Ser.* 563, 1–11.
- Folkow L.P. & Blix A.S. 1999. Diving behaviour of hooded seals (*Cystophora cristata*) in the Greenland and Norwegian Seas. *Polar Biology* 22, 61-74.
- Folkow L.P., Nordøy E.S. & Blix A.S. 2010. Remarkable development of diving performance and migrations of hooded seals (*Cystophora cristata*) during their first year of life. *Polar Biology* 33, 433-441.
- Forsström S., Gerland S. & Pedersen C.A. 2011. Thickness and density of snow-covered sea ice and hydrostatic equilibrium assumption from in situ measurements in Fram Strait, the Barents Sea and the Svalbard coast. *Annals of Glaciology* 57 (52), 261-270.
- Fosshem M., Primicerio R., Johannesen E., Ingvaldsen R.B., Aschan M.M. & Dolgov A.V. 2015. Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. *Nature Climate Change* doi:10.1038/nclimate2647
- Freitas C., Kovacs K.M., Andersen M., Aars J., Sandven S., Skern-Mauritzen M., Pavlova O. & Lydersen C. 2012. Importance of fast ice and glacier fronts for female polar bears and their cubs during spring in Svalbard, Norway. *Marin Ecology Progress Series* 447, 289–304. doi:10.3354/meps 09516

- Freitas C., Kovacs K.M., Ims R.A., Fedak M.A. & Lydersen C. 2009. Deep into the ice: over-wintering and habitat selection in male Atlantic walrus. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 375, 247-261.
- Freitas C., Kovacs K.M., Ims R.A. & Lydersen C. 2008. Predicting habitat use by ringed seals (*Phoca hispida*) in a warming Arctic. *Ecol. Model.* 217, 19-32.
- Gilg O., Strøm H., Aebischer A., Gavrilov M.V., Volkov A.E., Miljeteig C. & Sabard B. 2010. Post-breeding movements of northeast Atlantic ivory gull *Pagophila eburnea* populations. *Journal of Avian Biology* 41, 532-542.
- Gjøsæter H., Hallfredsson E.H., Mikkelsen N., Bogstad B. & Pedersen T. 2016. Predation on early life stages is decisive for year class strength in the Barents Sea capelin (*Mallotus villosus*) stock. *ICES Journal of Marine Science* 73(2), 182-195, doi:10.1093/icesjms/fsv177
- Grahl-Nielsen O., Haug T., Lindstrøm U. & Nilssen K.T. 2011. Fatty acids in harp seal blubber do not necessarily reflect their diet. *Marine Ecology Progress Series* 426, 263-276.
- Grebmeier J.M., Overland J.E., Moore S.E., Farley E.V., Carmack E.C., Cooper L.W., et al. 2006. A major ecosystem shift in the northern Bering Sea. *Science* 311, 1461-1464.
- Gregory M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526), 2013-2025.
- Hamilton C.D., Kovacs K.M., Ims R.A., Aars J., Strøm H. & Lydersen C. 2017. Spatial overlap among an Arctic predator, prey and scavenger in the marginal ice zone. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 573, 45-59.
- Hamilton C., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2015. Year-round haul-out behaviour of male walrus (*Odobenus rosmarus*) in the Northern Barents Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 519, 251-263.
- Hansen E., Ekeberg O.C., Gerland S., Pavlova O., Spreen G., & Tschudi M. 2014. Variability in categories of Arctic sea ice in Fram Strait. *Journal of Geophysical Research – Oceans* 119(10), 7175–7189, doi:10.1002/2014JC010048
- Hansen E., Gerland S., Granskog M.A., Pavlova O., Renner A.H.H., Haapala J., Løyning T.B., & Tschudi M. 2013. Thinning of Arctic sea ice observed in Fram Strait: 1990-2011. *Journal of Geophysical Research - Oceans*. 118, doi:10.1002/jgrc.20393
- Hansen A.S., Nielsen T.G., Levinsen H., Madsen S.D., Thingstad T.F. & Hansen B.W. 2003. Impact of changing ice cover on pelagic productivity and food web structure in Disko Bay, West Greenland: A dynamic model approach. *Deep Sea Research I* 50, 171-187.
- Hanssen-Bauer I., Førland E.J., Haddeland I., Hisdal H., Mayer S., Nesje A., Nilsen J.E.Ø., Sandven S., Sandø A.B., Sorteberg A. & Ådlandsvik B. 2015. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *NCCS report no. 2/2015*.
- Haug T., Bogstad B., Chierici M., Gjøsæter H., Hallfredsson E.H., Høines Å.S., Hoel A.H., Ingvaldsen R.B., Jørgensen L.L., Knutsen T., Loeng H., Naustvoll L-J., Røttingen I. & Sunnanå K. 2017. Future harvest of living resources in the Arctic Ocean north of the Nordic and Barents Seas: a review of possibilities and constraints. *Fisheries Research* 188, 38-57.
- Haug T., Lindstrøm U. & Nilssen K.T. 2002. Variations in minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) diet and body condition in response to ecosystem changes in the Barents Sea. *Sarsia* 87, 409-422.
- Hegseth E.N. 1998. Primary production in the northern Barents Sea. *Polar Research* 17, 113-123.
- Hegseth E.N. & Sundfjord A. 2008. Intrusion and blooming of Atlantic phytoplankton species in the high Arctic. *Journal of Marine Systems* 74, 108-119.

- Hewitt J.E., Ellis J.I. & Thrush S.F. 2015. Multiple stressors, nonlinear effects and the implications of climate change impacts on marine coastal ecosystems. *Global Change Biology* 22(8), 2665-2675.
- Hildebrandt N., Niehoff B. & Sartoris F.J. 2014. Long-term effects of elevated CO₂ and temperature on the Arctic calanoid copepods *Calanus glacialis* and *C. hyperboreus*. *Marine Pollution Bulletin* 80, 59-70.
- Hjelset A.M., Andersen M., Gjertz I., Lydersen C. & Gulliksen B. 1999. Feeding habits of bearded seals (*Erignathus barbatus*) from the Svalbard Area, Norway. *Polar Biology* 21, 186–93.
- Hop H., Falk-Petersen S., Svendsen H., Kwasniewski S., Pavlov V., Pavlova O. & Søreide J.E. 2006. Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden. *Progress in Oceanography* 71, 182-231.
- Hop H. & Gjørseter H. 2013. Polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea. *Marine Biology Research* 9(9), 878-894.
- Hop H., Poltermann M., Lønne O.J., Falk-Petersen S., Korsnes R. & Budgell W.P. 2000. Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea. *Polar Biology* 23, 357-367.
- Hughes T.P., Baird A.H., Bellwood D.R., Card M., Connolly S. R., Folke C., Grosberg R., Hoegh-Guldberg O., Jackson J.B.C., Kleypas J., ...& Lough J.M. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301, 929–933.
- Hunt G.L., Bakken V. & Mehlum F. 1996. Marine birds in the marginal ice zone of the Barents Sea in late winter and spring. *Arctic* 49, 53-61.
- Hurst R.J. & Øritsland N.A. 1982. Polar bear thermoregulation: effect of oil on the insulative properties of fur. *Journal of Thermal Biology* 7(4), 201-208.
- ICES 2017. Report of the Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea. WGIBAR 2017 Report, 16-18 March 2017. Murmansk, Russia. *ICES CM 2017/SSGIEA: 04*. 186 pp.
- Isachsen P.E., Sørli S.R., Mauritzen C., Lydersen C., Dodd P. & Kovacs K.M. 2014. Upper-ocean hydrography of the Nordic Seas during the International Polar Year (2007-2008) as observed by instrumented seals and Argo floats. *Deep-Sea Res. I* 93, 41-59.
- Jambeck J., Geyer R. & Wilcox C. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771.
- Jay C.V., Marcot B.G. & Douglas D.C. 2011. Projected status of the Pacific walrus (*Odobenus rosmarus divergens*) in the twenty-first century. *Polar Biol.* 34, 1065-1084.
- Ji R., Jin M. & Varpe Ø. 2013. Sea ice phenology and timing of primary production pulses in the Arctic Ocean. *Glob. Change Biol.* 19, 734-741, doi:10.1111/gcb.12074
- Jørgensen L.L., Ljubin P., Skjoldal H.R., Ingvaldsen R.B., Anisimova N. & Manushin I. 2015a. Distribution of benthic megafauna in the Barents Sea: baseline for an ecosystem approach to management. *ICES Journal of Marine Science* 72 (2), 595-613.
- Jørgensen L.L., Planque B., Thangstad T.H. & Certain G. 2015b. Vulnerability of megabenthic species to trawling in the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsv107
- Karamushko O.V. 2008. Species composition and structure of the ichthyofauna of the Barents Sea. *Journal of Ichthyology* 48, 277-291.
- Karnovsky N.J., Hobson K.A., Iverson S. & Hunt Jr. G.L. 2008. Seasonal changes in diets of seabirds in the North Water Polynya: a multiple-indicator approach. *Marine Ecology Progress Series* 357, 291-299.
- Kortsch S., Primicerio R., Fossheim M., Dolgov A.V., Aschan M. 2015. Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. *Proceedings of the Royal Society B* 282, 20151546.

- Kovacs K.M., Aars J. & Lydersen C. 2014. Walruses recovering after 60+ years of protection at Svalbard, Norway. *Polar Res.* 33, 26034, doi:10.3402/polar.v33.26034
- Kovacs K.M. & Lydersen C. 2008. Climate change impacts on seals and whales in the North Atlantic Arctic and adjacent shelf seas. *Sci. Progr.* 91, 117-150.
- Kovacs K.M., Lydersen C. & Gjertz I. 1996. Birth-site characteristics and prenatal molting in bearded seals (*Erignathus barbatus*). *J. Mammal.* 77, 1085-1091.
- Kovacs K.M., Lydersen C., Overland J. E. & Moore S.E. 2011. Impacts of changing sea-ice conditions on Arctic marine mammals. *Mar. Biodiv.* 41, 181-194.
- Kraft A., Nöthig E.-M., Bauerfeind E., Wildish D.J., Pohle G.W., Bathmann U.V., Beszczynska-Möller A. & Klages M. 2013. First evidence of reproductive success in a southern invader indicates possible community shifts among Arctic zooplankton. *Marine Ecology Progress Series* 493, 291-296.
- Krumpen T., Gerdes R., Haas C., Hendricks S., Herber A., Selyuzhenok V., Smedsrud L. & G. Spreen G. 2016. Recent summer sea ice thickness surveys in Fram Strait and associated ice volume fluxes. *The Cryosphere* 10, 523–534, 2016, doi:10.5194/tc-10-523-2016
- Kvadsheim P.H., Sivle L.D., Hansen R.R. & Karlsen H.E. 2017. Effekter av menneskeskapt støy på havmiljø. *FFI rapport 17/00075*. 79 pp.
- Kværner J., Swensen G. & Erikstad L. 2006. Assessing environmental vulnerability in EIA—the content and context of the vulnerability concept in an alternative approach to standard EIA procedure. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(5), 511-527.
- Labansen A.L., Lydersen C., Haug T. & Kovacs K.M. 2007. Spring diet of ringed seals (*Phoca hispida*) from northwestern Spitsbergen, Norway. *ICES Journal of Marine Science* 64, 1246–1256.
- Laidre K.L., Stern H., Kovacs K.M., Lowry L., Moore S.E., Regehr E.V., Ferguson S.H., Wiig Ø., Boveng P., Angliss, R.P., Born E.W., Litovka, D., Quakenbush, L., Lydersen C., Vongraven D. & Ugarte F. 2015. Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conserv. Biol.* 29, 724-737.
- Lalande C., Bauerfeind E., Nöthig E.M. & Beszczynska-Möller A. 2013. Impact of a warm anomaly on export fluxes of biogenic matter in the eastern Fram Strait. *Progress in Oceanography* 109, 70-77.
- Lasternas S. & Agusti S. 2010. Phytoplankton community structure during the record Arctic ice-melting of summer 2007. *Polar Biology* 33(12), 1709-1717.
- Leu E., Mundy C.J., Assmy P., Campbell K., Gabrielsen T.M., Gosselin M., Juul-Pedersen T. & Gradinger R. 2015. Arctic spring awakening – Steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms. *Prog Oceanogr* 139, 151-170. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.pcean.2015.07.012
- Leu E., Søreide J. E., Hessen D.O., Falk-Petersen S. & Berge J. 2011. Consequences of changing sea-ice cover for primary and secondary producers in the European Arctic shelf seas: Timing, quantity, and quality. *Progress in Oceanography* 90(1-4), 18-32.
- Lewis C.N., Brown K.A., Edwards L.A., Cooper G. & Findlay H.S. 2013. Sensitivity to ocean acidification parallels natural pCO₂ gradients experienced by Arctic copepods under winter sea ice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America* 110, E4960-E4967.
- Lone K., Merkel B., Lydersen C., Kovacs K.M. & Aars J. 2017. Sea ice resource selection models for polar bears in the Barents Sea subpopulation. *Ecography*, doi:https://doi.org/10.1111/ecog.03020
- Lowther A.D., Kovacs K.M., Griffith, D. & Lydersen C. 2015. Identification of motivational state in adult male Atlantic walruses inferred from changes in movement and diving behavior. *Mar. Mammal Sci.* 31, 1291-1313.

- Lucia M., Strøm H., Bustamante P. & Gabrielsen G.W. 2016. Trace element accumulation in relation to the trophic behaviour of endangered ivory gulls (*Pagophila eburnea*) during their stay at a breeding site in Svalbard. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 71 (4), 518-529, doi:10.1007/s00244-016-0320-6
- Lydersen C., Aars J. & Kovacs K.M. 2008. Estimating the number of walrus in Svalbard from aerial surveys and behavioural data from satellite telemetry. *Arctic* 61, 119-128.
- Lydersen C., Assmy P., Falk-Petersen S., Kohler J., Kovacs K.M., Reigstad M., Steen H., Strøm H., Sundfjord A., Varpe Ø., Walczowski W., Weslawski J.M. & Zajaczkowski M. 2014. The importance of tidewater glaciers for marine mammals and seabirds in Svalbard, Norway. *J. Mar. Syst.* 129, 452-471.
- Lydersen C., Freitas C., Wiig Ø., Bachmann L., Heide-Jørgensen M.P., Swift R. & Kovacs K.M. 2012. Lost highway not forgotten: Satellite tracking of a bowhead whale (*Balaena mysticetus*) from the critically endangered Spitsbergen stock. *Arctic* 65, 76-86.
- Lydersen C. & Kovacs K.M. 2014. Walrus *Odobenus rosmarus* research in Svalbard, Norway, 2000-2010. *NAMMCO Sci. Publ.* 9, 175-190.
- Lønne O. & Gabrielsen G. 1992. Summer diet of seabirds feeding in sea-ice-covered waters near Svalbard. *Polar Biology* 12, 685-692.
- Macnaughton M.O., Thormar J. & Berge J. 2007. Sympagic amphipods in the Arctic pack ice: redescription of *Eusirus holmii* Hansen, 1887 and *Pleusymtes karstensi* (Barnard, 1959). *Polar Biology* 30(8), 1013-1025, doi:10.1007/s00300-007-0260-8
- McPhee M.G., Proshutinsky A., Morison J.H., Steele M. & Alkire M.B. 2009. Rapid change in freshwater content of the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters* 36, L10602, doi:10.1029/2009GL037525
- Melnikov I.A., Kolosova E.G., Welch H.E. & Zhitina L.S. 2002. Sea ice biological communities and nutrient dynamics in the Canada Basin of the Arctic Ocean. *Deep-Sea Res.* 49, 1623-1649.
- Metfies K., von Appen W.-J., Kiliass E., Nicolaus A. & Nöthig E.-M. 2016. Biogeography and photosynthetic biomass of Arctic marine pico-eukaryotes during summer of the record sea ice minimum 2012. *PLoS ONE* 11, e0148512, doi:10.1371/journal.pone.0148512
- Miettinen A., Koc N. & Husum K. 2013. Appearance of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the northern Nordic Seas - An indication of changes in Arctic sea ice and ocean circulation. *Marine Micropaleontology* 99, 2-7.
- Miljeteig C., Gabrielsen G.W., Strøm H., Gavrilov M.V., Lie E. & Jensen B.M. 2012. Eggshell thinning and decreased concentrations of vitamin E are associated with contaminants in eggs of ivory gulls. *Science of the Total Environment* 431, 92-99.
- Miljøverndepartementet (MD). 2009. St.meld. nr. 37 (2008-2009). Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Norskehavet (forvaltningsplan). Melding til Stortinget.
- Moore S.E., Stafford K.M., Melling H., Berchok C., Wiig Ø., Kovacs K.M., Lydersen C. & Richter-Menge J. 2012. Comparing marine mammal acoustic habitats in Atlantic and Pacific sectors of the High Arctic: year-long records from Fram Strait and the Chukchi Plateau. *Polar Biology* 35, 475-480.
- Mundy C.J., Gosselin M., Ehn J., Gratton Y., Rossnagel A., Barber D., Tremblay J.-E., Palmer M., Arrigo K.R., Darnis G., Fortier L., Else B. & Papakyriakou T. 2009. Contribution of under-ice primary production to an ice-edge upwelling phytoplankton bloom in the Canadian Beaufort Sea. *Geophysical Research Letters* 36, doi:10.1029/2009GL038837
- Mundy C.J., Gosselin M., Gratton Y., Brown K., Galindo V., Campbell K., Levasseur M., Barber D., Papakyriakou T. & Belanger S. 2014. Role of environmental factors on phytoplankton bloom initiation under landfast sea ice in Resolute Passage, Canada. *Marine Ecology Progress Series* 497, doi:10.3354/meps10587

- Nilssen K.T. 1995. Seasonal distribution, condition and feeding habits of Barents Sea harp seals (*Phoca groenlandica*). Pp. 241-254 in Blix A.S., Walløe L. & Ulltang Ø. (eds.) *Whales, seals, fish and man*. Elsevier, Amsterdam.
- Nöthig E.-M., Bracher A., Engel A., Metfies K., Niehoff B., Peeken I., Bauerfeind E., Cherkasheva A., Gäbler-Schwarz S., Hardge K., Kiliyas E., Kraft A., Mebrahtom Kidane Y., Lalande C., Piontek J., Thomisch K. & Wurst, M. 2015. Summertime plankton in Fram Strait – a compilation of long- and short-term observations. *Polar Research* 34, 23349, doi:10.3402
- Obbard M.E., Thiemann G.W., Peacock E. & Debruyen T.D. (eds.) 2010. *Proceedings of the 15th working meeting of the IUCN/SSC Polar Bear Specialist Group 29 June - 3 July 2009, Copenhagen, Denmark*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Olsen L.M., Laney S.R., Duarte P., Kauko H.M., Fernández-Méndez M., Mundy C.J., Rösel A., Meyer A., Itkin P., Cohen L., Peeken I., Taterek A., Wiktor J., Taskjelle T., Pavlov A.K., Hudson S.R., Granskog M.A., Hop H. & Assmy P. 2017. The role of multiyear ice in seeding ice algae blooms in Arctic pack ice. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2016JG003626
- Orlova E.L., Dalpadad, P., Knutsen T., Nesterova V.N. & Prokopchuk I.P. 2011. Zooplankton. Pp. 91-119 in Jacobsen T. & Ozhigin V.K. (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Orlova E.L., Dolgov A.V., Renaud P.E., Greenacre M., Halsband C. & Ivshin V.A. 2015. Climatic and ecological drivers of euphausiid community structure vary spatially in the Barents Sea: relationships from a long time series (1952-2009) *Frontiers in Marine Science* 1. doi:10.3389/fmars.2014.00074
- Peck V.L., Tarling G.A., Manno C., Harper E.M. & Tynan E. 2016. Outer organic layer and internal repair mechanism protects pteropod *Limacina helicina* from ocean acidification. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 127, 41-52.
- Perrin W.F., Würsig B. & Thewissen J.G. M. (eds.) 2002. *Encyclopedia of marine mammals*. 2nd ed. Acad. Press, Amsterdam. 1316 pp.
- Pilford N.W., McCall A., Derocher A.E., Lunn N.J. & Richardson E. 2017. Migratory response of polar bears to sea ice loss: to swim or not to swim. *Ecography* 40, 189-199.
- Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B., Ashik I.M., Baumann T.M., Carmack E.C., Goszczko I., Guthrie J., Ivanov V.V., Kanzow T., Krishfield R., Kwok R., Sundfjord A., Morison J., Rember R. & Yulin A. 2017. Greater role for Atlantic inflows on the sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science*, doi:10.1126/science.aai8204
- Ponomarenko V.P. 1968. Some data on the distribution and migrations of polar cod in the seas of the Soviet Arctic. *Rapports et Process-verbaux des Réunions. Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 158, 131-135.
- Popper A.N. & Hawkins A. (eds.) 2012. The effect of noise on aquatic life. Proceedings of the 2010 Second International Meeting on the Effects of Noise on Aquatic Life, Cork, Ireland. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 730, doi: 10.1007/978-1-4419-7311-5
- Poulin M., Daugbjerg N., Gradinger R., Ilyash L., Ratkova T. & von Quillfeldt C.H. 2011. The pan-Arctic biodiversity of marine pelagic and sea-ice unicellular eukaryotes: A first-attempt assessment Marine Biodiversity. *Marine Biodiversity* 41 (1), 13-28, doi:10.1007/s12526-010-0058-8
- Randelhoff A., Fer I. & Sundfjord A. 2017. Turbulent upper-ocean mixing affected by meltwater layers during Arctic summer. *Journal of Physical Oceanography*, doi: 10.1175/JPO-D-16-0200.1

- Ray J.L., Skaar K.S., Simonelli P., Larsen A., Sazhin A., Jakobsen H.H., Nejstgaard J.C. & Troedsson C. 2016. Molecular gut content analysis demonstrates that *Calanus* grazing on *Phaeocystis pouchetii* and *Skeletonema marinoi* is sensitive to bloom phase but not prey density. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 542, 63–77.
- Reid P.C., Edwards M. & Johns D.G. 2008. Trans-arctic invasion in modern times. *Science* 322, 528-529.
- Reigstad M., Carroll J., Slagstad D., Ellingsen I. & Wassmann P. 2011. Intra-regional comparison of productivity, carbon flux and ecosystem composition within the northern Barents Sea. *Progress in Oceanography* 90(1-4), 33-46.
- Renner A.H.H., Gerland S., Haas C., Spreen G., Beckers J.F., Hansen E., Nicolaus M. & Goodwin H. 2014. Evidence of Arctic sea ice thinning from direct observations. *Geophysical Research Letters* 41, 5029–5036, doi:10.1002/2014GL060369
- Rey F. 2012. Declining silicate concentrations in the Norwegian and Barents Seas. *ICES Journal of Marine Science* 69(2), 208-212.
- Rusten M. (ed.) 2014. Development of methodology for calculations of environmental risk for the marginal ice zone – a joint project between Akvaplan-niva and DNV GL. *Report No.: 2014-0545*, Rev00.
- Sakshaug E., Johnsen G., Kristiansen S., von Quillfeldt C.H., Rey F., Slagstad D. & Thingstad F. 2009. Phytoplankton and primary production. Pp. 167 – 208 in Sakshaug E., Johnsen G. & Kovacs K. (eds.) *Ecosystem Barents Sea*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Slagstad D., Wassman P. & Ellingsen I.H. 2015. Physical constrains and productivity in the future Arctic Ocean, Ocean. *Front.Mar.Sci.* 2, 85, doi:10.3389/fmars.2015.00085
- Smyth T.J., Tyrrell T. & Tarrant B. 2004. Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty years of satellite imagery. *Geophysical Research Letters* 31, L11302
- Stafford K.M., Moore S.E., Berchok C.L., Wiig Ø., Lydersen C., Hansen E., Kalmbach D. & Kovacs K.M. 2012. Spitsbergen's endangered bowhead whales sing through the polar night. *Endang. Spec. Res.* 18, 95-103.
- St. Aubin. 1988. Physiologic and toxicologic effects on pinnipeds. Pp 129-142 in Geraci J.R. & St. Aubin D.J. (eds). *Synthesis of effects of oil on marine mammals*. Final report, 1986-1988. Technical Report. Battelle Memorial Inst., Ventura, CA (USA).
- Steinacher M., Joos F., Frolicher T.L., Plattner G.K. & Doney S.C. 2009. Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model. *Biogeosciences* 6, 515-533.
- Stenson G.B., Buren A.D. & Koen-Alonso M. 2016. The impact of changing climate and abundance on reproduction in an ice-dependent species, the Northwest Atlantic harp seal, *Pagophilus groenlandicus*. *ICES J. Mar. Sci.* 73, 250-262.
- Stenson G.B. & Hammill M.O. 2014. Can ice breeding seals adapt to habitat loss in a time of climate change? *ICES J. Mar. Sci.* 71, 1977-1986.
- Strøm H. 2006. Svalbards fugler. Pp. 86-191 in Kovacs K.M & Lydersen C. (eds.) *Svalbards fugler og pattedyr Polarhåndbok Nr. 13*, Norsk Polarinstitutt.
- Strøm H., Gilg O. & Gavrilo M. 2015. *Movements of three Arctic populations of ivory gulls revealed by satellite telemetry*. Poster presented at the 2nd World Seabird Conference, October 26 – 30, Cape Town, South Africa.
- Sun M.Y., Clough L.M., Carroll M.L., Dai J.H., Ambrose Jr W.G. & Lopez G.R. 2009. Different responses of two common Arctic macrobenthic species (*Macoma balthica* and *Monoporeia affinis*) to phytoplankton and ice algae: Will climate change impacts be species specific? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 376, 110-121.

- Sundfjord A., Fer I., Kasajima Y. & Svendsen H. 2007. Observations of turbulent mixing and hydrography in the marginal ice zone of the Barents Sea. *J. Geophysical Res.* 112, C05008, doi:10.1029/2006JC003524
- Syvrtsen E.E. 1991. Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. *Polar Res.* 10(1), 277-288.
- Søreide J.E., Carroll M.L., Hop H., Ambrose Jr W.G., Hegseth E.N. & Falk-Petersen S. 2013. Sympagic-pelagic-benthic coupling in Arctic and Atlantic waters around Svalbard revealed by stable isotopic and fatty acid tracers. *Marine Biology Research* 9(9), 831-850.
- Tamelander T., Reigstad M., Hop H. & Ratkova T. 2009. Ice algal assemblages and vertical export of organic matter from sea ice in the Barents Sea and Nansen Basin (Arctic Ocean). *Polar Biology* 32, 1261-1273.
- Tartu S., Bourgeon S., Aars J., Andersen M., Ehrich D., Thiemann G.W., Welker J.M. & Routti H. 2016. Geographical Area and Life History Traits Influence Diet in an Arctic Marine Predator. *PLoS One* 11, e0155980.
- Tartu S., Bourgeon S., Aars J., Andersen M., Polder A., Thiemann G.W., Welker J.M. & Routti H. 2017. Sea ice-associated decline in body condition leads to increased concentrations of lipophilic pollutants in polar bears (*Ursus maritimus*) from Svalbard, Norway. *Science of The Total Environment* 576, 409-419.
- Thor P., Bailey A., Halsband C., Guscelli E., Gorokhova E. & Fransson A. 2016. Seawater pH predicted for the year 2100 affects the metabolic response to feeding in copepodites of the Arctic copepod *Calanus glacialis*. *PLoS One* 11, e0168735.
- Trevail A.M., Gabrielsen G.W., Kühn S. & Van Franeker J.A. 2015 a. The State of Marine Microplastic Pollution in the Arctic. *Norsk Polarinstitutt Kortrapport, no. 33*.
- Trevail A.M., Gabrielsen G.W., Kühn S. & Van Franeker J.A. 2015 b. Elevated levels of ingested plastic in a high Arctic seabird, the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*). *Polar Biol.* doi:10.1007/s00300-015-1657-4
- Vacquié-García J., Lydersen C., Marques T.A., Aars J., Ahonen H., Skern-Mauritzen M., Øien N., Kovacs K.M. 2017. Late summer distribution and abundance of ice-associated whales in the Norwegian High Arctic. *Endang. Spec. Res.* 32, 59-70.
- Vongraven D. (ed.) 2014. Kunnskapsgrunnlag for de store nasjonalparkene og fuglereservatene på vest-Spitsbergen. *Norsk Polarinstitutt Kortrapport, no. 28*, 234 pp.
- von Quillfeldt C.H. 2000. Common diatom species in arctic spring blooms: Their distribution and abundance. *Botanica Marina* 43(6), 499-516.
- von Quillfeldt C.H. (ed.) 2010. Det faglige grunnlaget for oppdateringen av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten. *Fisken og havet, Særnummer 1a 2010*.
- Wassmann P., Duarte C.M., Agusti S. & Sejr M.K. 2011. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biology* 17(2), 1235-1249.
- Wassmann P. & Reigstad M. 2011. Future Arctic Ocean seasonal ice zones and implications for pelagic-benthic coupling. *Oceanography* 24, 220–231. <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2011.74>
- Wassmann P., Reigstad M., Haug T., Rudels B., Carroll M.L., Hop H., Gabrielsen G.W., Falk-Petersen S., Denisenko S.G., Arashkevich E., Slagstad D. & Pavlova O. 2006. Food webs and carbon flux in the Barents Sea. *Progress in Oceanography* 71, 232-287.
- Webster M.A., Rigor I.G., Nghiem S.V., Kuryz N.T., Farrell S.L., Perovich D.K. & Sturm M. 2014. Interdecadal changes in snow depth on Arctic sea ice. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 119(8), 5395-5406.
- Weydmann A., Carstensen J., Goszczko I., Dmoch K., Olszewska A. & Kwasniewski S. 2014. Shift towards the dominance of boreal species in the Arctic: inter-annual and spatial zooplankton variability in the West Spitsbergen Current. *Marine Ecology Progress Series* 501, 41-52.

Wolkers H., van Bavel B., Ericson I., Skoglund E., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2006a. Congener-specific accumulation and patterns of chlorinated and brominated contaminants in adult male walrus from Svalbard, Norway: indications for individual-specific prey selection. *Science of the Total Environment* 370, 70-79.

Wolkers H., Lydersen C., Kovacs K.M., Burkow I. & van Bavel B. 2006b. Accumulation, metabolism, and food-chain transfer of chlorinated and brominated contaminants in subadult white whales (*Delphinapterus leucas*) and narwhales (*Monodon monoceros*) from Svalbard, Norway. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50, 69-78.

Zenkevitch L. 1963. *Biology of the Seas of the USSR*. George Allen & Unwin Ltd., London.

Zhang J.L., Ashjian C., Campbell R., Hill V., Spitz Y.H. & Steele M. 2014. "The great 2012 Arctic Ocean summer cyclone enhanced biological productivity on the shelves. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 119(1), 297-312.

Øigård T.A., Haug T. & Nilssen K.T. 2014. Current status of hooded seals in the Greenland Sea. Victims of climate change and predation? *Biol. Conserv.* 172, 29-36.

Øritsland N.A., Engelhardt F.R. & Juck F.A. 1981. *Effect of Crude Oil on Polar Bears*. Indian and Northern Affairs, Canada. ISBN: 0662118359, 9780662118350. 268 pp.

4 Vedlegg

4.1 Modul 1 Oppsummering av eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen

Akvaplan-niva

Rapport Report

Oppsummering av eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen i Barentshavet

Akvaplan-niva AS Rapport: 8612

Bilde på første side:

Isalger den 10. april i Amundsenbukta, Canadisk Arktis. Foto: Stig Falk-Petersen.

Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
 Org.nr: NO 937 375 158 MVA
 Framsenteret
 Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø
 Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01
 www.akvaplan.niva.no

**Tittel**

Oppsummering av eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen i Barentshavet

Forfattere

Magnus Aune
 Hector Andrade
 Kjetil Sagerup
 Ana Sofia Aniceto
 Martin Biuw

Akvaplan-niva rapport no

8612

Date

15.02.2017

Antall sider

49

Distribusjon

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver

Norsk Polarinstitutt

Kontaktperson oppdragsgiver

Cecilie von Quillfeldt

Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen i Barentshavet. I tråd med oppdragsgivers ønske har vi fokusert på den mest oppdaterte litteraturen som er tilgjengelig. Rapporten gir først et overblikk over generelle fysiske og biologiske prosesser i iskantsonen gjennom året, går videre med å fokusere på oppdatert informasjon om ulike artsgrupper (primærprodusenter, sekundærprodusenter, bunndyr, fisk, sjøfugl og sjøpattedyr), og avslutter med et fremtidsscenario og noen tanker om relevante kunnskapshull.

Prosjektleder

Magnus Aune

Kvalitetskontroll

Stig Falk-Petersen

© 2017 Akvaplan-niva AS. This report may only be copied as a whole. Copying of part of this report (sections of text, illustrations, tables, conclusions, etc.) and/or reproduction in other ways, is only permitted with written consent from Akvaplan-niva AS.

Innhold

1 FORORD.....	80
2 INNLEDNING	81
3 NÆRINGSSALTER, PRIMÆRPRODUKSJON OG KARBONFLUX	84
4 SEKUNDÆRPRODUKSJON OG ZOOPLANKTON.....	87
5 BUNNDYR	90
6 FISK.....	93
7 SJØFUGL.....	96
8 SJØPATTEDYR.....	98
9 FREMTIDSSCENARIO OG KUNNSKAPSHULL	102
10 REFERANSER.....	106

1 Forord

Prosjektet *Iskantsonen* ble innledet på senhøsten 2016. Oppdraget gikk ut på å oppsummere eksisterende kunnskap om fysiske, kjemiske og biologiske forhold i iskantsonen i Barentshavet, med vekt på den mest oppdaterte litteraturen som er tilgjengelig. Rapporten inneholder som sådan en omfattende litteraturliste.

Det nordlige Barentshavet er et havområde som opplever en ekstrem sesongvariasjon med tanke på både fysisk og biologisk miljø, med store årsvariasjoner når det kommer til både solinnstråling og produksjonsregime, som i sin tur har store konsekvenser for hvordan økosystemet er strukturert funksjonelt i tid og rom. I tillegg er de pågående klimaendringene ekstra tydelige i disse nordlige områdene, og dette medfører at mange arter endrer sitt utbredelsesmønster. Selv om Barentshavet i dag er et hav som fremstår som relativt godt studert, peker det seg ut flere tydelige kunnskapshull, og disse belyser vi mot slutten av teksten.

Akvaplan-niva sendte et første, tidlig utkast av denne rapporten til Norsk Polarinstitutt før jul 2016, og mottok kommentarer tidlig på nyåret 2017.

Akvaplan-niva takker for oppdraget og ønsker Norsk Polarinstitutt lykke til videre med prosjektet Miljøverdier og sårbarhet i iskantsonen og polarfronten.



Magnus Aune

Prosjektleder

Tromsø, 15.02.2017

2 Innledning

Barentshavet er et relativt grunt (gjennomsnittsdypde $\sim 230\text{m}$) arktisk sokkelhav som avgrenses av den nordlige kysten av Norge og Russland i sør, den russiske øya Novaya Zemlya i øst, kontinentalskråningen mot Polhavet i nord og kontinentalskråningen mot Norskehavet i vest (Sakshaug et al. 1994). Klimaet i Barentshavet påvirkes i stor grad av innstrømmende atlantehavsvann fra sørvest (Smedsrud et al. 2013). Fra nord og øst kommer havis og arktiske vannmasser sørover og skaper et arktisk miljø i den nordlige og nordøstre delen av Barentshavet. Selv om vannmassene i Barentshavet er blitt karakterisert på ulike måter (e.g., Loeng 1991, Ozhigin et al. 2011), kan man basert på vanntemperatur (T) grovt sett skille mellom tre hovedvannmasser: arktiske vannmasser i nord og nordøst ($T < 0^\circ\text{C}$), atlantiske vannmasser i sør og sørvest ($T > 3^\circ\text{C}$) og blandede vannmasser sentralt ($0^\circ\text{C} < T < 3^\circ\text{C}$) (e.g., Johannesen et al. 2012a). Atlantiske vannmasser har vanligvis en saltholdighet på omtrent 35, mens blandede eller arktiske vannmasser vanligvis har en lavere saltholdighet på $32 - < 35$.

Høye breddegrader kjennetegnes ved at det er spesielt sterke sesongvariasjoner i sollysinnstråling, som i sin tur i stor grad styrer dynamikken i viktige økosystemprosesser slik som variasjon og tidspunkt for primærproduksjon (Berge et al. 2015a). Lyset som er tilgjengelig for marint liv i den marginale issonen er kontrollert av innstråling fra solen, breddegrad, skydekke, isdekke og isens snødekke. Barentshavet strekker seg fra $66.7 - 82.5^\circ\text{N}$ (Ozhigin et al. 2011), og hele Barentshavet befinner seg dermed nord for Polarsirkelen på $\sim 66.55^\circ\text{N}$. Dette innebærer at hele Barentshavet i større eller mindre grad påvirkes av perioder med sollys hele døgnet (midnattssol) og fravær av sollys hele døgnet (mørketid). Jo lenger nord man beveger seg, jo lengre vil periodene med midnattssol og mørketid være, og ved Nordpolen er det bare én dag og én natt i løpet av året. Hvor mørkt det er i løpet av mørketiden bestemmes av breddegraden. Området mellom Polarsirkelen og 72°N har såkalt moderat skumring ("civil twilight"), og her står sola mindre enn 6° under horisonten under mørketiden. Området fra $72 - 78^\circ\text{N}$ har såkalt moderat polarnatt ("civil polar night"), og her står sola mellom $6 - 12^\circ$ under horisonten under mørketiden. Endelig har området nord for 78°N har nautisk polarnatt ("nautical polar night"), og her står sola mer enn 12° under horisonten under mørketiden (Berge et al. 2015b).

Det sentrale området som skiller atlantiske fra arktiske vannmasser kalles Polarfronten. Store deler av den arktiske delen av Barentshavet dekkes av havis hele eller deler av året, og dette isdekket er normalt størst tidlig på våren (i mars-april) og minst sent på høsten (i september-oktober). Isdekket i Arktis overvåkes kontinuerlig, og isdekkedata kan lastes ned fra <http://nsidc.org/data/g02135> (Fetterer et al. 2002). Iskantsonen, som denne rapporten omhandler, er definert som området mellom den sesongmessige minimale og maksimale grensen for isutbredelse, pluss den delen av isdekket som i betydelig grad blir påvirket av overgangen mellom is og åpne vannmasser (Wadhams 1986). For Barentshavet sin del er dette med andre ord et grenseområde der man har en overgang mellom åpent hav og havis. Isen er sjelden tykkere enn $30 - 50\text{ cm}$ (Ozhigin et al. 2011). Selv om mellomårsvariasjonen er stor, følger den maksimale isutbredelsen normalt posisjonen til Polarfronten (Sakshaug et al. 1994), mens den minimale isutbredelsen er nord for det området som defineres som Barentshavet (Smedsrud et al. 2013). De mest arktiske delene av Barentshavet (i nord-øst) er dekket av is

mer enn 300 dager i året (e.g., Jørgensen et al. 2015). I denne rapporten tolker vi derfor begrepet "iskantsonen" (drivisområdet) som den delen av Barentshavet som er nord for Polarfronten.

Iskantsonen er et meget dynamisk område med tanke på sesongvariasjon og mellomårsvariasjon i isdekke og is-transport, og dens omfang og posisjon påvirkes av både havstrømmer og atmosfæriske forhold, og dermed også av klimaendringer (Falk-Petersen et al. 2000, 2007). I senere år har en oppvarming av vannmassene i Barentshavet vært observert, mest på grunn av en økt innstrømming av varmt Atlanterhavsvann (Johannessen et al. 2012a, Smedsrud et al. 2013). Temperatur (og saltholdighet) i det innstrømmende atlantehavsvannet om sommeren økte frem til 2007, etter 2008 har temperaturen forandret seg lite (Walczowski et al. 2016). Med andre ord opplever man en økt "atlantifisering" av Barentshavet (Polyakov et al. 2017). Denne oppvarmingen av vannmassene er den viktigste årsaken til nedgangen i isdekke og økningen i omfanget av åpent vann som er observert i det nordlige Barentshavet de senere årene, ofte med nærmest isfrie forhold i Barentshavet på høsten (Smedsrud et al. 2013). Prognoser tilsier en oppvarming av vannmassene i tidligere isdekte områder i Barentshavet på 4°C (Smedsrud et al. 2013).

På generell basis er primærproduksjonen i Barentshavet relativt høy til tross for at vekstsesongen er relativt kortvarig (Titov & Orlova 2011), men den årlige nye produksjonen er mye høyere i det sørlige Barentshavet sammenliknet med produksjonen i den nordlige delen (i henhold til Sakshaug (1997): 90 vs. < 40 g C m⁻² år⁻¹; i henhold til Reigstad et al. (2011): 160 g C m⁻² år⁻¹ vs. 60 g C m⁻² år⁻¹). Likevel spiller prosessene i iskantsonen en viktig økologisk rolle i Barentshavet. Når isen i det nordlige Barentshavet smelter i løpet av sommersesongen, danner det ferske smeltevannet et stabilt øvre vannlag (over tetthetsgradienten også kalt pyknoklin) med en kortvarig, intens primærproduksjon, og dette øvre laget øker i tykkelse fra omtrent 10 til 25 m i løpet av sommersesongen (Sakshaug et al. 2009). Dette relativt grunne beltet med høy primærproduksjon langs iskanten er normalt 20-50 km bredt (Zenkevich 1963, Sakshaug 1997). På høsten brytes stratifiseringen ned, både som følge av mindre solinnstråling, men også på grunn av sterkere vertikal blanding av vannmassene som følge av nedkjøling og produksjon av saltlake ved isdannelse (Sakshaug et al. 2009).

Den intense primærproduksjonen i iskantsonen utnyttes av fettrike dyreplanktonarter som raudåte (e.g., Dalpadado et al. 2012; *Calanus finmarchicus*) og krill (e.g., *Thysanoessa inermis*; Orlova et al. 2015) som følger med havstrømmene inn i Barentshavet fra Norskehavet. Endelig transporteres isfauna med den transpolare isdriften ("the transpolar drift"; Mysak 2001) inn i det nordlige Barentshavet fra Polhavet, og denne isfaunaen frigjøres til vannmassene i Framstredet og det nordlige Barentshavet når isen smelter. Disse tre prosessene gjør iskantsonen til et viktig "høyenergi-område" med avgjørende betydning for den nordoverrettede migrasjonen av arter på alle trofiske nivåer i sommersesongen, med stor viktighet for kommersielle fiskebestander, pattedyr og sjøfugl (Hamre 1994, Falk-Petersen et al. 2000, 2009). Siden det meste av energiproduksjonen i iskantsonen skjer i løpet av en relativt kort, intens periode, er det i denne perioden at næringsgrunnlaget for både pelagiske og bentiske organismer i dette området skapes (Sakshaug et al. 2009). En god kobling ("match") i tid og rom mellom organismer på ulike trofiske nivå (for eksempel mellom oppblomstring av

planteplankton og produksjon av dyreplankton og fiskelarver) er derfor nødvendig for at energien i økosystemet skal bli utnyttet optimalt.

I det følgende kommer en kortfattet, oppdatert beskrivelse av de ulike biologiske komponentene i iskantsonen i Barentshavet.

3 Næringsalter, primærproduksjon og karbonflux

I arktiske vannmasser er det høye konsentrasjoner av næringsalter som nitrat, fosfat og silikat i de øvre vannlag kun om høsten og vinteren. Dette er fordi næringsaltene på denne tiden av året blir blandet opp fra dypere, mer næringsrike vannmasser når nedkjølingen av overflatelagene gjør at den sterke stratifiseringen som oppstår om sommeren brytes ned. I tillegg forblir konsentrasjonene av næringsalter høye siden det på denne tiden av året er fravær av sollys, lav primærproduksjon og dermed lavt forbruk av disse næringsaltene.

Typiske vinterkonsentrasjoner av henholdsvis nitrat, fosfat og silikat er >10.4 , 0.75 og 4.5 mmol m^{-3} (Reigstad et al. 2002). Tidlig på våren vil vannlaget over pyknoklinen være næringsrikt, men i løpet av sommersesongen blir disse næringsaltene i all hovedsak brukt opp som følge av algeoppblomstringen (Reigstad et al. 2002, Sakshaug et al. 2009).

I Arktis vil starten på oppblomstringen av isalger markere overgangen fra vinter til vår (Leu et al. 2015). Isalger er godt tilpasset svak lysinnstråling. Tidlig på våren, når det er nok sollys tilgjengelig (<1 $\text{umol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), begynner isalger å vokse (primært) under eller i de nederste centimeterne av havisen, hvor det er tilstrekkelig med næring (Leu et al. 2015); dette skjer typisk fra slutten av mars (Daase et al. 2013). Algers vekst er altså begrenset av lys i starten av oppblomstringen og av næring mot slutten. Siden snøen absorberer sollys mer effektivt enn is, antas den å være den miljøfaktoren som i størst grad bestemmer isalgeoppblomstringens fenologi (Leu et al. 2015). Mesteparten av isen i iskantssonen i Barentshavet er ettårsis, der den dominerende algearten er den pennate diatomearten *Nitzschia frigida* (Syvertsen 1991, Hegseth 1992, Rózanska et al. 2009, Leu et al. 2015). Den viktigste isalgearten som blomstrer under flerårsis er *Melosira arctica* (Syvertsen 1991). *N. frigida* er ventet å bli enda vanligere i kommende år ettersom flerårsis gradvis blir erstattet av ettårsis på grunn av den pågående oppvarmingen av vannmassene i Arktis (Leu et al. 2015).

Isalgenes relative bidrag til den totale primærproduksjonen i et gitt område varierer sterkt, fra 1% i kystnære områder med mye ferskvannsavrenning og lite is, til $>50\%$ i det sentrale polhavet (Gosselin et al. 1997). Isalger er blitt anslått å utgjøre 16-22 % av den totale primærproduksjonen i iskantssonen i Barentshavet (Hegseth 1998), og generelt for iskantssonen i Arktis er det anslått at isalger produserer 0.002 - 20 $\text{g C m}^{-2} \text{år}^{-1}$ (Tamelander et al. 2009, og referanser deri). Isalger er viktige matkilder for pelagisk dyreplankton (e.g., *Calanus glacialis*, som kan utgjøre inntil 70% av mesozooplankton-biomassen i arktiske havområder; Søreide et al. 2010, Hop et al. 2011, Wold et al. 2011), istilknyttede dyreplankton (e.g., amfipoden *Apherusa glacialis*; Werner 1997, Lønne & Gulliksen 1991) og bunnlevende, herbivore organismer (e.g., slangestjerner og bunnlevende amfipoder; Hobson et al. 1995, 2002, Renaud et al. 2007).

Isalgene bidrar også til den vertikale transporten av energi (sedimentering) ved at de frigjøres fra undersiden av isen og starter å synke mot havbunnen. Denne sedimenteringen er sterkest mot slutten av blomstringen, og perioden med høyest intensitet skjer sannsynligvis over et ganske kort tidsrom om våren (over en periode på noen timer til noen dager), og sammenfaller gjerne med at isen brytes opp, smelter eller driver inn i områder med varmere vannmasser

(Tremblay et al. 1989, Carroll & Carroll 2003, Tamelander et al. 2009). I et studium fra Hudson Bay (Canada) ble det anslått at 20% av isalgeproduksjonen (inkludert både isalger og fekalier fra dyreplankton som har spist isalger) ble transportert mot havbunnen, mens resten ble antatt å bli værende i pelagialen (Tremblay et al. 1989). I iskantsonen i Barentshavet ble gjennomsnittlig vertikal eksport av partikulært organisk karbon fra isalger om våren beregnet til å være på $920 \text{ mg C m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ (Tamelander et al. 2009). Slik vertikal transport foregikk fremdeles i juli, men i mye mindre grad enn i mai (72% lavere) (Tamelander et al. 2009). Isalgene er derfor viktige økosystemkomponenter ikke minst fordi de utgjør en energikilde som blir tilgjengelig som mat for arter på høyere trofiske nivå tidlig på våren.

På generell basis blomstrer planteplankton langs iskanten 6-8 uker tidligere enn i atlantiske, permanent isfrie vannmasser lenger sør, på grunn av at smeltevannet medfører en stratifisering langs iskanten (Sakshaug et al. 2009). Dette står i et motsetningsforhold til blomstring i de permanent isfrie vannmassene lenger sør, som får næring fra dypere vannmasser på grunn av vindindusert blanding av vannmassene. Det var lenge antatt at lysinnstrålingen til vannmassene under isen var for svak til at sterke oppblomstringer av pelagisk planteplankton kunne oppstå (Arrigo & van Dijken 2011). Imidlertid viser nyere forskning at dette ikke er tilfelle, og at massive algeoppblomstringer også kan utvikle seg under isen, både som følge av lystilgang på grunn av transparent is ved smeltesdammer på isen (Arrigo et al. 2012), og som følge av lystilgang via midlertidige råker i isen (Assmy et al. 2017). Med andre ord er omfanget av primærproduksjonen i isdekte områder trolig blitt sterkt underestimert (Arrigo et al. 2012). Generelt er det stor romlig variasjonen i planteplanktonbiomasse i iskantsonen, med de høyeste konsentrasjonene i områdene nært iskanten (Engelsen et al. 2002), og noen av de vanligste slektene av pelagisk planteplankton er diatomeer som *Fragilariopsis*, *Chaetoceros* og *Thalassiosira*, i tillegg til arten *Phaeocystis pouchetii* (Wassmann et al. 1999, von Quillfeldt 2000, Sakshaug et al. 2009). Sammenliknet med mer sørlige områder (e.g., i Norskehavet) vil oppblomstringen i Barentshavet ha en raskere vekst siden økningen i solinnstråling og daglengde er raskere i nord, og den daglige primærproduksjonen kan være på inntil $0.5\text{-}2.0 \text{ g C m}^{-2}$ (Sakshaug et al. 2009).

Arktiske algers vekst er altså begrenset av lys i starten av oppblomstringen og av næring mot slutten, og den nye produksjonen avsluttes etter at tilgjengelige uorganiske næringsstoffer er blitt brukt opp. I de fleste tilfellene er nitrat det næringsstoffet som blir oppbrukt først. Regenerert primærproduksjon (det vil si primærproduksjon som er basert på regenererte næringsalter) fortsetter utover på sommeren, med sommerarter som ofte har en viss mobilitet (e.g., ciliater og dinoflagellater) for å kunne bevege seg mot områder med høyere næringskonsentrasjoner (Rat'kova & Wassmann 2002). Avhengig av vindregimet og blandingsdypet kan en høstopplomstring oppstå så sent som i september (Falk-Petersen et al. 2008), med en daglig primærproduksjon i denne perioden på inntil 0.5 g C m^{-2} (Sakshaug et al. 2009).

Som nevnt i introduksjonen så er den årlige primærproduksjonen i isfrie, atlantiske vannmasser i Barentshavet mye høyere enn i iskantsonen ($160 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i sør vs. $60 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ i nord; Reigstad et al. 2011). Imidlertid blir en mye større andel av primærproduksjonen transportert mot bunn i iskantsonen enn i de atlantiske vannmassene (ca 53 % i nord vs. ca 27 % i sør). Dette indikerer at arktiske vannmasser i lavere grad enn atlantiske vannmasser er

styrt av prosesser i de frie vannmasser (pelagiske prosesser), og dermed er demersale prosesser trolig relativt sett funksjonelt viktige i iskantsonen (Reigstad et al. 2011).

4 Sekundærproduksjon og zooplankton

Sekundærprodusentene, som i de frie vannmasser (pelagialen) i iskantsonen primært inkluderer meroplankton (larver av bunndyr som bare lever pelagisk en kort periode i starten av livet), amfipoder, krill og copepoder. *Calanus* copepoder og krill er spesielt viktige siden de overfører energi effektivt fra lave (e.g., isalger og planteplankton) til høyere trofiske nivå (Falk-Petersen et al. 2009, Wold et al. 2011, Dahl et al. 2003). For eksempel er lipidoverføring (marint fett) fra primærprodusenter til sekundærprodusenter spesielt effektiv i Arktis, med et økende lipidnivå fra 10-20% av tørrvekt hos primærprodusentene til 50-70 % hos de herbivore sekundærprodusentene (Falk-Petersen et al. 1990). For å kunne gjennomføre viktige faser av sine livssykluser (for eksempel reproduksjon), er arktiske sekundærprodusenter også spesielt avhengige av en god kobling ("*match*") i tid og rom med algeoppblomstringen på våren, siden denne perioden er spesielt kort og intens i Arktis (Søreide et al. 2010). Et fellestrekk for mange sekundærprodusenter i Arktis er at de lagrer lipider (marint fett, spekk ol), noe som antas å være en tilpasning for å kunne overleve og reprodusere i områder som har sterk sesongvariasjonen i miljøforhold. Slik lagring av lipider er dokumentert for copepoder (e.g., *Calanus glacialis*; Søreide et al. 2010), krill (e.g., *Thysanoessa* spp.; Falk-Petersen et al. 1982), amfipoder (e.g., *Themisto libellula*; Dale et al. 2006) og vingesnegler (pteropoder, e.g., *Clione limacina*; Böer et al. 2005, Gannefors et al. 2005).

Meroplankton i arktiske farvann, som primært involverer larver av bunnlevende evertebrater, er typisk blitt mindre studert enn andre typer pelagisk dyreplankton. Imidlertid viste et nylig publisert studium av meroplanktonets årssyklus ved Svalbard en sterk årsvariasjon, men at meroplankton dominerte dyreplanktonsamfunnet i den høyproduktive perioden på våren (spesielt larver av rankeføttinger, Cirripedia) og sommeren (spesielt larver av muslinger, Bivalvia) (Stübner et al. 2016). Utenfor denne høysesongen ble det observert lite meroplankton, med unntak av mosdyrlarver (Bryozoa), som ble registrert store deler av vinteren, med en topp rundt januar-februar (Stübner et al. 2016). Med andre ord later meroplankton til å ha en rolle i økosystemet som er spesielt viktig på våren og sommeren.

Det finnes primært to dominerende arter av amfipoder i iskantsonen i Barentshavet, *Themisto libellula* og *T. abyssorum*. *T. libellula*, som er en "ekte" arktisk art, er mye mer vanlig enn *T. abyssorum* i dette området, og den sistnevnte blir sannsynligvis fraktet inn i iskantsonen med atlantiske vannmasser (Dalpadado et al. 2008a). *T. libellula* finnes (og reproduserer) i mesteparten av iskantsonen, og er ikke vanlig forekommende sør for Polarfronten (Dalpadado 2002, Dalpadado et al. 2008a). *T. libellula*, som sannsynligvis har en toårig livssyklus, anslås å finnes i tettheter på 0-107 individer m⁻² (med et gjennomsnitt på minst 15 individer m⁻²) (Dalpadado 2002, Dalpadado et al. 2008a). Det antas at *T. libellula* primært spiser kopepoder (Scott et al. 1999), noe som gjør den til en nøkkelart i iskantsonens økosystem ved at den overfører energi fra kopepoder til høyere trofiske nivåer (Dalpadado et al. 2008a). Eksempler på slike predatorer er viktige fiskearter som lodde, sild og polartorsk, så vel som både sjøfugl og sjøpattedyr (Dalpadado 2002, og referanser deri). Siden *T. libellula* er en arktisk art, er den avhengig av arktiske vannmasser for å overleve og reprodusere (Dalpadado 2002). Andre arter av amfipoder, som *Gammarus wilkitzkii* og *Apherusa glacialis*, finnes i iskantsonen, men i

motsetning til artene som er nevnt over er disse artene sterkt tilknyttet sjøisen (Poltermann et al. 2000, Dalpadado et al. 2008a).

De vanligste artene av krill i iskantsonen i Barentshavet er *Thysanoessa inermis* og *Thysanoessa longicaudata* (Dalpadado et al. 2008b). Krillen blir fraktet inn i iskantsonen med atlanterhavsvann (Orlova et al. 2015), og de kan bli kjønnsmodne men trolig ikke reprodusere i det kalde vannet i iskantsonen (Dalpadado et al. 2008a). I motsetning til flere av amfipodartene kan med andre ord ingen av krillartene i Barentshavet defineres som "ekte" arktiske arter (e.g., Dalpadado et al. 2001). Likevel er krillen mer vanlig i iskantsonen enn amfipodene, med en gjennomsnitt på 45 individer m⁻² (Dalpadado et al. 2008a). Krill gjør døgnmigrasjoner ved at de står dypere enn 100 m på dagtid og kommer nærmere overflaten (0-60 m dyp) om natten (Falk-Petersen & Kristensen 1985). Denne døgnmigrasjonen kompliserer estimering av antall og biomasse (e.g., Eriksen et al. 2014). Krill er i hovedsak filterspisende som lever av planteplankton (herbivore). *T. inermis* spiser primært planteplankton (diatomeer), mens *T. longicaudata* også spiser calanoide kopepoder (Dalpadado et al. 2008b). Den mindre vanlige *Meganyctiphanes norvegica*, som er den største av krillartene i dette området, spiser både kopepoder og planteplankton (Dalpadado et al. 2008a). Det finnes mange viktige predatorer på krill, og disse inkluderer kommersielt viktige fiskearter (e.g., lodde i perioden februar-april, og torsk på sommeren; Orlova et al. 2011), sel (e.g., grønlandssel; Grahl-Nielsen et al. 2011) og hval (e.g., vågehval; Haug et al. 2002). På grunn av den høye antallet antas det at både amfipoder og krill spiller viktige roller i økosystemet i iskantsonen (Dalpadado et al. 2008a). Selv om antallet amfipoder og krill er mye lavere enn den er for mesozooplankton (e.g., *Calanus* spp.), kompenserer de for dette ved å ha større kroppsstørrelse (slik at biomassen blir likere).

Pelagiske sekundærprodusenter i størrelsesordenen fra 20-200 µm blir ofte benevnt microzooplankton (Sieburth et al. 1978), og i iskantsonen inkluderer denne gruppen ciliater (e.g., *Cyclotrichium sphaericum* og *Parafavella gigantea*) og dinoflagellater (e.g., *Gymnodinium arcticum* og *Gyrodinium spirale*) (Franzè & Lavrentyev 2014). Arter i størrelsesordenen fra 200-2000 µm blir ofte benevnt mesozooplankton (e.g., *Calanus* spp.) (Pasternak et al. 2008, og referanser deri). I tillegg blir gruppe av middelstore individer (100-500 µm) benevnt sub-mesozooplankton, og denne gruppen inkluderer arter som *Oithona* spp., i tillegg til ulike typer meroplankton og unge stadier av små copepoder (Pasternak et al. 2008). Tradisjonelt er det gruppen mesozooplankton som har fått mest oppmerksomhet av forskere på grunn av at de er tallrike og enkle å fange med planktonhåv, men i senere tid er man blitt oppmerksom på at også arter av mindre størrelse spiller viktige roller i økosystemet. For eksempel har gruppen sub-mesozooplankton en høyere antall og et liknende beitetrykk på planteplankton sammenliknet med gruppen mesozooplankton (Pasternak et al. 2008); deres rolle i økosystemet er derfor tradisjonelt blitt undervurdert. De seks vanligste artene og artsgruppene av mesozooplankton (biomasse) i iskantsonen i Barentshavet inkluderer ulike arter og livsstadier av copepoder (inkludert *Calanus* spp. og *Metridia longa*, *Oithona* spp., *Microcalanus* spp., og *Pseudocalanus* spp.), halesekkdyr (appendikularier) og meroplankton (Pasternak et al. 2008).

Tre herbivore copepodarter fra slekten *Calanus* regnes som nøkkelarter i iskantsonen: den boreale arten *C. finmarchicus* og de arktiske artene *C. glacialis* og *C. hyperboreus*. Som nevnt tidligere i denne teksten så utgjør produksjonen av isalger en tidlig energikilde for arktiske copepoder som *C. glacialis* og *C. hyperboreus*, som har tilpasset sine livssykluser til denne blomstringen og den påfølgende pelagiske algeblomstringen (Falk-Petersen et al. 2009, Leu et al. 2011, Daase et al. 2013). I følge et sesongstudium (sommersesongen 2002) i Kongsfjorden på Svalbard varierte den total tettheten (alle arter) av dyreplankton mellom 40 - 2010 individer m^{-3} om våren (i midten av april) og mellom 410 - 10 560 individer m^{-3} på sommeren og høsten (juli til september) (Walkusz et al. 2009). Eiane & Tande (2009) anslo at tettheten av *C. glacialis* kunne komme opp i omtrent 20 mg C m^{-3} . *C. hyperboreus* har mye lavere tettheter enn *C. finmarchicus* og *C. glacialis* i disse områdene (< 0.3 g tørrvekt m^{-2} ; Arashkevich et al. 2002).

Den boreale *C. finmarchicus* blir fraktet inn i iskantsonen med Atlanterhavsvann om våren (Edvardsen et al. 2003), etter å ha overvintret på dypere vann lengre sør om vinteren (Gaardsted et al. 2011), og den utnytter den høye, pelagiske primærproduksjonen nær iskanten i løpet av våren og sommeren (Wassmann et al. 2006, og referanser deri). *C. glacialis* kommer derimot opp til på grunt vann før isen har begynt å bryte opp om våren. Den får energi til reproduksjonen ved å spise isalger, mens avkommet primært får energi til å utvikle seg ved å spise pelagisk planteplankton (Daase et al. 2013). Disse *Calanus*-artene fremstår som meget viktig føde for en rekke arter på høyere trofiske nivå i sommersesongen (Hamre 1994, Falk-Petersen et al. 2000, 2009).

5 Bunndyr

Selv om vår forståelse av bunndyrene (benthos) sine funksjonelle roller er begrenset, vet vi at bunndyrene er viktige funksjonelle komponenter i økosystemet, blant annet fordi mange arter som lever av organisk materiale i bunnsedimentene tilgjengeliggjør energi som er produsert ved overflaten (e.g., omfordeling og remineralisering av denne energien; Jørgensen et al. 2015), først ved å ta opp næring fra alger og fekalier som synker ned til havbunnen, og senere ved å bli spist av organismer på høyere trofiske nivå (e.g., fisk). Videre fungerer bunndyrs samfunnene som oppvekstområde (e.g., koraller fungerer som leve- og oppvekstområde for mange viktige fiskearter, inkludert ulike arter av uer, *Sebastes* spp.; Buhl-Mortensen et al. 2010, Buhl-Mortensen et al. 2015), som skjulested (e.g., trollkrabben, *Lithodes maja*, observeres ofte gjemt under mudderbunnsjurosen, *Bolocera tuediae*; Moen & Svendsen 2014), og som leverandør av andre viktige økosystemtjenester (e.g., svamp, som er vanlige flere steder i iskantsonen i Barentshavet, bidrar til å filtrere og rense vannmassene; Wulff 2001; Anisimova et al. 2011). De fleste bunndyrene er stasjonære / fastsittende eller lite mobile, og sesongvariasjon i artsutbredelse er derfor, med noen få unntak, mindre relevant enn for flere andre artsgrupper e.g., Włodarska-Kowalczyk et al. 2012).

Organismene som lever på havbunnen i iskantsonen får tilført ny næring primært fra to ulike kilder: isalger som synker mot bunn, og pelagisk planteplankton som synker mot bunn. Tidligere i denne teksten har vi sett at transporten av organisk karbon mot havbunnen fra begge disse kildene er betydelig (e.g., Tamelander et al. 2009, Reigstad et al. 2011), at denne transporten representerer en veldig viktig energikilde for organismer som lever på, ved eller i havbunnen (Renaud et al. 2015), og at koblingen mellom prosesser i de frie vannmasser og bunnen er sterk i iskantsonen. (Degen et al. 2016). Mengden energi som når havbunnen antas å være positivt korrelert med mengden bunndyr og biomasse (Carroll et al. 2008, Cochrane et al. 2009, Carroll et al. 2014).

Fordelingen av bunndyr i Barentshavet er relativt godt studert, og siden 2006 er megafauna i Barentshavet blitt registret årlig som en del av "Joint Norwegian–Russian Ecosystem Survey" (Michalsen et al. 2013, Jørgensen et al. 2015). I tillegg kartlegges nå norske havområder systematisk gjennom programmet MAREANO, som gjennomføres i regi av Havforskningsinstituttet (<http://www.mareano.no>; Buhl-Mortensen et al. 2015), men denne kartleggingen har ennå ikke blitt påbegynt i iskantsonen. Bunndyrene i Barentshavet viser et tydelig biogeografisk mønster, der artene har tydelige preferanser når det kommer til dybde, temperatur, salinitet, sedimentets beskaffenhet, strømforhold og graden av isdekke (det vil si antall dager per år som et gitt område er dekket av sjøis) (Cochrane et al. 2009, Carroll & Ambrose 2012, Cochrane et al. 2012, Jørgensen et al. 2015).

Prøvetaking med van Veen-grabb (der både arter som lever *på* havbunnen og arter som lever *i* sedimentet blir fanget) i det sentrale og nordlige Barentshavet viste et romlig mønster med høyest antall i det sentrale Barentshavet og lavere verdier lenger mot nordøst (Cochrane et al. 2009), trolig på grunn av at området i nordøst i størst grad er påvirket av is og dermed har en kortere produksjonsperiode (Cochrane et al. 2012). Videre viste Cochrane et al. (2012) at både totalt antall arter (taxa) og biomasse var negativt korrelert med vann dybde. Grunne

stasjoner (for eksempel ved banker), hvor det ofte er mye strøm, lite sedimentering og kanskje også en forholdsvis sterk kobling mellom prosessene i de frie vannmasser og bunnen, ble dominert av arter som er aktive oppe på havbunnen (ikke i havbunnen). Disse artene inkluderer ulike mosdyr (Bryozoa), rankeføttinger (Cirripedia) og mangebørstemark (Polychaeta), samt *Macoma calcaria*, *Harmothoe*, *Pholoe*, *Lumbrineris* og *Ophiura robusta* (Cochrane et al. 2012). I dypere områder, hvor det er mindre strøm og tykkere sediment, ble det funnet flere gravende arter av mangebørstemark og skjell (bivalvia) (Cochrane et al. 2012). For fremtiden spådde Cochrane et al. (2009) et økt antall bunndyr som følge av mindre is, økt primærproduksjon og dermed mer tilgjengelig mat (energi) for organismer som lever på havbunnen.

I følge et nylig publisert studium av store bunndyr (megabenthos som er bunndyrene som ble prøvetatt i dette studiet var >16 - 22 mm store, og ble tatt med bunntål, slik at bare organismer som ligger på eller over bunn kom med i trålen) i Barentshavet kan iskantsonen i Barentshavet grovt sett deles inn i to store biogeografiske regioner: nordvest og nordøst (Jørgensen et al. 2015). Sammenliknet med det sørlige Barentshavet kjennetegnes disse nordlige delene av Barentshavet ved at de har høyere biomasse (gjennomsnittlig biomasse for prøvetakingsstasjonene i ulike underområder var 2 - 138 kg i nord vs. 0.2 - 84 kg i sør), antall bunndyr (93 - 19 000 i nord vs. 21 - 590 i sør) og antall taxa (290 i nord vs. 268 i sør) av store bunndyr (Jørgensen et al. 2015). Generelt regnes områdene rundt Polarfronten har høyere diversitet og tetthet av bunndyr sammenliknet med områder som er dominert av enten atlantiske eller arktiske vannmasser (Carroll et al. 2008). Den nordvestre delen av iskantsonen, som kjennetegnes av relativt grunt vann, lave temperaturer, lav saltholdighet og relativt høy grad av isdekke (området er stort sett dekket av is om vinteren), inkluderer Høpendypet, Storfjordrenna, Sentralbanken, Svalbard (inkludert kyst, fjorder, sund og Nordaustlandet), Storbanken og Olgadypet (Jørgensen et al. 2015). Dette området hadde det høyeste antall taxa av store bunndyr i Barentshavet. De vanligste artene (>50% av biomassen) i dette området inkluderer muddersjøstjerne (*Ctenodiscus crispatus*), ulike arter av kråkeboller (*Strongylocentrotus* spp.), medusastjerne (*Gorgonocephalus arcticus*) og reken *Sabinea septemcarinata* (Jørgensen et al. 2015). Den nordøstre delen av iskantsonen, som kjennetegnes av relativt dypt vann, lave temperaturer, høy saltholdighet og høy grad av isdekke, inkluderer Sørøst- og Nordøstbassenget, Novaya Zemlya-banken, det nordlige Pechorahavet, områdene øst for Sentralbanken, den dype skråningen nord for Svalbard, sundet mellom Novaya Zemlya og Franz Josef Land og sundet mellom Franz Josef Land og Victoriaøya (Jørgensen et al. 2015). Dette området hadde det høyeste antall av store bunndyr i Barentshavet (40 – 300 000 individer per hal). De vanligste artene i dette området er ulike arter av svamp (Porifera), medusastjerne (*Gorgonocephalus arcticus*) og slangestjernene *Ophiopleura borealis*, *Ophiocantha bidentata* og *Ophiocten sericeum*. I tillegg er dette området det området i Barentshavet som er mest preget av den sterkt mobile snøkrabben (*Chionoecetes opilio*), som finnes i store tettheter i det sentrale og østre Barentshavet (spesielt rett vest for Novaya Zemlya) og som for tiden sprer seg utover i Barentshavet (Agnalt et al. 2011). Generelt later det ikke til å være en unik arktisk bunndyrsfauna med arter som ikke finnes lengre sør (Cochrane et al. 2009), og at det er mange arter som bare forekommer i biologiske prøver en sjelden gang (Cochrane et al. 2012).

Sekundærproduksjon hos store bunndyrsarter i Barentshavet ble nylig undersøkt basert på prøver tatt med bunnrål (det vil si at bare arter som befinner seg på eller over havbunnen vil bli fanget av trålen) under tokt med IMR og PINRO (e.g., Michalsen et al. 2013), og med verdier på opp mot $105 \text{ mg C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ ble det konkludert at produksjonen er mye høyere i den nordøstre delen av Barentshavet enn lenger sør (Degen et al. 2016). De områdene som hadde høyest produksjon var rett vest for Novaya Zemlya og i området rundt Franz Josef land. Imidlertid har vi sett at biomassen av benthos er høy i nord-øst, og dette gjenspeiles i lave verdier på produktivitet (produksjon:biomasse år^{-1}) i dette området sammenliknet med områdene sør-vest i Barentshavet (Degen et al. 2016).

6 Fisk

Biodiversitet, taksonomi og romlig fordeling av fisk i Arktis generelt og i Barentshavet spesielt er nylig blitt oppsummert i flere ulike sammenhenger (Fossheim et al. 2006, Karamushko 2008, Mecklenburg et al. 2011, Christiansen 2012, Johannesen et al. 2012b, Aschan et al. 2013, Christiansen & Reist 2013, Christiansen et al. 2014, Fossheim et al. 2015). Biologien til arktiske fiskearter er generelt mindre kjent enn boreale arters biologi (Christiansen & Reist 2013). Til tross for at det finnes ulike estimater for hvor mange fiskearter som finnes i Barentshavet, er det konsensus om at antallet ligger rundt 150-180 arter (Karamushko 2008, Christiansen & Reist 2013), hvorav omtrent 100 arter regelmessig blir registrert under årlige tokt på høsten (august-oktober) og om vinteren (februar-mars) i regi av Havforskningsinstituttet (HI) og Knipovich Polar Research Institute of Marine Research (PINRO) (Wienerroither et al. 2011, Michalsen et al. 2013). Generelle artsutbredelser for voksen fisk er beskrevet basert på høsttoktdataene (Wienerroither et al. 2011) og vintertoktdataene (Wienerroither et al. 2013). Sammenliknet med andre arktiske havområder er fiskesamfunnet i Barentshavet relativt artsrikt (Christiansen og Reist 2013). Det er anslått at det finnes 41 strengt arktiske fiskearter i Barentshavet (Christiansen og Reist 2013). Imidlertid finnes det ikke noe godt estimat for hvor mange fiskearter som finnes i den delen av Barentshavet som overlapper med den marginale iskantsonen, både fordi dette tallet varierer igjennom året og fra ett år til et annet, men også fordi store klimastyrte endringer i fiskeartenes romlige utbredelse finner sted i disse dager (Fossheim et al. 2015).

Arktiske fiskearter

Med unntak av to pelagiske arter, er de fleste fiskeartene i iskantsonen i Barentshavet sterkt tilknyttet havbunnen (Christiansen 2012). De mest artsrike familiene er ringbukene (Liparidae), ålebrosmene (Zoarcidae) og ulkene (Cottidae), mens noen av de mest vanlige og tallrike arktiske fiskeartene inkluderer polartorsk (*Boreogadus saida*; Ajiad et al. 2013), grønlandsknurrulke (*Triglops nybelini*), tornulke (*Icelus bicornis*) og polarringbuk (*Liparis fabricii*) (Fossheim et al. 2015, Wienerroither et al. 2011), som alle finnes i relativt tette konsentrasjoner i store deler av den nordøstre halvdel av Barentshavet (Wienerroither et al. 2011).

To arktiske rognkjeksarter, svartkjeks (*Eumicrotremus derjugini*) og vortekjeks (*Eumicrotremus spinosus*) er begge vanlige rundt de relativt grunne bankene vest for Novaya Zemlya og øst for Svalbard. Noen arktiske fiskearter, slik som skjellålebrosme (*Lycodes squamiventer*), spissshalet ålebrosme (*Lycodonus flagellicauda*) og svart ringbuk (*Paraliparis bathybius*), finnes kun i noen få, spredte forekomster rundt Svalbard. I russisk farvann sørøst i Barentshavet finnes en arktisk, pelagisk sildeart som heter kaninsild (*Clupea pallasii suworowi*).

De to arktiske og pelagiske fiskeartene som finnes Barentshavet er polartorsk og istorsk (*Arctogadus glacialis*), og begge disse artene (spesielt polartorsken) er knyttet til havisen i Arktis (Christiansen og Reist 2013). Begge disse artene har en sirkumpolar utbredelse, og begge er endemiske til Arktis, men mens polartorsken er en abundant nøkkelart i det arktiske

økosystemet (Hop & Gjøsæter 2013, Ajiad et al. 2013), blir det sjelden registrert istorsk under forskningstokt (Aschan et al. 2009).

De fleste arktiske fisk har liten kroppsstørrelse, relativt lav levealder og relativt tidlig kjønnsmodning (Wiedmann et al. 2014a). De færreste artene har en maksimal kroppslengde på mer enn 30 cm, og den største (isskate, *Amblyraja hyperborea*) blir mindre enn 1 m lang (Wienerroither et al. 2011). Med unntak av polartorsk, er de arktiske fiskeartene stedbundne med liten grad av sesongvandring (Ponomarenko 1968, Christiansen og Reist 2013). Sammenliknet med fiskesamfunn i atlantiske vannmasser i Barentshavet har de arktiske fiskesamfunnene også annerledes næringsnettstruktur, med mer spesialisert diett og mindre kannibalisme (Kortsch et al. 2015).

Arktiske fiskelarver

Arktisk fisk gyter i all hovedsak relativt få, relativt store egg som legges på bunn. Selv om det ikke har vært dokumentert for ålebrosmer i Barentshavet, vet vi at beslektede arter i canadiske farvann passer på eggene sine etter gyting (Silverberg & Bossé 1994); dette kan dermed tenkes å gjelde for denne viktige gruppen av arter i Barentshavet også. Vi vet at blant annet tverrhalet langebarn (*Leptoclinus maculatus*) har pelagiske juvenilstadier som strekker seg over 2-3 år før de bunnslår og starter sine sterkt bunntilknyttede liv (Ottesen et al. 2011). Denne tilpasningen håndteres ved at de har en lipidsekk som de tærer på i perioder hvor det er lav næringstilgang, men som de også kan etterfylle i perioder hvor næringstilgangen er god. Mye tyder på at flere andre grupper av arktiske fiskearter, blant annet ulker og ringbuker, har liknende livshistorier med langvarige pelagiske larvestadier (Camilla Ottesen, pers. comm.).

Boreale fiskearter i Arktis

Et stort antall (omtrent 40) boreale eller arktoboreale fiskearter finnes i de nordlige delene av Barentshavet om sommeren, og mange av disse finnes også minst like langt nord som IMR/PINRO-toktet dekker på vinteren. Lodde (*Mallotus villosus*), som er en nøkkelart i Barentshavet men som ikke regnes som en strengt arktisk art, finnes likevel vanligvis i store tettheter nord for polarfronten hele sommersesongen i forbindelse med sin næringsvandring (Gjøsæter 1998). Andre boreale fiskearter som er vanlig forekommende i den nordlige delen av Barentshavet er nordøstarktisk torsk (*Gadus morhua*; Johansen et al. 2013, Yaragina et al. 2013), nordøstarktisk hyse (*Melanogrammus aeglefinus*; Russkikh & Dingsør 2013), snabeluer (*Sebastes mentella*; Planque et al. 2013), krokulke (*Arctodiellus atlanticus*), nordlig knurrulke (*Triglops murrayi*), langhalet langebarn (*Lumpenus lampretæformis*), gapeflyndre (*Hippoglossoides platessoides*), blåkveite (*Reinhardtius hippoglossoides*; Smirnov et al. 2013) og håkjerring (*Somniosus microcephalus*; Lydersen et al. 2016).

I de senere år har vi sett en såkalt borealisering av fiskesamfunnet i Barentshavet, med en økt representasjon av relativt store, boreale arter som torsk, hyse og gapeflyndre i iskantsonen, samtidig som arktiske fiskearter opptar et stadig mindre område i Barentshavet. Dette er trolig en konsekvens av at vannmassene i Barentshavet har blitt varmere, med en mindre andel

kalde, arktiske vannmasser (e.g., Wiedmann et al. 2014a, Wiedmann et al. 2014b, Fossheim et al. 2015). Dette medfører i sin tur at de kommersielle fiskeriene er i ferd med å trekke seg nordover.

Boreale fiskelarver

Mange vanlige og kommersielt viktige boreale fiskearter gyter utenfor kysten av Nord-Norge på våren, og deres egg og larver drifter nordover langs kysten og inn i Barentshavet i løpet av sommersesongen. Under IMR og PINRO sitt økosystemtokt i august-oktober kartlegges utbredelsen av utvalgte fiskearters larver (e.g., Prozorkevich & Sunnanå 2016). Disse larvene kalles 0-gruppefisk på høsten når kartleggingen foregår, og mange arters 0-gruppelarver er fordelt i den nordlige delen av Barentshavet i august-oktober (0-gruppe; Eriksen et al. 2011, Eriksen & Prozorkevich 2013). Dette gjelder spesielt 0-gruppefisk av artene lodde, torsk, hyse, sild, uer (artsidentifikasjon er vanskelig på unge uer, så larvene kan være av artene *Sebastes norvegicus* eller *S. mentella*), blåkveite, gapeflyndre, steinbit (*Anarhichas minor*, *A. denticulatus* og *A. lupus*) og sil (*Ammodytes marinus*).

7 Sjøfugl

Barentshavet er et produktivt havområde som tiltrekker store mengder sjøfugl. I sommersesongen huser Barentshavet rundt 16 millioner sjøfugl, hvor omkring halvparten regnes som voksne hekkende fugler (Gabrielsen 2009). Det er omtrent 20 arter sjøfugl i Barentshavet, men dette tallet er noe høyere langs kystlinja av Kolahalvøya og Norge som utgjør de sørlige områdene av Barentshavet (<http://www.seapop.no/no>). Biomassen av sjøfugl varierer fra 10.500 tonn om vinteren til 16.400 tonn på sommer og høst i region E1 av ICES Atlantiske fiskeriregioner som inkluderer Norskehavet og Barentshavet (Barrett et al. 2006a). Barrett et al. (2006a) fant at sjøfugl i E1-området konsumerer 1547.000 tonn byttedyr i løpet av et år. Sjøfugl kan grupperes inn i funksjonelle grupper basert på beitestrategi. Pelagisk dykkende arter som alkekonge (*Alle alle*) spiser hovedsakelig zooplankton (hoppekreps, tanglopper og krill), men også små polartorsk og andre byttedyr (Lydersen et al., 1989; Lønne and Gabrielsen, 1992; Mehlum and Gabrielsen, 1993), mens større dykkende arter som polarlomvi (*Uria lomvia*) og teist (*Cepphus grylle*) spiser blekksprut, polartorsk og andre fiskearter i tillegg til amfipoder og krill (Lønne & Gabrielsen 1992, Mehlum & Gabrielsen 1993). Pelagisk overflatebeitende fugl som ismåke (*Pagophila eburnea*), havhest (*Fulmarus glacialis*) og krykkje (*Rissa tridactyla*) finner byttedyr i de øvre vannmassene. Byttedyr varierer noe mellom artene, men fisk som polartorsk og lodde, krill, blekksprut og flerbørstemark (*Nereis sp.*) er viktige næringsemner, og i sørlige deler av Barentshavet er også fiskelarver av ulike arter, lodde, sild og tobis viktige i dietten (Barrett 2007, Lydersen et al. 1989, Mehlum & Gabrielsen 1993, Vihtakari et al., submitted). Næringsgrunnlaget til sjøfugl i Barentshavet gjenspeiler gradienten fra varmt atlantehavsvann i sør og vest til arktiske vannmasser i nord og øst. Langs kysten av Troms og Finnmark høster sjøfuglene av et subarktisk økosystem med sild og tobis, langs polarfronten ved Bjørnøya og i de sentrale deler av Barentshavet er lodde og krill viktige næringsemner, mens lengst mot nord, i de arktiske økosystemene er polartorsk og arktisk dyreplankton viktige. Store måkearter og joer spiser også egg og kyllinger fra andre sjøfugler i sommerhalvåret, mens polarmåke og ismåke inntar kjøtt og spekk fra åtsler etter isbjørnen når de har mulighet. De fleste sjøfuglartene trekker ut av de nordligste områdene av Barentshavet om vinteren, mens arter som havelle (*Clangula hyemalis*), ærfugl (*Somateria mollissima*), praktærfugl (*Somateria spectabilis*), polarmåke (*Larus hyperboreus*), havhest og teist oppholder seg også i de nordlige og mørke områdene på vinteren (Berge et al. 2015a, Strøm 2006). Iskantsonen er spesielt viktige for beitende ismåker (Gilg et al. 2010), alkekonger, polarlomvi og teist (Fort et al. 2013, Hunt et al. 1996, Lønne & Gabrielsen 1992), mens områder foran flytende brefronter er særlig viktige for polarmåke, ismåke, krykkje og havhest (Lydersen et al. 2014). Moderne satellittsendere har gitt unik romlig innblikk i ismåker sin bruk av iskantsonen (Gilg et al. 2010). Ismåker som hekker på Østgrønland, Svalbard eller Franz Josef Land trekker etter hekking (august) opp til iskant og spres både i østlig og vestlig retning. De tre bestandene blander seg og dekker hele iskantområde mellom Severnaya Zemlya og Framstredet. I oktober/november starter de trekket sørover og følger iskanten langs Østgrønland mot vinterområdene i Labradorhavet og Davisstredet (Gilg et al. 2010). Ved bruk av to satellittsenteret på praktærfugl viste sporing at disse overvintret i området Spitsbergenbanken. Et forskningstokt søkte gjennom område og fant at 10.000 praktærfugl brukte dette område for overvintring (Mosbech et al. 2015). Området spitsbergenbanken er et grunt område 20-40 meter. Praktærfuglen oppholder seg i dette område fordi de er i stand til å dykke ned til bunnen for å spise. Spitsbergenbanken ligger rundt polarfronten og om vinteren krysser ofte iskanten og den marginale issonen området.

8 Sjøpattedyr

Den høye biologiske produktiviteten i arktiske havområder med midnattssol gjennom sommeren utgjør grunnen til de rike forekomstene av føde for høyere trofiske organismer som f. eks. sjøpattedyr. Blant de 7 artene av sel og omtrent 10 artene av hval som regelmessig oppholder seg i de arktiske havområdene i Nord-atlanteren er noen tilstede hele året, for eksempel grønlandshval (*Balaena mysticetus*), narhval (*Monodon monoceros*), hvitval (*Delphinapterus leucas*), ringsel (*Phoca hispida*), storkobbe (*Erignathus barbatus*), hvalross (*Odobenus rosmarus*). I tillegg kommer isbjørn (*Ursus maritimus*) som også regnes som et sjøpattedyr. Et flertall andre arter gjennomfører årlige beitemigrasjoner til disse nordlige breddegrader under den produktive sommersesongen, for eksempel knølhval (*Megaptera novaeangliae*), blåhval (*Balaenoptera musculus*) og finnhval (*Balaenoptera physalus*). Avhengigheten av fast is, dravis eller is-påvirkede åpne havområder varierer kraftig mellom arter. Slike variasjoner er som oftest sterkt koblet til de spesifikke livshistoriene til de ulike artene. Direkte avhengighet av fast eller dravis er perioder knyttet til reproduksjon, hårfelling, migrasjon eller jakt, mens indirekte kobling til is ofte er knyttet til isens rolle for biologisk produksjon og dermed tilgang på egnet føde.

Seler

Sel og hvalross er avhengige av is eller land for reproduksjon, hårfelling og hvile, iblant også under beiteperioder. Hvalrossen lever av bunndyr, i hovedsak muslinger, andre mollusker og krepsdyr, og foretrekker kystnære områder om sommeren der den kan finne hvileområder nært næringsrike grunnområder. Hvalross rundt Svalbard er i hovedsak hanndyr, mens hunner er mer vanlige rundt Franz Josef Land, og migrasjoner mellom disse arkipelagene er vanlige (Hamilton et al. 2015a). Telemetristudier fra Svalbard i senere år tyder på at hvalrossen er mindre bundet til kysten om vinteren, og at de oppsøker råker (polynyas) langt til havs i områder med høy iskonsentrasjon (Freitas et al. 2009; Lowther et al. 2015). Disse områdene kan utgjøre viktige reproduksjonsplasser (Lydersen & Kovacs, 2014; Lowther et al. 2015), og innebærer at utbredelse og formering kan påvirkes sterkt av endringer i isutbredelse og konsentrasjon. Blant arktiske arter er ringsel den mest is-avhengige, og er i tillegg den hyppigst forekommende selarten i norske arktiske områder (Krafft et al. 2006). Den trenger både fast is og tykt snølag for å lage snøhuler der de kan hvile, føde unger og være mindre utsatt for predasjon. Ringselen spesialiserer seg på istilknyttede byttedyr, som ulike krepsdyr og polartorsk (Labansen et al. 2007), og jakter både i fjordområder og i tett havis (Freitas et al. 2008). Nylig publisert data fra telemetristudier på ringsel viser at de har skiftet migrasjonsmønster og beiteatferd de siste årene, trolig som en respons på at iskanten trukket seg nordover til dyphavsområdene over Nordishavet (Hamilton et al. 2015b). Disse endringer har hatt som konsekvens at de må bruke mer tid og energi på å finne føde, noe som kan medføre fremtidig endring i utbredelse og formeringsstrategi og nedgang i bestanden (Hamilton et al., 2015b). I norske farvann forekommer storkobben nært kysten og inne i fjordområder, men kan av og til vandre over større havområder (Gjertz et al., 2000). Den har en variert diett bestående av polartorsk, blekksprut samt mollusker og krepsdyr (Hjelset et al., 1999). Den er trolig betydelig mindre avhengig av iskanten, ettersom den fortrinnsvis bruker isflak inne i fjorder til å føde sine unger og å hvile. Grønlandsselen er også en vanlig forekommende art i arktiske strøk, som også er avhengig av is til reproduksjon og hårfelling. Den har en mer variert diett bestående av lodde og annen småfisk, samt krepsdyr som krill og

amfipoder (Nilssen, 1995). Telemetristudier har vist at den er relativt sterkt tilknyttet iskanten om vår og sommer, men at den vanligvis trekker ut i is-frie hav senere på sesongen (Folkow et al. 2004). Klappmyss er en utpreget dyppdykkende art som foretar lange beitemigrasjoner som kan dekke hele Norskehavet (Folkow et al. 1996).

Hvaler

Vacquié-Garcia et al. (2017) presenterer informasjon fra den siste undersøkelsen av hvaler i området nord for Svalbard, som ble utført i august 2015. I tillegg til transekter med båt og helikopter presenterer denne artikkelen også data fra opportunistiske observasjoner som finnes tilgjengelige i NP sin database for sjøpattedyrobservasjoner (Marine Mammal Sightings - MMS, <http://www.npolar.no/no/tjenester/mms/index.html>). Datagrunnlaget fra denne undersøkelsen er ikke tilstrekkelig for å kunne gi bestandsestimater for andre arter enn grønlandshval og narhval, men gir tross dette en god oversiktsbilde av hvor arter er blitt observert i forhold til isforhold. For narhval og grønlandshval antyder resultatene at disse to artene oppholder seg i områder med ulike isforhold. Grønlandshval ble observert overveiende i nærheten av iskanten i is av moderat dekningsgrad (50-80%), imens narhval ble observert på nordligere breddegrader, lenger fra iskanten i mer sammenhengende isdekke (80-100%). Mesteparten av de registrerte observasjonene av hvithval under den samme perioden (fra MMS) ble gjort nært kysten av Svalbard og inne i fjordene, og følgelig langt unna iskanten om sommeren. Dette stemmer bra med tidligere observasjoner og resultater fra telemetristudier som viser at denne arten vandrer nesten utelukkende langs kysten og i indre fjordstrøk i nærheten av brefronter, og er mindre avhengig av havisen i denne perioden av året (Lydersen et al. 2001, Lydersen, pers. komm).

Når det gjelder sommergjestende hvalarter tyder det meste på at de oppholder seg fortrinnsvis ved kontinentalskråningen, troligvis grunnet god tilgang på mat i disse områder, men i senere år har flere arter blitt observert regelmessig inne i fjordene på Svalbard (Lydersen, Kovacs et al., pers. medd.). Dette kan muligens forklares med økt innstrømming av Atlanterhavsvann med assosierte byttedyr i disse områdene. For bardehvaler er de vanligst observerte sommergjestene finnhval, blåhval, knølhval, og vågehval, mens for tannhvaler er kvitnos (*Lagenorhynchus albirostris*) den vanligst forekommende sommergjesten, med mindre antall observasjoner av spermhval (*Physeter macrocephalus*) og spekkhuggere (Vacquié-Garcia et al., 2017). Nordlig nebbhval (*Hyperodon ampullatus*) er også regelmessig observert i farvannene rundt Jan Mayen om sommeren (Miller et al. 2015), men er trolig ikke nært knyttet til områder med is. Den er også en utpreget dyptdykkende hval, slik at den trolig er uvanlig i farvannene rundt Svalbard og lengre nord.

Isbjørn

Isbjørnen i norske områder er sterkt knyttet til havis i store deler av året hvor den jakter først og fremst på ringsel. Den tar også andre arter, spesielt når den oppholder seg rundt landområder som Svalbard, der både storkobbe, fugl, alger og reinsdyr forekommer i dietten (Iversen et al., 2013). Isen er også en viktig transportvei for isbjørn under migrasjoner i jakt på føde og brukbare områder for binner til å overvintre og føde unger. Ettersom binner er avhengige av snøhuler (hi) under overvintringen er det av avgjørende betydning at

havområdene i nærheten av disse plassene er dekket av is tidlig på høsten for at binnene skal kunne finne frem. Det er også avgjørende at isen ligger tilstrekkelig lenge om våren, slik at binner og unger kan vandre til viktige beiteområder (Derocher et al., 2011). Hvis isen trekker nordover fra Svalbard vinterstid kan dette i verste fall derfor få negative konsekvenser for isbjørn populasjonen. Aars et al. (2009) rapporterer en populasjonsstørrelse i hele Barentshavsregionen på rundt 2,600 dyr.

Direkte og indirekte koblinger til is og mulige trusler som følge av endringer i isutbredelse

Tabell 1 oppsummerer forholdet til iskantssonen for de viktigste is-avhengige artene i norske farvann, samt forventet respons på endringer i isforhold. Denne tabellen er modifisert fra Kovacs et al. (2011), med oppdatert informasjon på populasjonsstatus og trend der slik data er tilgjengelig.

I tillegg til endringer som er direkte koblet til variasjoner i isutbredelse kan mange sjøpattedyr være utsatte for forstyrrelser og trusler koblet til økt tilstedeværelse av menneskelig aktivitet i samband med fiske, petroleumsutvinning, mineralprospektering og kommersiell skipsfart gjennom Arktis. Trusler mot sjøpattedyr fra slik aktivitet inkluderer bl.a. forurensning, støy, oljeutslipp og konkurranse om fiskeressurser. Reeves et al. (2014) gir en detaljert gjennomgang av mulige effekter av petroleumsrelaterte aktiviteter og skipstrafikk på de tre endemiske hvalartene som er angitt i Tabell 1. På global basis overlapper flere områder som allerede er åpne, eller planlagt for åpning for petroleumsrelatert aktivitet, med områder der disse tre artene er tilstede enten på sesongs- eller på helårsbasis (Reeves et al. 2014). I norske farvann ligger flertallet slike områder relativt langt sør fra isdekket farvann, men noen konsesjonsområder er blitt etablert også i nordligere strøk, og rike forekomster av hydrokarboner er tilstede i stort sett hele Barentshavet og farvannene rundt Svalbard (Reeves et al., 2014). Flere arter av sjøpattedyr er helt avhengige av akustiske signaler for navigasjon, kommunikasjon og for å finne føde. Akustisk støy i samband med seismiske undersøkelser eller boring kan medføre ulike grader av forstyrrelser, fra kortvarige atferdsendringer, utestenging fra viktige beiteområder til kommunikasjonsproblemer eller til og med direkte skader på hørsel-organer (Southall et al., 2007, Reeves et al., 2014 og referanser deri).

Tabell 1. Viktige isavhengige arter, deres tilknytting til is, samt mulig respons til endringer i isforhold. Modifisert fra Kovacs et al. (2011).

Art	Bestand	Trend	Status	Forhold til havis	Utsatthet for endringer i isforhold
Hvalross	3,900 ¹	↗	VU	Reproduksjon, hvilested over grunnbanker langt fra land	Havis utvider utbredelsen under beiteperioder markant, hvilket kan stimulere populasjonsvekst
Ringsel	7,585 ²	?	LC	Tilknyttet is hele året. Trenger fast is med godt snølag over flere måneder når ungene er små, for reproduksjon, hårfelling, samt som hvileplass under sommeren. Også noe avhengig av fødearter som er tilknyttet havis	Isdanning må skje i god tide, slik at tilstrekkelig snødekke kan dannes der seler kan lage snøhuler, og det må forbli stabilt under den flere måneder lange ammeperioden (samt for reproduksjon og hårfelling)
Storkobbe	?	?	LC	Tilknyttet is hele året. Trenger flak av førsteårs-is på våren for ungeproduksjon og hårfelling, og som hvileplass under sommeren	Havis må være tilstede i grunne havområder med rik bentisk fauna, særlig under ammeperioden
Grønlandssel	627,410 ³	↗/→	LC	Reproduksjon i dravis	Dravis må være tilstede under sen vinteren og tidlig vår for å tillate fødsel og amming av unger i områder med
Klappmyss	84,020 ⁴	↘	VU	Reproduksjon og hårfelling på store, tykke flak i dravisen under våren	
Grønlandshval	3435	?	CE	Kraftig tilpasset et liv i og rundt isdekte farvann året rundt	Viktigste isrelaterte betydningen for is-tilpassede hvaler er sannsynligvis hvordan havis påvirker strukturen og oppbyggingen av økosystemet, og hvordan det påvirker tilgangen på føde
Hvithval	?	?	NT	Mesteparten av populasjonene lever i områder dominert av havis året rundt	
Narhval	8375	?	NT	Lever i områder dominert av sjøis mesteparten av året, viktige bentiske beiteområder i dravisområder under vinteren	
Isbjørn	2,650 ⁶	?	VU	Jakter og forflytter seg i stor utstrekning på fast is og dravis, dette gjelder spesielt binner med unger.	Kortere is-sesong kan medføre langere fasteperioder

¹Kovacs et al. (2014); ²Krafft et al. (2006); ³Øigård et al. (2014a); ⁴Øigård et al. (2014b); ⁵Vacquié-Garcia et al. (2017); ⁶Aars et al. (2009)

9 Fremtidsscenario og kunnskapshull

Tidligere i denne teksten har vi sett at storskala miljøendringer medfører varmere vannmasser, mindre is og mer åpent vann i arktiske strøk slik som iskantsonen i Barentshavet (Johannesen et al. 2012a, Smedsrud et al. 2013, Barber et al. 2015, Falk-Petersen et al. 2015, Overland & Wang 2013). For eksempel har vi nevnt at man forventer en temperaturøkning på 4 °C i tidligere isdekte områder i Barentshavet, med påfølgende reduksjon av havisen i farvannene rundt Svalbard (Smedsrud et al. 2013). Fjordene på vestsiden av Svalbard er blitt mer influert av Atlantisk vann det siste tiåret og gradvis mer isfri om vinteren (Pavlov et al. 2015; Muckenhuber et al. 2016). Disse endringene i det fysiske miljøet vil i sin tur medføre endrede betingelser for en rekke arter som lever i Barentshavet og farvannet rundt Svalbard, på alle trofiske nivå, blant annet med forflytning av tidligere biogeografiske grenser.

Dersom isen fortsetter å trekke seg tilbake vil dette i første rekke få konsekvenser for primærproduksjonsregimet i iskantsonen. Siden det vil bli mer ettårsis og mindre flerårsis, vil artssammensetningen av isalger i fremtiden trolig bli mer preget av *Nitzschia frigida* enn av *Melosira arctica* (Leu et al. 2015). Videre vil mer åpen vann bety at en større andel av primærproduksjonen vil bestå av pelagisk planteplankton, siden isalgene (som trolig står for 16-22 % av den totale primærproduksjonen i iskantsonen i Barentshavet; Hegseth 1998) vil forsvinne med isen. Foreløpig er omfanget og kvaliteten av primærproduksjonen i et fremtidig isfritt miljø i Barentshavet usikker, men modellstudier indikerer at primærproduksjonen vil øke de nærmeste årene (e.g., Ellingsen et al. 2008). Likevel vil også stratifiseringen av vannmassene bli sterkere som følge av økt ismelting og oppvarming av vannmassene, og dette kan komme til å gi opphav til næringsmangel for algene når næringssaltene i det øvre vannlaget er brukt opp (Slagstad et al. 2015, Sundby et al. 2016). Videre forventes det at en oppvarming av vannmassene vil favorisere planteplankton av mindre størrelse, som igjen vil styrke det mikrobielle næringsnett (og den regenererte produksjonen) og dermed redusere den vertikale eksporten av karbon mot bunn (Reigstad et al. 2011). Likevel ventes iskantsonen i Barentshavet og farvannet rundt Svalbard å få en sterk økning i primærproduksjonen som følge av mer åpent vann (Slagstad et al. 2015). Flere sekundærprodusenter, som amfipodene *Gammarus wilkitzkii* og *Apherusa glacialis*, er sterkt tilknyttet isen og vil trolig følge etter en tilbaketrekkende iskant (e.g., Dalpadado et al. 2008a). Også for nøkkelarten *Calanus glacialis*, som er en "ekte" arktisk copepod, er isen viktig siden den bruker energi som den får ved å spise isalger til å gjennomføre sin reproduksjon (Daase et al. 2013). Den boreale *C. finmarchicus* er derimot ventet å bli mer produktiv i tidligere isdekte områder (Slagstad et al. 2015).

Man antar at mindre is og en økt primærproduksjon i iskantsonen i fremtiden vil gjøre at bunndyrene (benthos) vil øke sin representasjon (det vil si, de vil flytte sine biogeografiske grenser) og biomasse i nord (e.g., Cochrane et al. 2009, Jørgensen et al. 2015). Det finnes imidlertid eksempler på studier som spår en lavere bentisk produksjon og biomasse i det nordlige Barentshavet i fremtiden (e.g. Carroll & Ambrose 2012, Degen et al. 2016). Et eksempel på en art som er i tydelig forflytning er snøkrabben, som sannsynligvis vil spre seg utover store deler av Barentshavet i nær fremtid. Imidlertid vil fraværet av is og den romlige ekspansjonen av flere boreale fiskearter (e.g., Fosshem et al. 2015) medføre et sterkere

nærvær av kommersielle fiskerier i Arktis (e.g., Jørgensen et al. 2016), og bunntåling vil i sin tur gi en negativ påvirkning på mange bunndyrarter i disse områdene. For eksempel har man i Høpendypet, hvor det lenge har foregått et omfattende fiskeri etter reker, registrert en nedgang i fiskeri-sensitive bunndyrarter som *Gorgonacephalus eucnemis* og *Heliometra glacialis* (Jørgensen et al 2015). Dataene som danner grunnlaget for Jørgensen et al. (2015), ble samlet inn i hele Barentshavet i 2011, vil bli brukt som referansedatasett når man skal overvåke fremtidige artsutbredelser i Barentshavet.

Sjøfuglbestander over hele kloden avtar. Den generelle populasjonsnedgangen i de overvåkede bestandene var på nesten 70 % for perioden 1950 – 2010 (Palczny et al. 2015). Sjøfugl er avhengig av produksjonen i havet og tilgjengelighet av riktig type mat fra havet. Totalt konsumerer sjøfugl store kvanta av sjømat (Barrett et al., 2002) og fiske og variasjon i fiskebestander påvirker sjøfugl (Barrett 2007, Barrett et al. 2006b, Cury et al. 2011, Erikstad et al., 2013). Imidlertid er koblingen av modeller for sjøfuglbestander og fiskebestander utfordrende siden sjøfugl oftest beiter små fisk eller tidlige livsstadier, mens fiskebestandsmodeller har fokus på kommersielt interessante fiskestørrelser (Cairns, 1992). Den generelle nedgangen i sjøfuglbestandene gjelder også i norske farvann. En analyse av dataene fra prosjektet SEAPOP viser at storskarv *Phalacrocorax carbo*, ærfugl, krykkje og lomvi i Norskehavet, gråmåke (*Larus argentatus*), svartbak (*Larus marinus*), krykkje og polarlomvi i Barentshavet og havhest, polarmåke og polarlomvi Bjørnøya og Spitsbergen har hatt en bestandsnedgang på mer enn 50 % de siste 25 år (Fauchald et al., 2015), noe som har resultert i at nesten halvparten av sjøfuglartene er på rødlista (Tabell 2).

Tabell 2: Den norske rødlista gir en oversikt over sårbare og truede arter i Norge og Svalbard (Henriksen & Hilmo 2015, Kålås et al. 2010).

Art	Vitenskapelig navn	Nasjonal rødliste, fastlandet *)	Nasjonal rødliste, Svalbard *)
Havhest	<i>Fulmarus glacialis</i>	EN	LC
Havsule	<i>Morus bassanus</i>	LC	LC
Ærfugl	<i>Somateria mollissima</i>	NT	LC
Praktærfugl	<i>Somateria spectabilis</i>	-	NT
Tyvjo	<i>Stercorarius parasiticus</i>	LC	LC
Storjo	<i>Stercorarius skua</i>	LC	LC
Sabinemåke	<i>Xema sabini</i>	-	VU
Polarmåke	<i>Larus hyperboreus</i>	-	NT
Svartbak	<i>Larus marinus</i>	LC	LC
Krykkje	<i>Rissa tridactyla</i>	EN	NT

Ismåke	<i>Pagophila eburnea</i>	-	VU
Rødnebbterne	<i>Sterna paradisaea</i>	LC	LC
Lomvi	<i>Uria aalge</i>	CR	VU
Polarlomvi	<i>Uria lomvia</i>	EN	NT
Alke	<i>Alca torda</i>	EN	EN
Teis	<i>Cephus grylle</i>	VU	LC
Alkekonge	<i>Alle alle</i>	-	LC
Lunde	<i>Fratercula arctica</i>	VU	LC

*) LC (Livskraftig), NT (Nær truet), VU (Sårbar), EN (Sterkt truet), CR (Kritisk truet).

Ved å se detaljert på bestandene av 7 ulike populasjoner av polarlomvi fra Svalbard og Bjørnøya viser disse at nedgangen startet på slutten av 1990-tallet (Descamps et al., 2013). Alle populasjonene viser den samme trenden, men de årlige fluktueringene har hatt ulike mønster. Resultatene viser videre at forholdene i vinterområdet kan være årsaken til populasjonsnedgangen siden nedgangen sammenfaller med en svekket subpolare virvel fra midten av 1990-tallet, noe som førte til en oppvarming av Nord-Atlanteren (Descamps et al., 2013). I et fremtidssenario med høyere temperatur viser modellene at indirekte effekter av meteorologiske forhold påvirker sjøfugl gjennom næringskjeden og at økt overflatetemperatur gir lavere voksenoverlevelse (Sandvik et al., 2005).

I tillegg til klimaendringene er sjøfugl utsatt for et mangfold av stressfaktorer som forurensning, plast, forstyrrelser, jakt, bifangst og konkurranse i matfatet fra fiskeri. Stressfaktorene er vanskelige å skille fra hverandre og de kan gi samvirkende effekter. Redusert mattilgang kan redusere fettreservene i kroppen og øke konsentrasjonene av fettløste miljøgifter siden disse frigjøres når fett forbrennes. Økte konsentrasjoner av persistente organiske miljøgifter kan gi en rekke endokrine effekter (Verreault et al., 2010), atferdsmessige endringer (Bustnes et al., 2001) og i ytterste konsekvens død (Sagerup et al., 2009). I et modellert studium med økt temperatur og høyere primærproduksjon uten endringer i næringskjeden fant Borgå et al. (2010) at den samlede bioakkumuleringen av miljøgifter ble redusert på grunn av økt konsentrasjon av partikulært organisk materiale. Atmosfæriske forhold i form av den arktiske oscillasjon (AO se met.lex) viste at konsentrasjonen av miljøgifter i polarmåke fra Bjørnøya ble påvirket av atmosfærisk svingninger. Økt transport av luftmasser foregående vinter og sommer økte konsentrasjonene av miljøgifter i blodet til fuglene (Bustnes et al. 2010). Virkningen av AO var sterkest for heksaklorbenzen (HCB), en forholdsvis flyktig forbindelse. Det vil også bli endringer i miljøgiftkonsentrasjoner som en konsekvens av endret klima og introduksjon av nye arter og en endret sammensetningen av næringskjedene, imidlertid er dette et komplekst felt å studere og til nå viser ulike studier sprikende resultater (Mckinney et al. 2015). En lang rekke av studier viser fallende konsentrasjoner i Arktis av regulerte miljøgifter (Helgason et al. 2012; Hung et al., 2016; Rigét et al. 2015). Men nye stoffer blir hvert år oppdaget i miljøet og

inkludere et bredt spekter av nye klor-, brom-, fluor- og fosforholdige kjemikalier (Evenset et al. 2009, Hallanger et al. 2015, Herzke et al. 2013, Verreault et al. 2010). Det viktigste tiltaket for å redusere miljøgiftpresset i Arktisk vil sannsynligvis være å fortsette arbeidet med å regulere miljøgifter som fyller kriteriene i Stockholmkonvensjonen.

Sjøpattedyrene er trolig en av de artsgruppene som i størst grad vil merke fravær av is. Mange sjøpattedyr, som hvalross, ringsel, storkobbe, grønlandssel, klappmyss, grønlandshval, hvithval, narhval og isbjørn er avhengige av is i ulike deler av livshistorien (se Tabell 1 for et sammendrag).

Selv om det allerede finnes mye informasjon om økosystemet i iskantsonen i Barentshavet, finnes det mange eksempler på økosystemkomponenter- og prosesser der vår kunnskap er mangelfull. For eksempel vet man lite om produksjonen (primær- og sekundærproduksjon) langs sokkelkanten nord og øst for Svalbard. Denne produksjonen er forventet å øke i årene fremover, og området er dermed forventet å bli viktigere for arter på høyere trofiske nivå, inkludert sjøpattedyr (Falk-Petersen og Lydersen pers. medd.). Studier av antall, biomasse og produksjon hos benthos i Barentshavet er ikke samstemt i om verdiene er høye eller lave i det nordøstre Barentshavet, eller om hva som vil bli konsekvensene (for eksempel om det vil bli høyere eller lavere benthosproduksjon) av en den pågående issmeltingen i disse områdene. Når det gjelder fiskesamfunnet i iskantsonen så er man i ferd med å dokumentere en økende grad av borealisering, det vil si at boreal fisk i større og større grad blir representert og dominant i disse områdene. Man vet imidlertid ikke hvorvidt de arktiske fiskeartene vil bli presset nordover som følge av fysiske faktorer (inkludert vanntemperatur) og konkurranse med de større, boreale artene, om de vil beherske denne kombinasjonen av nye fysiske og biologiske stressfaktorer i lengden, eller hvordan de vil tåle de intensiferte kommersielle fiskeriene i de nordligste områdene. Også romlig fordeling av fiskelarver og -yngels fordeling om vinteren er lite belyst. Man vet lite om sjøpattedyrenes romlige utbredelser i de periodene hvor de ikke befinner seg rundt isen. Når det gjelder sjøfugl så er teknologien foreløpig ikke god nok til at vi har noen god kunnskap om artenes romlige fordeling i mørketiden. På miljøgiftsiden er man inne i en kontinuerlig prosess der man undersøker nye miljøgifter, samt endringer i konsentrasjon av kjente miljøgifter, og noen tydelige kunnskapshull har vi ikke klart å identifisere. Imidlertid er det uklart hvordan fremtidige klimaendringer vil påvirke miljøgiftenes toksologi, fordeling og konsentrasjon.

10 Referanser

- Aars, J., Marques, T., Andersen, M., Belikov, S., Boltunov, A., Buckland, S.T. and Wiig, Ø. 2009. Estimating the Barents Sea polar bear subpopulation size. *Marine Mammal Science* 25:35-52.
- Agnalt, A.L., Pavlov, V., Jørstad, K.E., Farestveit, E., Sundet, J. (2011) The snow crab, *Chionoecetes opilio* (Decapoda, Majoidea, Oregoniidae) in the Barents Sea. Pp 283–300 in Galil, B.S., Clark, P.F., Carlton, J.T. (eds.) *In the wrong place—alien marine crustaceans: distribution, biology and impacts*. Springer, Heidelberg,
- Ajiad, A., Oganin, I.A., Gjøsæter, H. (2013) Polar cod. Pp. 315-328 in Jacobsen, T. & Ozhigin, V.K. (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Anisimova, N.A., Jørgensen, L.L., Lyubin, P.A., Manushin, I.E. (2011) Benthos and shellfish. Pp. 121-167 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Arashkevich, E., Wassmann, P., Pasternak, A., Wexels Riser, C. (2002) Seasonal and spatial changes in biomass, structure, and development progress of the zooplankton community in the Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 38: 125-145.
- Arrigo, K.R., Perovich, D.K., Pickart, R.S., Brown, Z.W., van Dijken, G.L., Lowry, K.E., Mills, M.M., Palmer, M.A., Balch, W.M., Bahr, F., Bates, N.R., Benitez-Nelson, C., Bowler, B., Brownlee, E., Ehn, J.K., Frey, K.E., Garley, R., Laney, S.R., Lubelczyk, L., Mathis, J., Matsuoka, A., Mitchell, B.G., Moore, G.W.K., Ortega-Retuerta, E., Pal, S., Polashenski, C.M., Reynolds, R.A., Schieber, B., Sosik, H.M., Stephens, M., Swift, J.H. (2012) Massive phytoplankton blooms under Arctic sea ice. *Science* 336: 1408.
- Arrigo, K.R., van Dijken, G.L. (2011) Secular trends in Arctic Ocean net primary production. *Journal of Geophysical Research* 116: C09011.
- Aschan, M., Karamushko, O.V., Byrkjedal, I., Wienerroither, R., Borkin, I.V., Christiansen, J.S. (2009) Records of the gadoid fish *Arctogadus glacialis* (Peters, 1874) in the European Arctic. *Polar Biology* 32: 963-970.

- Aschan, M., Fossheim, M., Greenacre, M., Primicerio, R. (2013) Change in fish community structure in the Barents Sea. PLoS ONE 8: e62748
- Assmy, P., Fernández-Méndez, M., Duarte, P., Meyer, A., Randelhoff, A., Mundy, C.J., Olsen, L.M., Kauko, H.M., Bailey, A., Chierici, M., Cohen, L., Doulgeris, A.P., Ehn, J.K., Fransson, A., Gerland, S., Hop, H., Hudson, S.R., Hughes, N., Itkin, P., Johnsen, G., King, J.A., Koch, B.P., Koenig, Z., Kwasniewski, S., Laney, S.R., Nicolaus, M., Pavlov, A.K., Polashenski, C.M., Provost, C., Rösel, A., Sandbu, M., Spreen, G., Smedsrud, L.H., Sundfjord, A., Taskjelle, T., Tatarek, A., Wiktor, J., Wagner, P.M., Wold, A., Steen, H., Granskog, M.A. (2017) Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. Scientific Reports 7: 40850.
- Barber, D.G., Hop, H., Mundy, C.J., Else, B., Dmitrenko, I.A., Tremblay, J.E., Ehn, J.K., Assmy, P., Daase, M., Candlish, L.M., Rysgaard, S. (2015) Selected physical, biological and biogeochemical implications of a rapidly changing Arctic Marginal Ice Zone. Progress in Oceanography 139: 122-150.
- Barrett, R.T. (2007) Food web interactions in the southwestern Barents Sea: black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* respond negatively to an increase in herring *Clupea harengus* (2007) Marine Ecology Progress Series 349: 269-276.
- Barrett, R.T., Chapdelaine, G., Anker-Nilssen, T., Mosbech, A., Montevecchi, W.A., Reid, J.B., Veit, R.R., 2006a. Seabird numbers and prey consumption in the North Atlantic. ICES Journal of Marine Science 63: 1145-1158.
- Barrett, R.T., Lorentsen, S.H., Anker-Nilssen, T. (2006b) The status of breeding seabirds in mainland Norway. Atlantic Seabirds 8: 97-126.
- Berge, J., Renaud, P.E., Darnis, G., Cottier, F., Last, K., Gabrielsen, T.M., Johnsen, G., Seuthe, L., Weslawski, J.M., Leu, E., Moline, M., Nahrgang, J., Søreide, J.E., Varpe, Ø., Lønne, O.J., Daase, M., Falk-Petersen, S., (2015a) In the dark: A review of ecosystem processes during the Arctic polar night. Progress in Oceanography 139: 258-271.
- Berge, J., Heggland, K., Lønne, O.J., Cottier, F., Hop, H., Gabrielsen, G.W., Nøttestad, L., Misund, O.A. (2015b) First records of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) from the

- Svalbard Archipelago, Norway, with possible explanations for the extension of its distribution. *Arctic* 68: 54-61.
- Böer, M., Gannefors, C., Kattner, G., Graeve, M., Hop, H., Falk-Petersen, S. (2005) The Arctic pteropod *Clione limacina*: seasonal lipid dynamics and life-strategy. *Marine Biology* 147: 707-717.
- Borgå, K., Saloranta, T.M., Ruus, A., 2010. Simulating climate change-induced alterations in bioaccumulation of organic contaminants in an arctic marine food web. *Environmental Toxicology and Chemistry* 29: 1349-1357.
- Buhl-Mortensen, L., Hodnesdal, H., Thorsnes, T. (2015) The Norwegian sea floor. New knowledge from MAREANO for ecosystem-based management. MAREANO. 192 pp.
- Buhl-Mortensen, L., Vanreusel, A., Gooday, A.J., Levin, L.A., Priede, I.G., Buhl-Mortensen, P., Gheerardyn, H., King, N.J., Raes, M. (2010) Biological structures as a source of habitat heterogeneity and biodiversity on the deep ocean margins. *Marine Ecology* 31: 21-50.
- Bustnes, J.O., Bakken, V., Erikstad, K.E., Mehlum, F., Skaare, J.U., (2001) Patterns of incubation and nest-site attentiveness in relation to organochlorine (PCB) contamination in glaucous gulls. *Journal of Applied Ecology* 38: 791-801.
- Cairns, D.K. (1992) Bridging the gap between ornithology and fisheries science: use of seabird data in stock assessment models. *Condor*: 811-824.
- Carroll, M.L., Ambrose, W.G. Jr, Locke, W.L., Ryan, S.K., Johnson, B.J. (2014) Bivalve growth rate and isotopic variability across the Barents Sea Polar Front. *Journal of Marine Systems* 130: 167-180.
- Carroll, M.L., Carroll, J. (2003) The Arctic seas. Pp. 127-156 in Black, K.D., Shimmield, G.B. (eds) *Biogeochemistry of marine systems*. Blackwell, Oxford.
- Carroll, M.L., Stanislav, G., Denisenko, G., Renaud, P.E., Ambrose, W.G. Jr (2008) Benthic infauna of the seasonally ice-covered western Barents Sea: patterns and relationships to environmental forcing. *Deep Sea Research II* 55: 2340–2351.

- Carroll, M.L., Ambrose, W.G. (2012) Benthic infaunal community variability on the northern Svalbard shelf. *Polar Biology* 35: 1259-1272.
- Christiansen, J.S. (2012) The TUNU programme: Euro-Arctic marine fishes – diversity and adaptation. Pp. 35-50 in: Verde C & di Prisco G (eds.) *Adaptation and evolution in marine environments: from pole to pole*. Springer-Verlag, Berlin heidelberg
- Christiansen, J.S., Reist, J.D. (2013) Fishes. Pp. 192-245 in *Arctic biodiversity assessment. Status and trends in Arctic biodiversity*; Meltofte, H. (ed.). Narayana Press Denmark.
- Cochrane, S.K.J., Denisenko, S.G., Renaud, P.E., Emblow, C.S., Ambrose Jr, W.G., Ellingsen, I.H., Skarðhamar, J. (2009) Benthic macrofauna and productivity regimes in the Barents Sea – Ecological implications in a changing Arctic. *Journal of Sea Research* 61: 222-233.
- Cochrane, S., Pearson, T.H., Greenacre, M., Costelloe, J., Ellingsen, I.H., Dahle, S., Gulliksen, B. (2012) Benthic fauna and functional traits along a Polar Front transect in the Barents Sea – advancing tools for ecosystem-scale assessments. *Journal of Marine Systems* 94: 204-217.
- Collie, J., Hiddink, J.G., van Kooten, T., Rijnsdorp, A.D., Kaiser, M.J., Jennings, S., Hilborn, R. (2016) Indirect effects of bottom fishing on the productivity of marine fish. *Fish and Fisheries*. DOI: 10.1111/faf.12193.
- Cury, P.M., Boyd, I.L., Bonhommeau, S., Anker-Nilssen, T., Crawford, R.J.M., Furness, R.W., Mills, J.A., Murphy, E.J., Oesterblom, H., Paleczny, M., Piatt, J.F., Roux, J.-P., Shannon, L., Sydeman, W.J. (2011) Global Seabird Response to Forage Fish Depletion-One-Third for the Birds. *Science* 334: 1703-1706.
- Daase, M., Falk-Petersen, S., Varpe, Ø., Darnis, G., Søreide, J.E., Wold, A., Leu, E., Berge, J., Philippe, B., Fortier, L. (2013) Timing of reproductive events in the marine copepod *Calanus glacialis*: a pan-Arctic perspective. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70: 871-884.

- Dahl, T.M., Falk-Petersen S, Gabrielsen, G.W., Sargent, J.R., Hop, H., Millar, R.-M. 2003. Lipids and stable isotopes in common eider, black-legged kittiwake and northern fulmar - A trophic study from an Arctic fjord. *Marine Ecology Progress Series* 256: 257-269.
- Dale, K., Falk-Petersen, S., Hop, H., Fevolden, S.E. (2006) Population dynamics and body composition of the Arctic hyperiid amphipod *Themisto libellula* in Svalbard fjords. *Polar Biology* 29: 1063-1070.
- Dalpadado, P. (2002) Inter-specific variations in distribution, abundance and possible life-cycle patterns of *Themisto* spp. (Amphipoda) in the Barents Sea. *Polar Biology* 25: 656-666.
- Dalpadado, P., Borkner, N., Bogstad, B., Mehl, S. (2001) Distribution of *Themisto* (Amphipoda) spp. in the Barents Sea and predator-prey interactions. *ICES Journal of Marine Science* 588: 876-895.
- Dalpadado, P., Yamaguchi, A., Ellertsen, B., Johannessen, S. (2008a) Trophic interactions of macro-zooplankton (krill and amphipods) in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea. *Deep-Sea Research Part II* 55: 2266-2274.
- Dalpadado, P., Ellertsen, B., Johannessen, S. (2008b) Inter-specific variations in distribution, abundance and reproduction strategies of krill and amphipods in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea. *Deep-Sea Research Part II* 55: 2257-2265.
- Dalpadado, P., Ingvaldsen, R.B., Stige, L.C., Bogstad, B., Knutsen, T., Ottersen, G., Ellertsen, B. (2012) Climate effects on Barents Sea ecosystems dynamics. *ICES Journal of Marine Science* 69: 1303-1316.
- Degen, R., Jørgensen, L.L., Ljubin, P., Ellingsen, I.H., Pehlke, H., Brey, T. (2016) Patterns and drivers of megabenthic secondary production on the Barents Sea shelf. *Marine Ecology Progress Series* 546: 1-16.
- Derocher, A.E, Andersen, M., Wiig, O., Aars, J., Hansen, E., Biuw, M. (2011) Sea ice and polar bear den ecology at Hopen Island, Svalbard. *Marine Ecology Progress Series* 441: 273-79.

- Descamps, S., Strøm, H., Steen, H. (2013) Decline of an arctic top predator: synchrony in colony size fluctuations, risk of extinction and the subpolar gyre. *Oecologia* 173: 1271-1282.
- Edvardsen, A., Slagstad, D., Tande, K.S., Jaccard, P. (2003) Assessing zooplankton advection in the Barents Sea using underway measurements and modelling. *Fisheries Oceanography* 12: 61-74.
- Eiane, K., Tande, K.S. (2009) Meso and macrozooplankton. Pp. 209-234 in Sakshaug E, Johnsen G, Kovacs K (eds) *Ecosystem Barents Sea*. Tapir Academic Press, Trondheim.
- Ellingsen, I.H., Dalpadado, P., Slagstad, D., Loeng, H. (2008) Impact of climatic change on the biological production in the Barents Sea. *Climatic Change* 87: 155–175.
- Engelsen, O., Hegseth, E.N., Hop, H., Hansen, E., Falk-Petersen, S. (2002) Spatial variability of chlorophyll-*a* in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea, with relations to sea ice and oceanographic conditions. *Journal of Marine Systems* 35: 79-97.
- Eriksen, E., Bogstad, B., Nakken, O. (2011) Ecological significance of 0-group fish in the Barents Sea ecosystem. *Polar Biology* 34: 647-657.
- Eriksen, E., Dalpadado, P., Dolgov, A. (2014) Biomass indices and distribution of krill and amphipods. In: Eriksen, E. (Ed.) *Survey report from the joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2014*. IMR/PINRO Joint Report Series, No. 1/2015. 153 pp.
- Eriksen, E., Prozorkevich, D.V. (2013) 0-group surveys. Pp. 557-569 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Erikstad, K.E., Reiertsen, T.K., Barrett, R.T., Vikebo, F., Sandvik, H. (2013) Seabird-fish interactions: the fall and rise of a common guillemot *Uria aalge* population. *Marine Ecology Progress Series* 475: 267-276.
- Evenset, A., Leknes, H., Christensen, G.N., Warner, N., Remberger, M., Gabrielsen, G.W. (2009) Screening of new contaminants in samples from the Norwegian Arctic : Silver,

Platinum, Sucralose, Bisphenol A, Tetrabrombisphenol A, Siloxanes, Phtalates (DEHP), Phosphororganic flame retardants, Oslo.

Falk-Petersen S, Sargent JR, Hopkins CCE, Vaja B (1982) Ecological investigations on the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: Lipids in the euphausiids *Thysanoessa raschi* and *T. inermis* during spring. *Marine Biology* 68: 97-102.

Falk-Petersen S, Kristensen Å (1985) Acoustic assessment of krill stocks in Ullsfjorden, north Norway. *Sarsia* 70: 83-90.

Falk-Petersen, S., Hop, H., Budgell, W.P., Hegseth, E.N., Korsnes, R., Løyning, T.B., Ørbæk, J.B., Kawamura, T., Shirasawa, K. (2000) Physical and ecological processes in the marginal ice zone of the northern Barents Sea during the summer melt period. *Journal of Marine Systems* 27: 131-159.

Falk-Petersen, S., Hopkins, C., Sargent, J. (1990) Trophic relationships in the pelagic food web. In: Barnes M, Gibson R (eds) *Trophic Relationships in the Marine Environment: Proceedings of the 24th European Marine Biology Symposium*. Aberdeen University Press, Aberdeen.

Falk-Petersen, S., Leu, E., Berge, J., Kwasniewski, S., Nygård, H., Røstad, A., Keskinen, E., Thormar, J., von Quillfeldt, C., Wold, A., Gulliksen, B. (2008) Vertical migration in high Arctic waters during autumn 2004. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 55: 2275-2284.

Falk-Petersen, S., Haug, T., Hop, H., Nilssen, K.T., Wold, A. (2009) Transfer of lipids from plankton to blubber of harp and hooded seals off East Greenland. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 56: 2080-2086.

Falk-Petersen, S., Pavlov, V., Berge, J., Cottier, F., Kovacs, K.M., Lydersen, C. (2015) At the rainbow's end: high productivity fueled by winter upwelling along an Arctic shelf. *Polar Biology* 38: 5-11.

Falk-Petersen, S., Timofeev, S., Pavlov, V., Sargent, J.R. (2007) Climate variability and possible effects on arctic food chains: the role of *Calanus*, pp 147–166. In: Ørbæk JB, Tombre

- T, Kallenborn R, Hegseth E, Falk-Petersen S, Hoel AH (eds) Arctic Alpine ecosystems and people in a changing environment. Springer, Berlin, p 433.
- Fauchald, P., Anker-Nilssen, T., Barrett, R., Bustnes, J.O., Bårdsen, B.-J., Christensen-Dalsgaard, S., Descamps, S., Engen, S., Erikstad, K.E., Hanssen, S.A. (2015) The status and trends of seabirds breeding in Norway and Svalbard. NIVA Report No. 1151.
- Fetterer, F., Knowles, K. Meier, W., Savoie, M. (2002; updated daily) Sea Ice Index. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. <http://dx.doi.org/10.7265/N5QJ7F7W>.
- Folkow, L.P., Mårtensson, P.E., Blix, A.S. (1996) Annual distribution of hooded seals (*Cystophora cristata*) in the Greenland and Norwegian Seas. Polar Biology 16: 179–89.
- Folkow, L.P., Nordøy, E.S., Blix, A.S. (2004) Distribution and diving behaviour of harp seals (*Pagophilus groenlandicus*) from the Greenland Sea stock. Polar Biology 27: 281–98.
- Fort, J., Moe, B., Strom, H., Gremillet, D., Welcker, J., Schultner, J., Jerstad, K., Johansen, K.L., Phillips, R.A., Mosbech, A. (2013) Multicolony tracking reveals potential threats to little auks wintering in the North Atlantic from marine pollution and shrinking sea ice cover. Diversity and Distributions 19: 1322-1332.
- Fossheim, M., Nilssen, E.M., Aschan, M. (2006) Fish assemblages in the Barents Sea. Marine Biology Research 2: 260-269.
- Fossheim, M., Primicerio, R., Johannesen, E., Ingvaldsen, R.B., Aschan, M.M., Dolgov, A.V. (2015) Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. Nature Climate Change. DOI: 10.1038/nclimate2647.
- Franzè, G., Lavrentyev, P.J. (2014) Microzooplankton growth rates examined across a temperature gradient in the Barents Sea. PLoS ONE 9: e86429.
- Freitas, C., Kovacs, K.M., Ims, R.A., Fedak, M.A., Lydersen, C. (2008) Ringed seal post-moulting movement tactics and habitat selection. Oecologia 155: 193–204.

- Freitas, C., Kovacs, C.M., Ims, R.A., Fedak, M.A., Lydersen, C. (2009) Deep into the ice: overwintering and habitat selection in male Atlantic walruses. *Marine Ecology Progress Series* 375: 247–61.
- Gaardsted, F., Tande, K.S., Pedersen, O.P. (2011) Vertical distribution of overwintering *Calanus finmarchicus* in the NE Norwegian Sea in relation to hydrography. *Journal of Plankton Research* 33: 1477-1486.
- Gabrielsen, G.W. (2009) Seabirds in the Barents Sea, in: Sakshaug, E., Johnsen, G.M., Kovacs, K.M. (Eds.), *Ecosystem Barents Sea*. Tapir Academic Press, Trondheim, pp. 415-452.
- Gannefors C, Böer M, Kattner G, Graeve M, Eiane K, Gulliksen B, Hop H, Falk-Petersen S (2005) The Arctic sea butterfly *Limacina helicina*: lipids and life strategy. *Marine Biology* 147:169-177.
- Gilg, O., Strøm, H., Aebischer, A., Gavrilov, M.V., Volkov, A.E., Miljeteig, C., Sabard, B. (2010) Post-breeding movements of northeast Atlantic ivory gull *Pagophila eburnea* populations. *Journal of Avian Biology* 41: 532-542.
- Gjertz, I., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Wiig, Ø. (2000) Movements and diving of bearded seal (*Erignathus barbatus*) mothers and pups during lactation and post-weaning. *Polar Biology* 23: 559–66.
- Gjøsæter, H. (1998) The population biology and exploitation of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea. *Sarsia* 83: 453-496.
- Gosselin, M., Levasseur, M., Wheeler, P.A., Horner, R.A., Booth, B.C. (1997) New measurements of phytoplankton and ice algal production in the Arctic Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 44: 1623-1644.
- Grahl-Nielsen, O., Haug, T., Lindstrøm, U., Nilssen, K.T. (2011) Fatty acids in harp seal blubber do not necessarily reflect their diet. *Marine Ecology Progress Series* 426: 263-276.

- Hallanger, I.G., Sagerup, K., Evenset, A., Kovacs, K.M., Leonards, P., Fuglei, E., Routti, H., Aars, J., Strom, H., Lydersen, C., Gabrielsen, G.W. (2015) Organophosphorous flame retardants in biota from Svalbard, Norway. *Marine Pollution Bulletin* 101: 442-447.
- Hamilton, C.D., Kovacs, K.M., Lydersen, C. (2015a) Year-round haul-out behaviour of male walrus *Odobenus rosmarus* in the Northern Barents Sea. *Marine Ecology Progress Series* 519: 251–63.
- Hamilton, C.D., Lydersen, C., Ims, R.A., Kovacs, K.M. (2015b) Predictions replaced by facts: a keystone species. Behavioural responses to declining Arctic sea-ice. *Biology Letters* 11: 20150803.
- Hamre, J. (1994) Biodiversity and exploitation of the main fish stocks in the Norwegian - Barents Sea ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 3: 473-492.
- Haug, T., Lindstrøm, U., Nilssen, K.T. (2002) Variations in minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) diet and body condition in response to ecosystem changes in the Barents Sea. *Sarsia* 87: 409-422.
- Hegseth, E.N. (1992) Sub-ice algal assemblages of the Barents Sea: Species composition, chemical composition, and growth rates. *Polar Biology* 12: 485-496.
- Hegseth, E.N. (1998) Primary production in the northern Barents Sea. *Polar Research* 17: 113-123.
- Helgason, L.B., Sagerup, K., Gabrielsen, G.W. (2012) Temporal trends and contaminant profiles of persistent organic pollutants (POPs) in seabird eggs from Northern Norway and Svalbard, in: Loganathan, B.G., Lam, P.K.S. (Eds.). Taylor & Francis, Boca Raton.
- Henriksen, S., Hilmo, O. (2015) Røddlista - hva, hvem, hvorfor? Norsk røddliste for arter 2015.
- Herzke, D., Kaasa, H., Gravem, F., Gregersen, H., Bettum Jensen, J.G., Hveding, Ø.P., Horn, J.E., Harju, M., Katsoyiannis, A., Borgen, A.R., Enge, E.K., Warner, N.A., Heimstad, E.S., Sagerup, K., Christensen, G.N., Gabrielsen, G.W., Hanssen, S.A., 2013. Perfluorinated alkylated substances, brominated flame retardants and chlorinated paraffins in the

- Norwegian Environment - Screening 2013, Statlig program for forurensningsovervåkning, Oslo, pp. 1-110.
- Hjelset, A.M., Andersen, M., Gjertz, I., Lydersen, C. and Gulliksen, B. 1999. Feeding habits of bearded seals (*Erignathus barbatus*) from the Svalbard area, Norway: Polar Biology 21(3): 186-193.
- Hobson, K.A., Ambrose, W.G., Renaud P.E. (1995) Sources of primary production, benthic-pelagic coupling, and trophic relationships within the Northeast Water Polynya: insights from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. Marine Ecology Progress Series 128: 1-10.
- Hobson, K.A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J.M., Fortier, M. (2002) A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. Deep-Sea Research II 49: 5131-5150.
- Hop, H., Gjøsæter, H. (2013) Polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea. Marine Biology Research 9: 878-894
- Hjelset, A.M., Andersen, M., Gjertz, I., Lydersen, C., Gulliksen, B. (1999) Feeding habits of bearded seals (*Erignathus Barbatus*) from the Svalbard Area, Norway. Polar Biology 21: 186-93.
- Hung, H., Katsoyiannis, A.A., Brorström-Lundén, E., Olafsdottir, K., Aas, W., Breivik, K., Bohlin-Nizzetto, P., Sigurdsson, A., Hakola, H., Bossi, R. (2016) Temporal trends of Persistent Organic Pollutants (POPs) in arctic air: 20 years of monitoring under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Environmental Pollution.
- Hunt, G.L., Bakken, V., Mehlum, F. (1996) Marine birds in the marginal ice zone of the Barents Sea in late winter and spring. Arctic 49: 53-61.
- Iversen, M., Aars, J., Haug, T. Alsos, I.G., Lydersen, C. Bachmann, L., Kovacs, K.M. (2013) The diet of polar bears (*Ursus maritimus*) from Svalbard, Norway, inferred from Scat Analysis. Polar Biology 36: 561-71.

- Johannesen E, Høines ÅS, Dolgov AV, Fossheim M (2012a) Demersal fish assemblages and spatial diversity patterns in the Arctic-Atlantic transition zone in the Barents Sea. PLoS ONE 7: e34924.
- Johannesen, E., Ingvaldsen, R.B., Bogstad, B., Dalpadado, P., Eriksen, E., Gjørseter, H., Knutsen, T., Skren-Mauritzen, M, Stiansen, J.E. (2012b) Changes in BarentsSea ecosystem state, 1970-2009: climate fluctuations, human impact, and trophic interactions. ICES Journal of Marine Science 69: 880-889.
- Johansen, G.O., Johannesen, E., Michalsen, K., Aglen, A., Fotland, Å. (2013) Seasonal variation in geographic distribution of North East Arctic (NEA) cod – survey coverage in a warmer Barents Sea. Marine Biology Research 9: 908-919.
- Jørgensen, L.L., Ljubin, P., Skjoldal, H.R., Ingvaldsen, R.B., Anisimova, N., Manushin, I. (2015) Distribution of benthic megafauna in the Barents Sea: baseline for an ecosystem approach to management. ICES Journal of Marine Science 72: 595-613.
- Jørgensen, L.L., Planque, B., Thangstad, T.H., Certain, G. (2016) Vulnerability of megabenthic species to trawling in the Barents Sea. ICES Journal of Marine Science: 73: i84-i97.
- Karamushko, O.V. (2008) Species composition and structure of the ichthyofauna of the Barents Sea. Journal of Ichthyology 48: 277-291.
- Kortsch, S., Primicerio, R., Fossheim, M., Dolgov, A.V., Aschan, M. (2015) Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. Proceedings of the Royal Society B 282: 20151546.
- Kovacs, K.M., Aars, J., Lydersen, C. (2014) Walruses recovering after 60+ years of protection in Svalbard, Norway. Polar Research 33: 26034.
- Kovacs, K.M., Moore, S., Overland, J.E., Lydersen, C. (2011) Impacts of changing sea ice conditions on Arctic marine mammals. Marine Biodiversity 41: 181–194.

- Krafft, B. A., Kovacs, K.M., Andersen, M., Aars, J., Lydersen, C., Ergon, T. Haug, T. (2006) Abundance of ringed seals (*Pusa hispida*) in the fjords of Spitsbergen, Svalbard, during the peak molting period. *Marine Mammal Science* 22: 394-412.
- Kålås, J.A., Viken, Å., Henriksen, S., Skjelseth, S. (2010) Norsk rødliste for arter 2010. Artsdatabanken, Norge, Trondheim.
- Labansen, A.L., Lydersen, C., Haug, T., Kovacs, K.M. (2007) Spring diet of ringed seals (*Phoca hispida*) from northwestern Spitsbergen, Norway. *ICES Journal of Marine Science* 64: 1246–1256.
- Leu, E., Søreide, J.E., Hessen, D.O., Falk-Petersen, S., Berge, J. (2011) Consequences of changing sea-ice cover for primary and secondary producers in the European Arctic shelf seas: Timing, quantity, and quality. *Progress in Oceanography* 90: 18-32.
- Leu, E., Mundy, C.J., Assmy, P., Campbell, K., Gabrielsen, T.M., Gosselin, M., Juul-Pedersen, T., Gradinger, R. (2015) Arctic spring awakening – Steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms. *Progress in Oceanography* 139: 151-170.
- Loeng, H. (1991) Features of physical oceanographic conditions of the Barents Sea. *Polar Research* 10: 5-18.
- Lowther, A.D., Kovacs, K.M., Griffiths, D., Lydersen, C. (2015) Identification of motivational state in adult male Atlantic walruses inferred from changes in movement and diving behavior. *Marine Mammal Science* 31: 1291–1313.
- Lydersen, C., Assmy, P., Falk-Petersen, S., Kohler, J., Kovacs, K.M., Reigstad, M., Steen, H., Strøm, H., Sundfjord, A., Varpe, Ø., Walczowski, W., Weslawski, J.M., Zajaczkowski, M. (2014) The importance of tidewater glaciers for marine mammals and seabirds in Svalbard, Norway. *Journal of Marine Systems* 129: 452-471.
- Lydersen, C., Gjertz, I., Weslawski, J.M. (1989) Stomach contents of autumn- feeding marine vertebrates from Hornsund, Svalbard. *Polar Record* 25: 107-114.

- Lydersen, C., Fisk, A.T., Kovacs, K.M. (2016) A review of Greenland shark (*Somniosus microcephalus*) studies in the Kongsfjorden area, Svalbard Norway. *Polar Biology* 39: 2169-2178.
- Lydersen, C., & Kovacs, K. (2014). Walrus *Odobenus rosmarus* research in Svalbard, Norway, 2000-2010. NAMMCO Scientific Publications 9: 175-190.
- Lydersen, C., Martin, A.R., Kovacs, K., Gjertz, I. (2001) Summer and autumn movements of white whales *Delphinapterus leucas* in Svalbard, Norway. *Marine Ecology Progress Series* 219: 265-274.
- Lønne, O., Gabrielsen, G. (1992) Summer diet of seabirds feeding in sea-ice-covered waters near Svalbard. *Polar Biology* 12: 685-692.
- Lønne, O.J., Gulliksen, B. (1991) On the distribution of sympagic macro-fauna in the seasonally ice covered Barents Sea. *Polar Biology* 11: 457-469.
- Mckinney, M.A., Pedro, S., Dietz, R., Sonne, C., Fisk, A.T., Roy, D., Jensen, B.M., Letcher, R.J. (2015) A review of ecological impacts of global climate change on persistent organic pollutant and mercury pathways and exposures in arctic marine ecosystems. *Current Zoology* 61: 617-628.
- Mecklenburg, C.W.; Møller, P.R.; Steinke, D. (2011) Biodiversity of arctic marine fishes: taxonomy and zoogeography. *Marine Biodiversity* 41: 109-140.
- Mehlum, F., Gabrielsen, G.W. (1993) The diet of high-Arctic seabirds in coastal and ice-covered, pelagic areas near the Svalbard archipelago. *Polar Research* 12: 1-20.
- Michalsen, K., Dalpadado, P., Eriksen, E., Gjørseter, H., Ingvaldsen, R.B., Johannesen, E., Jørgensen, L.L., Knutsen, T., Prozorkevich, D., Skern-Mauritzen, M. (2013) Marine living resources of the Barents Sea – Ecosystem understanding and monitoring in a climate change perspective. *Marine Biology Research* 9: 932-947.
- Miller, P.J.O., Kvadsheim, P.H., Lam, F.P.A., Tyack, P.L., Curé, C., Deruiter, S.L., Kleivane, L. et al. (2015) First indications that northern bottlenose whales are sensitive to behavioural

- disturbance from anthropogenic noise. Royal Society Open Science 2: 140484. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.140484>.
- Moen, F.E., Svendsen, E. (2014) Dyreliv i havet. Nordeuropeisk marin fauna. 6. utgave. KOM Forlag, Kristiansund. 768 pp.
- Mosbech, A., Johansen, K.L., Sonne, C., Strøm, H. (2015) Linkage of the King Eider population in northeast Greenland: Migration, moult and discovery of a new offshore wintering area at Spitsbergenbanken, Island.
- Muckenhuber, S., Nilsen, F., Korosov, A., Sandven, S. (2016) Sea ice cover in Isfjorden and Hornsund, Svalbard (2000-2014) from remote sensing data. Cryosphere 10: 149-158.
- Mysak, L. A. (2001) Patterns of Arctic circulation. Science, New Series 293: 1269-1270.
- Nilssen, K.T. (1995) Seasonal distribution, condition and feeding habits of Barents Sea harp seals (*Phoca groenlandica*). Pp. 241-254 in Blix AS, Walløe L, Ulltang Ø (eds) Whales, seals, fish and man. Elsevier, Amsterdam, pp 241–254.
- Orlova, E.L., Dalpadado, P., Knutsen, T., Nesterova, V.N., Prokopchuk, I.P. (2011) Zooplankton. Pp. 91-119 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Orlova, E.L., Dolgov, A.V., Renaud, P.E., Greenacre, M., Halsband, C., Ivshin, V.A. (2015) Climatic and ecological drivers of euphausiid community structure vary spatially in the Barents Sea: relationships from a long time series (1952-2009) Frontiers in Marine Science 1. doi: 10.3389/fmars.2014.00074.
- Ottesen, C.A.M., Hop, H., Christiansen, J.S., Falk-Petersen, S. (2011) Early life history of the daubed shanny (Teleostei: *Leptoclinus maculatus*) in Svalbard waters. Marine Biodiversity 41: 383-394.
- Overland, J.E., Wang, M. (2013) When will the summer Arctic be nearly sea ice free? Geophysical Research Letters 40: 2097-2101.

- Ozhigin, V.K., Ingvaldsen, R.B., Loeng, H., Boitsov, V.D., Karsakov, A.L. (2011) The Barents Sea. Pp 39-76 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Paleczny, M., Hammill, E., Karpouzi, V., Pauly, D. (2015) Population trend of the world's monitored seabirds, 1950-2010. Plos ONE 10: e0129342.
- Pavlov, A.K., Granskog, M.A., Stedmon, C.A., Ivanov, B.V., Falk-Petersen, S. (2015) Contrasting optical properties of surface waters across the Fram Strait and its potential biological implications. Journal of Marine Systems 143: 62–72.
- Poltermann, M., Hop H., Falk-Petersen, S. 2000. Life under Arctic sea ice - reproduction strategies of two sympagic (ice-associated) amphipod species, *Gammarus wilkitzkii* and *Apherusa glacialis*. Marine Biology 136: 913-920.
- Polyakov, I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B., Ashik I.M., Baumann T.M., Carmack E.C., Goszczko I., Guthrie J., Ivanov V.V., Kanzow T., Krishfield R., Kwok R., Sundfjord A., Morison J., Rember R., Yulin A. 2017. Greater role of Atlantic inflows on sea-ice loss in the European Basin of the Arctic Ocean. Science. DOI: 10.1126/science.aai8204.
- Pasternak, A., Arashkevich, E., Reigstad, M., Wassmann, P., Falk-Petersen, S. (2008) Dividing mesozooplankton into upper and lower size groups: Applications to the grazing impact in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea. Deep-Sea Research Part II 55: 2245-2265.
- Planque, B., Kristinsson, K., Astakhov, A., Bernreuther, M., Bethke, E., Drevetnyak, K., Nedreaas, K., Reinert, J., Rolskiy, A., Sigurdsson, T., Stransky, C. (2013) Monitoring beaked redfish (*Sebastes mentella*) in the North Atlantic, current challenges and future prospects. Aquatic Living Resources 26: 293-306.
- Ponomarenko, V.P. (1968) Some data on the distribution and migrations of polar cod in the seas of the Soviet Arctic. Rapports et Process-verbaux des Réunions. Conceil International pour l'Éxploration de la Mer 158: 131-135.

- Pomerleau, C., Ferguson, S.H. & Walkusz, W. 2011. Stomach contents of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) from four locations in the Canadian Arctic. *Polar Biology* 34: 615. DOI:10.1007/s00300-010-0914-9.
- Prozorkevich, D. Sunnanå K. 2016 (Ed.) Survey report from the joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2015. IMR/PINRO Joint Report Series, No. 1/2016, 77 pp. ISSN 1502-8828.
- Rat'kova, T.N., Wassmann, P. (2002) Seasonal variation and spatial distribution of phyto- and protozooplankton in the central Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 38: 47-75.
- Reeves, R.R., Ewins, P.J., Agbayani, S., Heide-Jørgensen, M.P., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Suydam, R. et al. (2014) Distribution of endemic cetaceans in relation to hydrocarbon development and commercial shipping in a warming Arctic. *Marine Policy* 44: 375–89.
- Reigstad, M., Carroll, J., Slagstad, D., Ellingsen, I., Wassmann, P. (2011) Intra-regional comparison of productivity, carbon flux and ecosystem composition within the northern Barents Sea. *Progress in Oceanography* 90: 33-46.
- Reigstad, M., Wassmann, P., Wexels Riser, C., Øygarden, S., Rey, F. (2002) Variations in hydrography, nutrients and chlorophyll *a* in the marginal ice-zone and the central Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 38: 9-29.
- Renaud, P.E., Riedel, A., Michel, C., Morata, N., Gosselin, M., Juul-Pedersen, T., Chiuchiolo, A. (2007) Seasonal variation in benthic community oxygen demand: a response to an ice algal bloom in the Beaufort Sea, Canadian Arctic? *Journal of Marine Systems* 67: 1-12.
- Renaud, P.E., Sejr, M.K., Bluhm, B.A., Sirenko, B., Ellingsen, I.H. (2015) The future of Arctic benthos: Expansion, invasion, and biodiversity. *Progress in Oceanography* 139: 244-257.
- Rigét, F., Vorkamp, K., Bossi, R., Sonne, C., Letcher, R., Dietz, R. (2015) Twenty years of monitoring of persistent organic pollutants in Greenland biota. A review. *Environmental Pollution* 217: 114-123.

- Rózanska, M., Gosselin, M., Poulin, M., Wiktor, J.M., Michel, C. (2009) Influence of environmental factors on the development of bottom ice protist communities during the winter–spring transition. *Marine Ecology Progress Series* 386: 43-59.
- Russkich, A.A., Dingsør, G.E. (2013) Haddock. Pp. 271-280 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation.* Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Sagerup, K., Helgason, L.B., Polder, A., Strøm, H., Josefsen, T.D., Skåre, J.U., Gabrielsen, G.W. (2009) Persistent organic pollutants and mercury in dead and dying glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) at Bjørnøya (Svalbard). *Science of the Total Environment* 407: 6009-6016.
- Sagerup K, Herzke D, Harju M, Evenset A, Christensen GN, Routti H, Fuglei E, Aars J, Strøm H, Gabrielsen GW. *New brominated flame retardants in Arctic biota.* Oslo 2010.
- Sagerup, K., Leonards, P., Routti, H., Fuglei, E., Aars, J., Strøm, H., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Gabrielsen, G.W. (2011) *Organophosphorous flame retardants in Arctic biota.* Oslo 2011.
- Sakshaug, E. (1997) Biomass and productivity distributions and their variability in the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science* 54: 341-350.
- Sakshaug, E., Bjørge A., Gulliksen, B., Loeng, H., Mehlum, F. (1994) *Økosystem Barentshavet.* Universitetsforlaget, Oslo, Norge. 304 pp.
- Sakshaug, E., Johnsen, G., Kristiansen, S., von Quillfeldt, C., Rey, F., Slagstad, D., Thingstad, F. (2009) Phytoplankton and primary production. In: Sakshaug E, Johnsen G, Kovacs K (eds) *Ecosystem Barents Sea.* Tapir Academic Press, Trondheim, p 167–208.
- Sandvik, H., Erikstad, K.E., Barrett, R.T., Yoccoz, N.G. (2005) The effect of climate on adult survival in five species of North Atlantic seabirds. *Journal of Animal Ecology* 74: 817-831.

- Sieburth, J.McN., Smetacek, V., Lenz, J. (1978) Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography* 23: 1256–1263.
- Silberberg, N., Bossé, L. (1994) Additional observations of endobenthic behavior in the early life history of *Melanostigma atlanticum* (Zoarchidae) in muddy bottom sediments of the Laurentian Trough, eastern Canada. *Environmental Biology of Fishes* 39: 43-49.
- Slagstad, D., Wassmann, P.F.J., Ellingsen, I. (2015) Physical constraints and productivity in the future Arctic Ocean. *Frontiers in Marine Science* 2. doi: 10.3389/fmars.2015.00085.
- Smedsrud, L.H., Esau, I., Ingvaldsen, R.B., Eldevik, T., Haugan, P.M., Li, C., Lien, V.S., Olsen, A., Omar, A.M., Otterå, O.H., Risebrobakken, B., Sandø, A.B., Semenov, V.A., Sorokina, S.A. (2013) The role of the Barents Sea in the Arctic climate system. *Reviews of Geophysics* 51: 415-449.
- Smirnov, O.V., Albert, O.T., Høines, Å. (2013) Greenland halibut. Pp. 308-314 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation.* Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Southall, B.L, Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L. Greene C.R. Jr, Kastak, D. et al. (2007) Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* 33: 411–521.
- Strøm, H. (2006) Birds of Svalbard, in: Kovacs, K.M., Lydersen, C. (Eds.), *Polarhåndbok No. 13* ed. Norwegian Polar Institute, Tromsø.
- Stübner, E.I., Søreide, J.E., Reigstad, M., Marquardt, M., Blachowiak-Samolyk, K. (2016) Year-round meroplankton dynamics in high-Arctic Svalbard. *Journal of Plankton Research* 38: 522-536.
- Sundby, S., Drinkwater, K.F., Kjesbu, O.S. (2016) The north Atlantic spring-bloom system – where the changing climate meets the winter dark. *Frontiers in Marine Science* 3. doi: 10.3389/fmars.2016.00028.

- Syvertsen, E.E. (1991) Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. *Polar Research* 10: 277-287.
- Søreide, J.E., Leu, E., Berge, J., Graeve, M., Falk-Petersen, S. (2010) Timing of blooms, algal food quality and *Calanus glacialis* reproduction and growth in a changing Arctic. *Global Change Biology* 16: 3154-3163.
- Tamelaender, T., Reigstad, M., Hop, H., Ratkova, T. (2009) Ice algal assemblages and vertical export of organic matter from sea ice in the Barents Sea and Nansen Basin (Arctic Ocean). *Polar Biology* 32: 1261-1273.
- Tremblay, C., Runge, J.A., Legendre, L. (1989) Grazing and sedimentation of ice algae during and immediately after a bloom at the icewater interface. *Marine Ecology Progress Series* 56: 291-300.
- Titov, O.V., Orlova, E.L. (2011) Lower trophic levels. Pp 77-119 in Jacobsen T & Ozhigin VK (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation.* Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Vacquié-Garcia, J., Lydersen, C., Marques, T.A., Aars, J., Ahonen, H., Skern-Mauritzen, M., Øien, N., Kovacs, K.M. (2017) Late summer distribution and abundance of ice-associated whales in the Norwegian high Arctic. *Endangered Species Research*. DOI: 10.3354/esr00791.
- Verreault, J., Gabrielsen, G.W., Bustnes, J.O. (2010) The Svalbard glaucous gull as bioindicator species in the European Arctic: Insight from 35 years of contaminants research. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 205: 77-116.
- Vihtakari, M., Welcker, J., Bech, C., Chastel, O., Hop, H., Moe, B., Gabrielsen, G.W. (submitted) Black-legged kittiwakes as messengers for food-web change in Kongsfjorden, Svalbard.
- von Quillfeldt, C.H. (2000) Common diatom species in arctic spring blooms: their distribution and abundance. *Botanica Marina* 43: 499-516.

- Walczowski, W., Beszczynska-Möller, A., Wieczorek, P., Merchel, M., Grynczel, A. (2016) Oceanographic observations in the Nordic Sea and Fram Strait in 2016 under the IOPAN long-term monitoring program AREX. *Oceanologia* (in press).
- Wadhams, P. (1986) The Seasonal Ice Zone. *The Geophysics of Sea Ice*, NATO ASI Series, 825–991, 1986. DOI: 10.1007/978-1-4899-5352-0_15
- Walkusz, W., Kwasniewski, S., Falk-Petersen, S., Hop, H., Tverberg, V., Wieczorek, P., Weslawski, J.M. (2009) Seasonal and spatial changes in the zooplankton community of Kongsfjorden, Svalbard. *Polar Research* 28: 254-281.
- Wassmann, P., Ratkova, T., Andreassen, I., Vernet, M., Pedersen, G., Rey, F. (1999) Spring bloom development in the marginal ice zone and the central Barents Sea. *Marine Biology* 20: 321-346.
- Wassmann, P.F., Reigstad, M., Haug, T., Rudels, B., Carroll, M, Hop, H., Wing-Gabrielsen, G., Falk-Petersen, S., Denisenko, S.G., Arashkevich, E., Slagstad, D., Pavlova, O., (2006) Food webs and carbon flux in the Barents Sea. In *Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: a panarctic comparison*. *Progress in Oceanography* 71: 232 - 287
- Werner, I. (1997) Grazing of Arctic under-ice amphipods on sea-ice algae. *Marine Ecology Progress Series* 160: 93-99.
- Wiedmann, M.A., Primicerio, R., Dolgov, A., Ottesen, C.A.M., Aschan, M. (2014a) Life history variation in Barents Sea fish: implications for sensitivity to fishing in a changing climate. *Ecology and Evolution* 4: 3596-3611.
- Wiedmann, M.A., Aschan, M., Certain, G., Dolgov, A., Greenacre, M., Johannesen, E., Planque, B., Primicerio, R. (2014b) Functional diversity of the Barents Sea fish community. *Marine Ecology Progress Series* 495: 205-218.
- Wienerroither, R., Johannesen, E., Dolgov, A., Byrkjedal, I., Bjelland, O., Drevetnyak, K., Eriksen, K.B., Høynes, Å., Langhelle, G., Langøy, H., Prokhorova, T., Prozorkevich, D.,

- Wenneck, T. (2011) Atlas of the Barents Sea fishes. IMR/PINRO Joint Report Series 1-2011. 272 pp.
- Wienerroither, R., Johannesen, E., Dolgov, A., Byrkjedal, I., Aglen, A., Bjelland, O., Drevetnyak, K., Eriksen, K.B., Høines, Å., Langhelle, G., Langøy, H., Murashko, P., Prokhorova, T., Prozorkevich, D., Smirnov, O., Wenneck, T. (2013) Atlas of the Barents Sea fishes based on the winter survey. IMR-PINRO Joint Report Series 2-2013. ISSN 1502-8828. 220 pp.
- Włodarska-Kowalczyk, M., Renaud, P.E., Wesławski, J.M., Cochrane, S.K.J., Denisenko, S.G. (2012) Species diversity, functional complexity and rarity in Arctic fjordic versus open shelf benthic systems. *Marine Ecology Progress Series* 463: 73-87.
- Wold, A., Darnis, G., Søreide, J.E., Leu, E., Philippe, B., Fortier, L., Poulin, M., Kattner, G., Graeve, M., Falk-Petersen, S. (2011) Life strategy and diet of *Calanus glacialis* during the winter–spring transition in Amundsen Gulf, south-eastern Beaufort Sea. *Polar Biology* 34: 1929-1946.
- Wulff, J.L., 2001. Assessing and monitoring coral reef sponges: why and how? *Bulletin of Marine Science* 69: 831–846.
- Yaragina, N.A., Aglen, A., Sokolov, K.M. (2013) Cod. Pp. 225-270 in Jacobsen, T. & Ozhigin, V.K. (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation.* Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Zenkevich, L.A. (1963) *Biology of the seas of the USSR.* Georg Allen & Unwin, London. 955 pp.
- Øigård, T.A., Haug, T., Nilssen, K.T. (2014a) From pup production to quotas: current status of harp seals in the Greenland Sea. *ICES Journal of Marine Science* 70: 537–545.
- Øigård, T.A., Haug, T., and Nilssen, K.T. (2014b) Current status of hooded seals in the Greenland Sea. Victims of climate change and predation? *Biological Conservation* 172: 29–36.

4.2 Modul 2 Fysisk og kjemisk beskrivelse av havisen i iskantsonen og tilhørende vannmasser

4.2.1 Definisjon iskantsone og geografisk begrensning

Iskantsonen er et dynamisk område viktig for både de fysiske og det biologiske systemene i Arktis. En iskantsone er en betegnelse på overgangen mellom åpent hav og havis, og avhengig av bl.a. vindretning og havstrømmer kan iskantsonen bestå av alt fra løse små og store isflak som driver i et stort område, til en kompakt kant bestående av små isflak som er trykt sammen foran mer solid pakkis. Iskantsonen er i stor grad en fysisk størrelse, og en benevnelse for det ytre delen av drivisbeltet med forhøyet isdrift, deformering, divergens og primærproduksjon. Iskantsonen er svært dynamisk bl.a. pga. værpåvirkning. Endringer i romlig fordeling kan skje i løpet av timer eller dager. Denne ekstreme dynamikken både i tid og rom gjør det vanskelig å gi presise avgrensninger. En ofte akseptert definisjon av iskantsonen er den av Wadhams (1986): "The Marginal ice zone is that part of the ice cover which is close enough to the open ocean boundary to be affected by its presence". Denne definisjonen er åpen for tolkninger, men den er generelt forstått som å angi det området av pakkis som er (signifikant) påvirket av havdønning. Iskantsonen er vanligvis begrenset til en sone på noen titalls kilometer, men det finnes lite data som sier noe definitivt om hvor langt inn i drivisen den strekker seg. Vi holder oss ellers her til en definisjon for «marginal ice zone (MIZ)» også gitt i Alaska Sea Ice Atlas (<http://seaiceatlas.snap.uaf.edu/glossary>), som knytter iskantsonen til område ved iskant, dvs. overgang åpent vann-havis (ofte definert som områder med en iskonsentrasjonen mellom 15 og 80 %).

Selv om iskanten er en meget dynamisk størrelse fremstilles den imidlertid ofte som en fast avgrensning; et øyeblikksbilde fra en gitt måned i ett gitt år. På grunn av den økologiske betydningen av iskantsonen (Falk-Petersen et al. 2000; Barber et al. 2015) og sårbarheten til de artene som har tilhold der, er det imidlertid viktig å ha forståelse av variasjon i utbredelse av iskantsonen både over tid og rom.

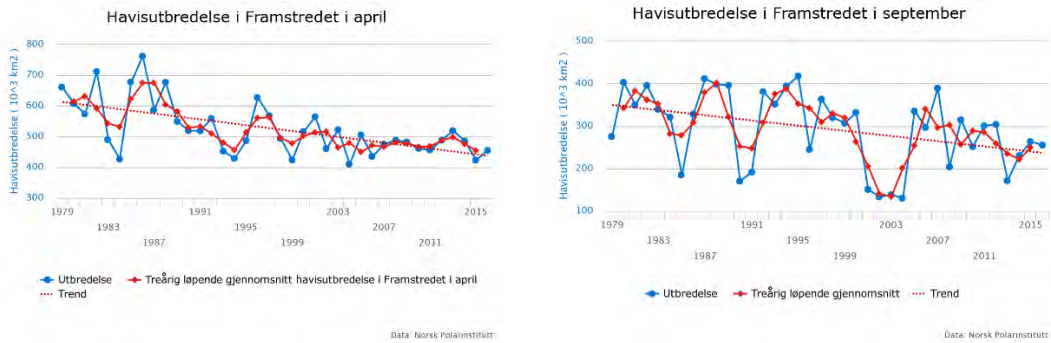
4.2.2 Regionale forskjeller, istyper og langtidstrender

Regionen som er omtalt her inkluderer subregioner med fundamentale forskjeller i haviskarakteristika. Subregionen vestlige Framstredet er dominert av havis som blir eksportert fra Polhavet og driver mot sør. Denne isen er ofte en blanding av is fra den transpolare driften, Beaufort-virvelen og regionalt dannet havis. Derfor består isen av istyper med ulik alder fra ung is til gammel flerårsis. Flerårsis har lavere saltholdighet enn førsteårsis og ung is. Skrugarder i flerårsis er mer konsolidert, og overflaten til isen preget av erosjon. Isen i det vestlige Framstredet har blitt studert og blir overvåket (Hansen et al. 2013, 2014; Krumpen et al. 2016; Renner et al. 2014). Istykkelsen har blitt mindre siden overvåkingen begynte tidlig i 1990-tallet. Særlig eldre istyper kan ha skrugarder av betydelig tykkelse. Isen i iskantsonen kan være påvirket av smelteprosesser, men siden isdynamikk er stor i denne subregionen, kan det være relativt kort tid (få dager til få uker) isen er utsatt til smelting før den driver ut av subregionen, sammenlignet med Barentshavet.

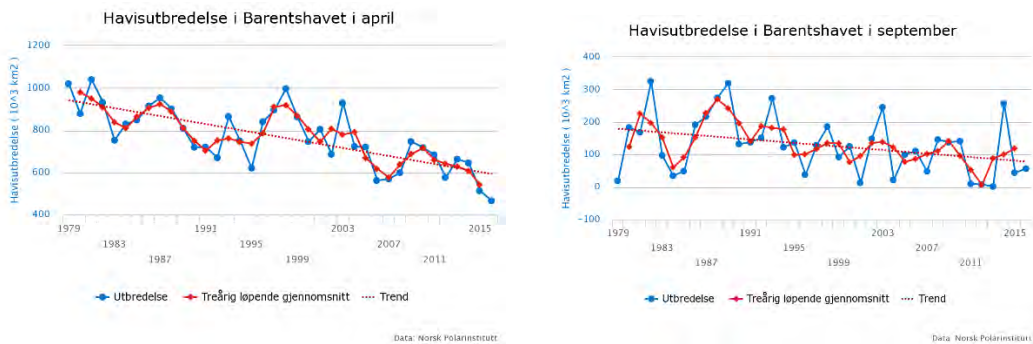
Isen i Barentshavets iskantsone har blitt studert i ulike prosesstudier og kartleggingsinitiativ (Ivanov et al. 2003; Nghiem et al. 2005; Strong et al. 2012; Pavlova et al. 2014; Kaleschke et al. 2016; King et al. 2017). Istykkelse her er i gjennomsnitt mindre enn i Framstredet, og førsteårsis er den mest vanlige istypen. Men det kan forekomme flerårsis som driver fra nord inn i subregionen. Isen er generelt av mer regional opprinnelse enn isen i Framstredet. Med lavere drifhastigheter kan isen være utsatt for frysing og smelting over lengre tid (uker til få måneder).

Overvåkingsserier på isutbredelse finnes både i Framstredet og i Barentshavet siden 1979 (Figur 1a og 1b) og overvåkingsserie for iskonsetrasjon finnes for Framstredet siden 1990 (Figur 2).

a)

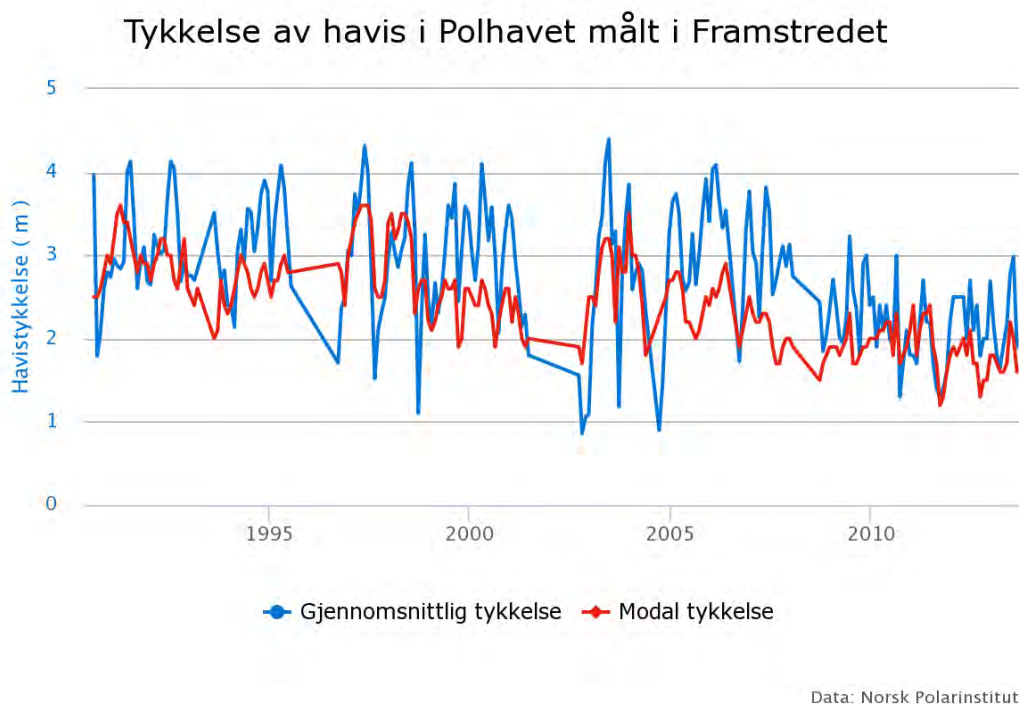


b)



Figur 1. Overvåkingsserier av isutbredelse i (a) Framstredet og (b) Barentshavet for hhv. april og september fra perioden 1979-2016. Kilde: MOSJ^{II}.

^{II} <http://www.mosj.no/no/klima/hav/havisutbredelse.html>



Figur 2. Overvåkingsserie over istykkelse i Framstredet fra perioden 1990-2013, målt med omvendte ekkolodd. Kilde: MOSJ^{III}.

4.2.3 Snøforhold på isen som kan forekomme i iskantsonen

Snødekke på havisen er relevant for fysiske og biologiske prosesser. Snøen kan isolere og redusere isvekst om vinter og vår, den har høy albedo, og den kan danne grunnlag for smeltedammer i sommerhalvåret. Med hensyn til økosystemet har den blant annet betydning for demping av solstråling, og snøhulelagning av sel. Noen snøtykkelsesdata for Framstredet og Barentshavet er publisert (Forsström et al. 2011). Generelt viser isen i Framstredet større snøtykkelse enn isen i Barentshavet. Det kan være flere faktorer som bidrar til dette bildet, både regionale forskjeller i nedbør, og fordeling av istyper med mer flerårsis i Framstredet som kan samle mer snø om høsten enn førsteårsis som dannes først i løpet av vinter og vår.

4.2.4 Oseanografiske og kjemiske forhold i iskantsonen

Øvre del av vannsøylen er, i likhet med iskarakteristikken, svært variabel i tid og rom (Sundfjord et al. 2007; Randelhoff et al. 2017). I det nordlige Barentshavet og over kontinentalsokkelskråningen mot nord er det relativt varmt og salt vann av atlantisk opprinnelse i midlere dyp. Over dette ligger kaldere og ferskere arktisk vann. Om høsten og vinteren kjøles det arktiske vannet ned og det blir tyngre. Når det er kaldt nok til at isfrysing inntreffer skiller det ut salt som bidrar til vertikal homogenisering og redusert stabilitet. Når isen begynner å smelte om våren/sommeren dannes det etter hvert et overflatelag som er ferskere enn det arktiske vannet. Tykkelsen og graden av stabilitet mellom det smeltevannspåvirkede laget og vannet under avhenger av istykkelse og -konsentrasjon, smeltehastighet og hvor mye vinddrevede blanding som forekommer underveis i smeltesesongen (Randelhoff et al. 2017). De siste årene er det målt en økende mengde smeltevann fra havis i utstrømningen fra Polhavet gjennom Framstredet om sommeren (Dodd et al. 2012), mens det om vinteren fortsatt er minst like høyt saltinnhold som tidligere på grunn av effektiv isfrysing og tilhørende saltutskilling (de Steur, pers. medd.).

^{III} <http://www.mosj.no/no/klima/hav/havistrykkelse-polhavet-framstredet.html>

Tidlig i smeltesesongen kan det raskt dannes et relativt tykt lag (>10 m) som bare har marginalt lavere tetthet enn det underliggende vannet; en begrenset mengde smeltevann kan fordeles effektivt nedover gjennom vinddrevet blanding. Etter hvert som smelteraten øker vil vanligvis overflatelaget bli mer avgrenset, gjerne 5-15 m tykt avhengig av vindhistorikk, og med lavere tetthet og dermed sterkere lagdeling. Mot slutten av sommeren avtar smelteraten mens det fortsatt pågår vinddrevet blanding; smeltevannslaget vil da bli tykkere, gjerne 20-30 m, og mer utblandet med saltere vann nedenfra. I tillegg spiller varierende horisontal strøm og blanding i vannsøylen en rolle; isen reagerer raskere og sterkere på vind enn det de underliggende vannmassene gjør, slik at vannet som ligger under et gitt isdekke er et produkt av en prosesshistorie som kan ha signaturer fra andre iskaraktistika (vanlig i det nordlige Barentshavet) eller åpent vann (mer typisk nord for Svalbard, der vann kan strømme østover samtidig som isen går sørvestover).

I Grønlandshavet og vestlige del av Framstredet er det Atlantiske laget betydelig kaldere, og tetthetsforskjellen mellom det arktiske og atlantiske laget er mindre markant. Også her kan det dannes et ferskt, stabilt overflatelag i smeltesesongen, med varierende tykkelse og grad av isolasjon fra de dypere liggende vannmassene. Det er forskjeller i karakteristikk og utviklingshastighet i smeltevannslaget mellom den ytre (østlige) delen av øst-Grønlandsstrømmen, der tilgangen til smeltevarme fra havet er betydelig, og drivisen over kontinentalsokkelen som i all hovedsak smeltes gjennom soloppvarming.

I likhet med hva som gjelder for oseanografiske forhold, er de kjemiske forholdene variable i tid og rom i arktiske farvann. De vestlige delene av Barentshavet påvirkes i stor grad av atlantisk vann og de østlige delene av polart vann (Fransson et al. 2001, 2017; Chierici et al. 2016). Denne forskjellen skaper en polarfront der det er stor primærproduksjon og et stort (biologisk) forbruk av CO₂ og næringsstoffer, noe som igjen fører til at havet tar opp CO₂ fra atmosfæren (Fransson et al. 2001). I tillegg, og på grunn av at overflaten av det varme atlantiske vannet kjøles kraftig ned når det kommer inn i Barentshavet, tar havet opp enda mer CO₂ fra atmosfæren, som igjen bidrar til økt CO₂ og redusert pH i havet. Derfor har atlantisk vann høyt innhold av næringsstoffer og høyt opptak av antropogent CO₂ når det transporteres nordover inn i Barentshavet og Arktis, dels på grunn av nedkjøling (Sabine et al. 2004; Olsen et al. 2006) og dels på grunn av primærproduksjon.

På sokkelen i Barentshavet foregår det forskjellige prosesser, som isdannelse om vinteren med synking av kald, salt og tung CO₂-brine, som fører med seg CO₂ ned i dypere deler av de arktiske bassengene (Fransson et al. 2001). Dette bidrar til en sterk gradient i salinitet, den såkalte «øvre haloklin», som igjen bidrar til forsuring av de dypere delene av de arktiske vannmassene (Anderson et al. 2013). En lignende prosess skjer i Storfjorden, der vann fra overflaten synker, drar med seg CO₂ ned i vannsøylen (Anderson et al. 2004) og transporteres med kyststrømmen langs Vest-Spitsbergen inn i Arktis hvor det bidrar til økt CO₂ og havforsuring (Chierici 2014a).

Når is dannes om vinteren, kan krystaller av kalsiumkarbonat dannes inne i isen og bli der til våren (Rysgaard et al. 2007, 2012; Fransson et al. 2013, 2017). Når isen smelter om våren utsmeltet kalsiumkarbonat bidrar med total alkalinitet til overflaten og redusert havforsuring. På den andre siden bidrar ferskvann fra ismelting og elver totalt sett til redusert mengde karbonationer og lavere pH (Chierici & Fransson 2009; Fransson et al. 2015). Dessuten bidrar elver med organisk materiale, næringsstoffer og CO₂ til arktiske havområder (for eksempel i Fransson et al. 2001).

Framstredet er påvirket av kaldt og fersk polarvann i de vestlige delene, i øst-Grønlandsstrømmen. Fra overflaten og ned til 50 meters dyp er både innholdet av CO₂ og næringsstoffer relativt lavt sammenlignet med atlantiske vannmasser, men på dyp mellom 50 og 150 meter er CO₂-innholdet høyt, og kalk-metningsgrad og pH lav på grunn av bidrag fra CO₂-rikt vann fra de arktiske kontinentalsokkene (Chierici et al. 2014b; Colin Stedmon, upublisert næringsstoffdata).

4.2.5 Iskantsone – terminologi

Vår avgrensning av iskantsone er basert på *ice persistence*, samt *maximum* og *minimum ice limit*. Alle disse størrelsene tar utgangspunkt i daglige målinger av iskonsentrasjon og etterfølgende beregninger av isutbredelse. På norsk oversetter vi disse begrepene med *isfrekvens*, *maksimum* og *minimum isutbredelse*. Isfrekvens er en binær størrelse, dvs. den gir daglig oppdatert informasjon om «is» eller «ikke is», og angis i prosent av alle dager som inngår i datagrunnlaget. Det vil si den angir hvor ofte det finnes is i en gitt måned innenfor et gitt område. Et område er angitt som 25 km x 25 km (= 1 piksel). Prosentangivelsen av isfrekvens sier følgelig ingenting om iskonsentrasjon eller %-vis isdekke. En 50 % isfrekvens sier bare at det har vært is (> 15 % isdekke) i området i halvparten av dagene innenfor dataperioden. Selv i de pikslene hvor isfrekvensen er 100 % trenger det nødvendigvis ikke ha vært særlig høy iskonsentrasjon, men det har vært mer enn 15 % iskonsentrasjon i 30 av 30 dager. Maks og min isutbredelse er aggregert maksimum eller minimum utbredelse av is (15 % eller mer) innenfor en gitt måned. Dette betyr at utenfor maksimumsgrensen har det aldri vært is og innenfor minimumsgrensen har det alltid vært is i den gitte måneden.

Tabell 1 Fysiske definisjoner knyttet til iskant som er relevante i vår sammenheng og som er globalt etablert fagterminologi (World Meteorological Organization 1989).

Isbegrep	Definisjon
Iskonsentrasjon	Andelen av havoverflate som er dekket av is, angitt som tideler eller prosent av hele området som vurderes.
Iskant	Enhver markering på et gitt tidspunkt av et skille mellom åpent hav og havis av enhver art. Kan angis som enten sammenpresset («kompakt») eller utspredd («diffus»).
Sammenpresset/kompakt iskant	Tett og tydelig markert iskant som er sammenpresset av vind eller havstrømmer, som regel på vindsiden (lo side) av et område med drivis.
Spredt/diffus iskant	Svakt definert iskant som avgrenser et område med spredt is. Normalt på lesiden av et område med drivis.
Isutbredelse	Summen av isdekte områder med iskonsentrasjon på minst 15 %.
Isareal	Produktet av iskonsentrasjon og arealet til hvert dataelement (piksel) innenfor det islagte området.
Maks/min isgrense	Klimatologisk begrep som refererer til den ekstreme maksimum eller ekstreme minimum isutbredelse i en gitt måned, basert på observasjoner over flere år.
Gjennomsnittlig iskant	Gjennomsnittlig posisjon for iskanten i en gitt måned, basert på historiske data.
Isfrekvens (ispersistens)	Isfrekvens gir informasjon om hvor hyppig havis forekommer i en region i en gitt måned over den tidsperioden som dekkes av data (gjeldende dataperiode er 30 år, 1986-2015). Enkeltpikslers iskonsentrasjon større eller lik 15 % summeres gjennom tidsserien. Maksimum verdi for isfrekvens er 100 %, og hvert piksel har følgelig verdi mellom 0 og 100, som representerer prosentandelen av år med is (minst 15 % iskonsentrasjon) i tidsserien.

Flere av begrepene i denne tabellen er benyttet i IPCC-utredningen 2013 (IPCC 2013), herunder «sea ice extent», «max/min ice limit» og «ice concentration».

4.2.6 Isfrekvens – dataperiode

Standard normalperiode brukt innen klimatologi er en 30-årsperiode, for tiden 1961-1990. Denne metodikken legger til grunn at tidsperioden 1961-1990 benyttes som dimensjonerende inntil år 2021. Fra 2021 blir dimensjonerende normalperiode 1991-2020. Siden klimaendringene skjer raskt og det er viktig å fange de pågående endringene, legger vi i denne analysen til grunn at dimensjonerende standardperiode til en hver tid er de foregående 30 år. Det betyr at man i 2014 har benyttet perioden 1984-2013, i 2015 benyttet perioden 1985-2014 osv., man bruker altså en flytende 30-års periode.

Denne tilnæringsmåten, som også i noen sammenhenger benyttes av met.no, tar både hensyn til konsekvensene av de raske klimaendringene og den internasjonalt etablerte praksis innen klimatologi der man bruker 30-årsperioder som standard. Med en 30-årsperiode av data som utgangspunkt kan isfrekvens i noen grad brukes som et mål på sannsynlighet for is, ikke minst på kort sikt.

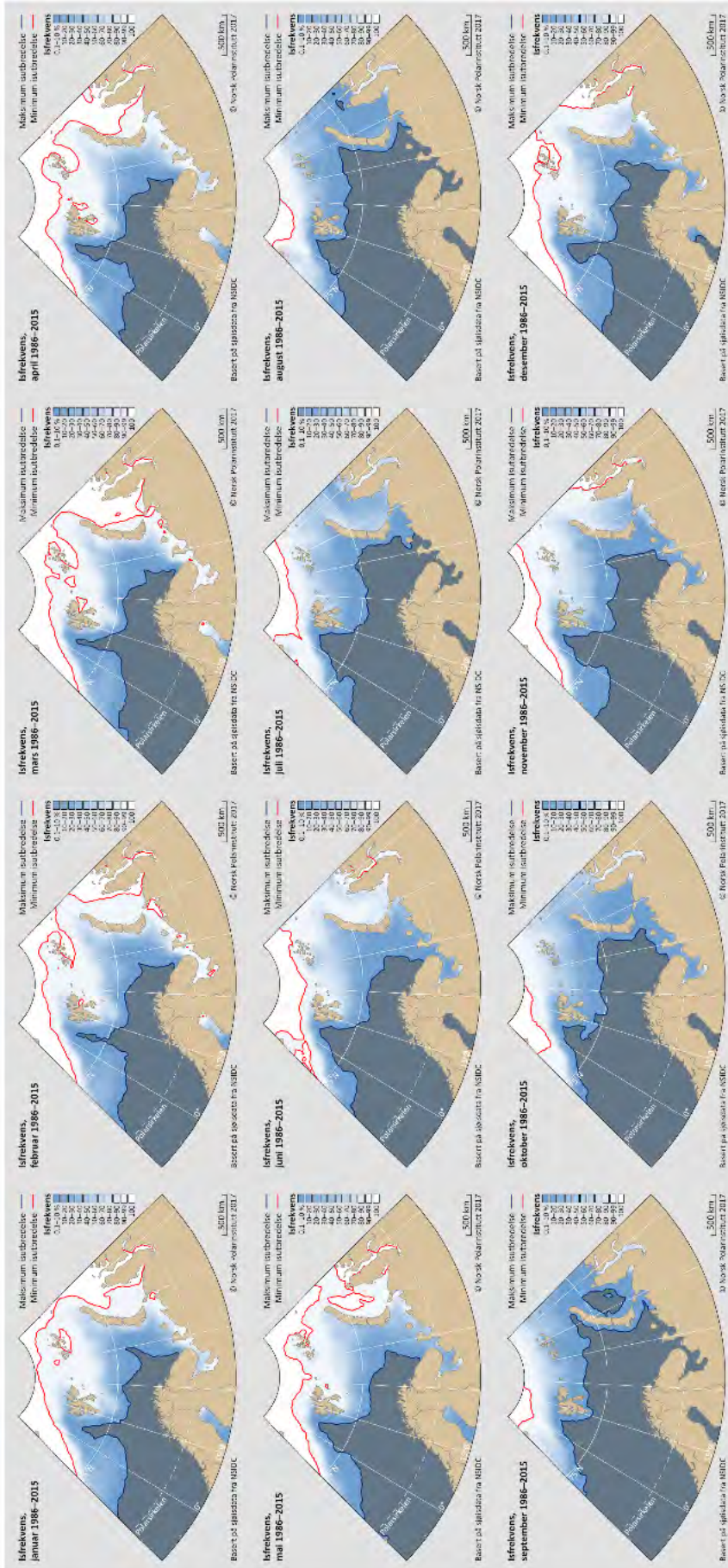
4.2.7 Isfrekvens – datainnhenting og kartproduksjon

Isdata hentes fra National Snow & Ice Data Center (NSIDC). Isdata er kalkulert basert på passive mikrobølgesatellittdata (Cavalieri et al. 1996, oppdateres årlig; Nimbus-7 SMMR og DMSP SSM/I-SSMIS; passive microwave data kommer fra NASA DAAC ved National Snow and Ice Data Centre (se <http://nsidc.org>), Boulder, Colorado USA: Data har døgnoopløsning i tid, og en romlig oppløsning på 25 km x 25 km).

Isfrekvens, maksimum og minimum utbredelse presenteres som månedsvise kart for 30-årsperioden (1986-2015). Data fra en 30-års periode er en lang nok tidsserie til at den til en viss grad har statistisk utsagnskraft nok til å kunne si noe om forventet isutbredelse på kort sikt. Kartene oppdateres årlig, og tilgjengeliggjøres via NPs nettsider. Dette er gjort og dokumentert på websiden til Norsk Polar institutt (<http://www.npolar.no/no/fakta/iskantsonen.html>, Norsk Polar institutt 2015). NP lager kart som dekker et areal som inkluderer områdene for forvaltningsplanene for Norskehavet og Barentshavet, samt området som inngår i det norsk-russiske miljøvernssamarbeidet (se Barentsportalen, <http://www.barentsportalen.com>).

4.2.8 Isfrekvens – oppdatering 2017

1. Isfrekvensdata vil bli oppdatert med 2016-data for iskonsentrasjon så snart disse gjøres tilgjengelige av NSIDC. Data vil anslagsvis være tilgjengelig i løpet av juli 2017, og det vil kreve noen uker med tilrettelegging og databearbeiding før oppdaterte datasett og kart kan tilgjengeliggjøres fra <http://data.npolar.no>. Da vil 30-årsperioden oppdateres fra nåværende periode 1986-2015 (Figur 3) til ny periode 1987-2016.
2. NSIDC har introdusert nye versjoner av sine datasett på iskonsentrasjon, som bl.a. inkluderer bruk av nye værfiltre, hyppigere data i perioden før 1988 (hver dag i stedet for annenhver dag), samt andre justeringer som nødvendiggjør ny beregning av isfrekvens med oppdaterte data for store deler av perioden 1978-2016.



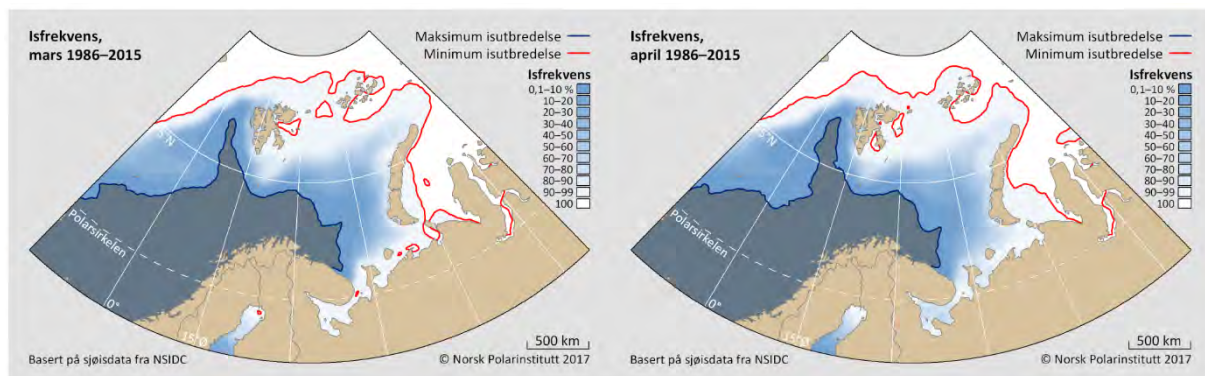
Figur 3. Isfrekvens i europeisk Arktis, månedsvis for perioden 1986-2015 (Kilde: Norsk Polarinstittutt).

4.2.9 Hvordan kan iskantsonebeskrivelsen brukes?

Det er nå utarbeidet maks-grenser for iskantsonen for alle måneder i året, basert på isfrekvens, noe som innebærer at vi har et tilgjengelig faktagrunnlag med en større oppløsning i tid. Aggregerte maks-grenser for iskantsonen har blitt utarbeidet for hver måned gjennom året for den siste 30-årsperioden.

En tidsoppløsning av en måned gir et bedre grunnlag for å vurdere tidsavgrensede aktiviteter med tanke på hvilke arter som vil bli påvirket og deres maksimum og minimum-sårbarhet ila. et år. Områdets sårbarhet er forhøyet fra is påtreffes, men det finnes lite kunnskap som kan gi basis for å si noe generisk og definitivt om hvordan den relative sårbarheten varierer på ferden fra 0 til 100 % isfrekvens, eller fra 0 til 100 % iskonsentrasjon.

Tradisjonelt har issituasjonen i april vært benyttet som en representasjon av maksimalsituasjonen. Avhengig av hvilke områder og perioder som inkluderes, så varierer det hvorvidt mars eller april er den måneden hvor isutbredelsen er på sitt største. For perioden 1986-2015 er den totale (kumulative) isutbredelsen i forvaltningsplanområdene i Norskehavet og Barentshavet ca 12000 km² større i april enn i mars. Derfor benytter vi også fortsatt angivelsen av isfrekvens for april som en representasjon av en maksimalsituasjon (se figur 1 i innledningen, kapittel 2.2.1).



Figur 4. Isfrekvens i norsk Arktis for mars og april i perioden 1986-2015.

Som vi ser av kartene i figur 4, så synes ikke isfrekvensene for mars og april å være iøynefallende forskjellige. Hvis vi imidlertid gjør samme beregning for isutbredelsen i hele Arktis, så kommer mars ut med ca 500 000 km² større kumulativ isutbredelse enn i april.

Det er ikke gitt at måneder for hhv. minimum og maksimum isutbredelse vil være de samme i framtiden pga. mellomårlig variasjon og klimaendringer. I forvaltningsplanen er det så langt benyttet en frittstående månedlig «gjennomsnittsgrense» for is, angitt i form av linjen for 30 % isfrekvens (også kalt «sannsynlighet for is»). Denne linjen gir ikke informasjon om variasjonen gjennom måneden, og gir i så måte ingen informasjon om hvor iskant/iskantsonen ligger i denne perioden. Derfor er de månedlige maksimums- og minimumsgrensene mer anvendelige, da de sier noe om hvor grensen egentlig ligger og sammen med isfrekvens, hvordan grensen forandrer seg over tid.

4.2.10 Tilgjengelighet av kart og data

Oppdaterte isfrekvenskart, kartdata og dokumentasjon er tilgjengelig på Norsk Polarinstitutt dataportal: <https://data.npolar.no/dataset/a89b2682-e1f8-44b5-ab73-e6ba65f3a7a7>

Andre isdata og tidsserier finnes bla. på websiden til Miljøovervåking for Svalbard og Jan Mayen, MOSJ (<http://www.mosj.no/en/climate/ocean/sea-ice-extent-barents-sea-fram-strait.html>), på miljøstatus.no (<http://www.miljostatus.no/tema/hav-og-kyst/barentshavet/miljotilstanden-i-barentshavet/havklima/havisutbredelse-i-barentshavet/havisutbredelse-i-barentshavet/>), og på de tyske websider www.Meereisportal.de.

Hovedpunkter

- Havisutbredelsen viser negativ trend i både Framstredet og Barentshavet for sommer- og vintersesongen.
- Havistykkelsen i Framstredet (som representerer Polhavet) viser negativ trend.
- Både isutbredelse og istykkelse viser mellomårlig variasjon.

Kunnskapsbehov

- Bedre prosessforståelse av havis- og oseanprosesser i den omtalte regionen koblet til det nye havisregime i Arktis med yngre, tynnere og mer dynamiske is.
- Mer kunnskap er nødvendig om rollen av snø på havis i området.
- Koblinger av fysiske forhold i området med prosesser viktig i andre disipliner.
- Videre forbedring av regionale klimamodeller og koblede fysiske-biologiske modeller.

Overvåkingsbehov

- Økning av in situ data for alle årstider (manuelle målinger og automatiske/autonome plattformer).
- Innsamling av snøtykkelsesdata i området ved flere steder og flere tidspunkt i løpet av et år.
- Fortsettelse og nyetablering av lange tidsserier.
- Begrenset satellittdata om istykkelse.

4.3 Modul 3 Vurdering av biologisk verdi og sårbarhet i iskantsonen

4.3.1 Biologisk verdi

Det ideelle ville vært om en kunne benytte samme kriteriesett for verdivurdering uavhengig av trofisk nivå, men til det er de biologiske egenskapene og kunnskapsnivået for ulikt. Utgangspunkt for verdivurderingen av miljøverdier i iskantsonen var det faglige grunnlaget for forvaltningsplanen og Havmiljø.no, supplert med ny kunnskap. For fisk, sjøfugl og pattedyr ble det benyttet en tilnærming med en gradering av verdi for utvalgte arter og egenskaper. For lavere trofiske nivå og bunnsamfunn er omtalen basert på modeller (e.g. SINMOD og CICE modell for primærproduksjon i og under isen) og ren deskriptive omtale. Der det var relevant og tilstrekkelig kunnskap ble variasjon i tid (gjennom året og mellom år) og rom (øst-vest, nord-syd, overflate-dyp, osv.) omtalt for de ulike trofiske nivåene.

4.3.1.1 *Pelagic and ice algae primary production and secondary production*

Primary production is amongst the most important ecosystem functions, as it provides the energetic basis for all marine food webs and plays a very important role in the exchange of carbon dioxide and oxygen across the atmosphere-ocean interface. Secondary production also provides important services to mankind with emphasis on food production. Together, these two important functions are closely interrelated, and they are the “backbone” of all biogeochemical cycles.

The MIZ has been defined as "that part of the ice cover which is close enough to the open ocean boundary to be affected by its presence" (Wadhams 1986). Quantitative criteria have also been used to map the MIZ defining it as the transition zone between the ice edge (often defined by the 15 % contour of ice concentration) and the boundary of ice having a concentration > 80 % (<http://seaiceatlas.snap.uaf.edu/glossary>). These definitions are based on physical criteria. However, in order to properly address the biological value and sensitivity of the MIZ it is important to reach some consensus about the biological meaning of the MIZ and to determine how it matches the physical definitions. Ideally, a definition of the MIZ should integrate both physical and biological criteria.

The main goals of this chapter are to: (i) synthesize available data on primary and secondary production in the MIZ; (ii) compare the contribution of phytoplankton and ice algae to total net primary production (NPP); (iii) analyse NPP distribution in time (during the Spring-Summer transition) and space. In this regard it needs to be noted that in situ data on both phytoplankton and ice-algal biomass and production are very limited and scattered in time and space and good phytoplankton and ice-algal time-series for the eastern European Arctic are scarce (Leu et al. 2015; Hegseth et al. in review).

Methods

Data on the magnitude and spatial-temporal distribution of primary and secondary production in the MIZ is very scarce. Therefore, the approach followed in this work is to synthesize empirical and modeling data scattered in the literature and to develop some modeling work detailed below.

The main goal of the modelling work is to get insight into the spatial distribution of phytoplankton and ice algal production and its relationship with the location of the MIZ, as defined by physical criteria. In order to accomplish this goal we focus on phytoplankton and ice algal net production/biomass ratios (NPP/biomass) as criteria to evaluate their growth potential. In order for growth to be possible NPP/biomass must be > 0. By restricting our model efforts to the calculation of the mentioned ratio we sacrifice the number of variables and processes that could be forecasted by a more detailed model but we avoid many uncertainties related to the physiology, population and community dynamics of the simulated organisms. There are still considerable uncertainties regarding the physiological processes related with NPP/biomass, such as the dependency of photosynthesis on different limiting factors or the magnitude of metabolic rates. Our principle was to assume values within the literature ranges (following several references given below) and to define simulation settings tending to "push" the NPP/biomass ratios to their highest possible values in order to be conservative when evaluating the spread of phytoplankton and ice algal blooms and avoiding underestimating their importance in and around the MIZ.

The model was implemented with EcoDynamo — an object oriented modelling software; specific details about the software, model implementation and examples of its application can be found in Pereira et al. (2006), Duarte et al. (2008), Azevedo et al. (2014) and Duarte et al. (2015). The model was used to simulate phytoplankton and ice algae NPP in domains around Svalbard as a function of light intensity, water or sea ice temperature and nutrient concentrations. Light intensity was limited by day length and snow and ice cover as described in Duarte et al. (2015). Snow and ice distribution and thickness time-series were obtained from simulations with an ocean-sea ice model or from satellite data. In the former case, MITgcm (mitgcm.org) results for 2008 from the ECCO2 project (ecco2.org) were used. For details about MITgcm see Nguyen et al. (2011, 2012) and Rignot et al. (2012). The spatial resolution of these simulations is 4.5 km, covering the Arctic Ocean and adjacent seas. In the latter case, satellite Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) data (Huntemann et al.

2014) provided by Marcus Huntemann and Gunnar Spreen, from the University of Bremen (<http://www.seaice.uni-bremen.de/thin-ice-thickness/>) from 2015 was used providing time-series of ice thickness with a spatial resolution of 12.5 km. Snow thickness was estimated following Tian-Kunze et al. (2014). Surface water temperature (SST) was obtained from the same MITgcm simulations mentioned above for 2008 or from the Copernicus Ocean System (www.marine.copernicus.eu), more specifically, from results of the ARCTIC_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_002_001_a (Simonsen et al. 2016) for 2015. Model simulations described herein are based on different grids matching the resolution of the sea-ice forcing data (4.5 or 12.5 km). SMOS data is adequate for relatively thin ice and it does not resolve sea-ice thickness above 50 cm. Therefore, the maximum ice thickness in the simulations forced with these data is 50 cm which biases model results for regions away from the MIZ where sea ice tends to be thicker.

Model NPP/biomass calculations for ice algae were performed according to Duarte et al. (2015), using a model setup with 5 sea-ice layers. Corresponding calculations for phytoplankton were carried out as described in the supplementary information of Assmy et al. (2017). In short, the model calculates light intensity as a function of time and depth, taking into account snow, ice and water optical properties (Figure 1). Light intensity, water temperature, salinity (in the case of ice algae) and nutrient concentrations (in the brine or in the water column) are used to force primary production calculations as described in the previous articles.

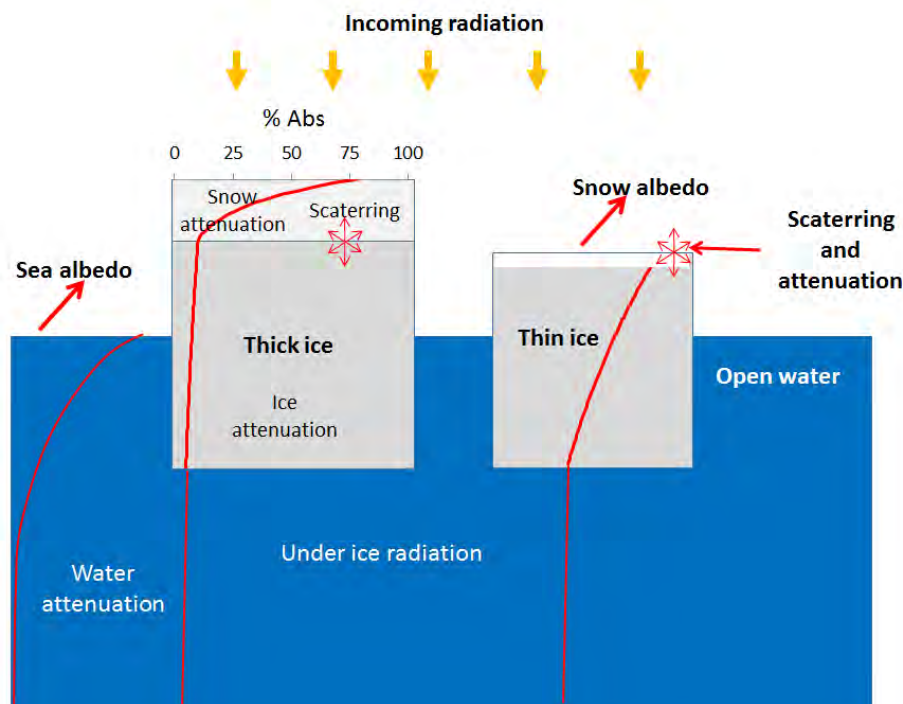


Figure 1. Synthesis of main physical processes limiting light penetration through snow-ice and water. Red lines illustrate light decay through the various environments (for the sake of simplicity percentage decay is exemplified only for light penetrating through snow and thick ice).

It is important here to stress the limitations in available sea-ice and snow thickness data for the Arctic Ocean. This is the reason why we use simulated data with MITgcm. Furthermore, none of the above data sets considers different ice types. This averaging of ice thickness and other sea-ice properties at the spatial resolution of the available data (see above) may bias our simulations of the light environment within and below the ice, due to the non-linear dependency of light intensity on

snow cover and ice thickness on one hand, and to the non-linear effects of light intensity on photosynthetic rates on the other hand. Figure 2 illustrates part of this complexity. This figure was obtained with an analytical version of the EcoDynamo model equations, used in the present report, by simplifying the variability patterns of surface light intensity. It shows phytoplankton growth rates for different combinations of thick and thin ice fractions. The non-linear response of the growth rates to different combinations of the two ice types is apparent except when one of the ice types is close to zero. Therefore, we used the method described in Tian-Kunze et al. (2014) to obtain a frequency distribution of the fractional area of different ice thickness classes from the average ice thickness at each grid cell. This procedure is based on statistical properties of sea-ice data, such as the mean and the standard deviation of ice thickness, and on the assumption of a log normal frequency distribution of the fractions of ice corresponding to different thickness classes. Five sea-ice classes were considered with different snow covers, following the algorithm mentioned above and described in Tian-Kunze et al. (2014) that implies a direct proportionality between snow cover and ice thickness.

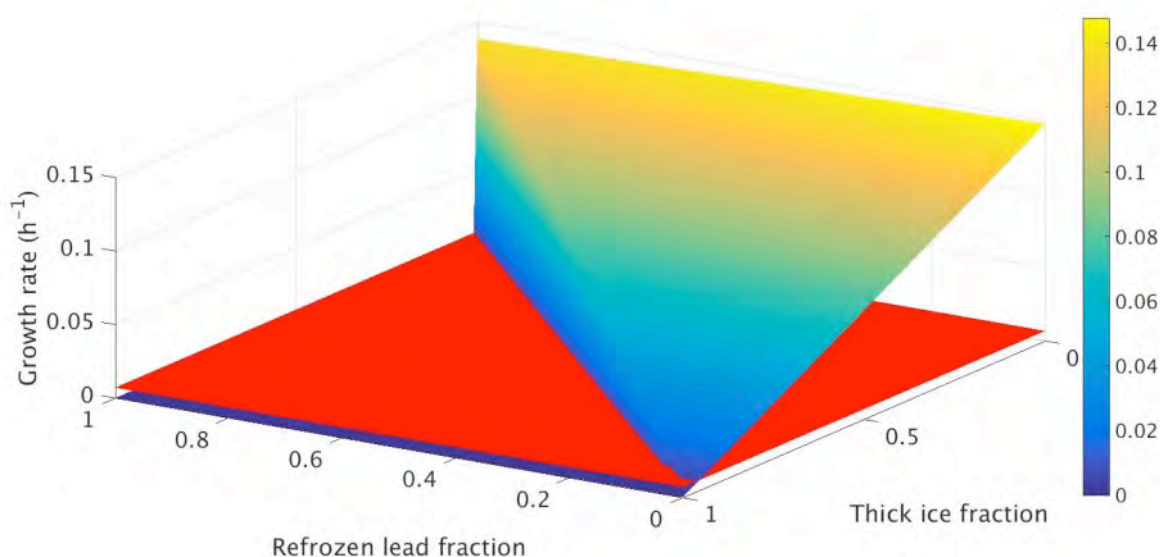


Figure 2. Calculated phytoplankton growth rate under several combinations of thick ice with snow and thin ice fractions. Transmissivities of 0.001 and 0.756 were assumed for the thick and the thin ice respectively, based on empirical data obtained during the N-ICE2015 expedition (Granskog et al. 2016). Phytoplankton physiologic parameters were taken from Cota et al. (1994). The red plane represents the growth rate estimated during a *Phaeosystis* bloom (Assmy et al. 2017) (see text).

The following three main scenarios were considered: 2008 with one ice type based on MITgcm data, and 2015 with one and five ice types based on SMOS data. The selected years and spatial domains were defined by the availability of forcing data. For each scenario the model was run with and without nutrient limitation to obtain, respectively, an “optimistic”, more conservative distribution of ice algal and phytoplankton NPP/biomass, and a “realistic” distribution. The option for these two approaches was to make sure that model results cover most of the possible range of the simulated variables.

Results and Discussion

Literature data

Changes in the timing and spatial extent of ice algal and phytoplankton blooms and their relative contribution to total primary production and algal biomass in the Barents Sea will determine the amount of energy available to ice-associated and pelagic ecosystems, respectively, and the transfer efficiency of organic carbon from the ice–ocean surface to benthic ecosystems (Barber et al. 2015). The significance of the MIZ for the Barents Sea ecosystem is thus not only determined by the total magnitude of production but particularly by the timing of the ice edge phytoplankton bloom. The timing of the ice edge bloom can be much earlier than in open but deeper mixed waters further south. This fact can be attributed to earlier improvement of the light climate by shallow stratification due to meltwater in the Arctic as compared to the slower establishment of thermal stratification in the stormy Norwegian Sea. Indeed, satellite-derived chlorophyll *a* concentrations, a proxy for phytoplankton biomass, show phytoplankton blooms in the Barents Sea and areas close to the ice edge early in the season in April and May (Figure 3). Elevated chlorophyll concentrations can also be detected in areas with low sea ice concentrations and are indicative of the extent of the MIZ bloom. However, it needs to be kept in mind that satellites are unable to detect blooms further into the consolidated ice cover (see below). Generally the satellite products agree reasonably well with the model results presented further below.

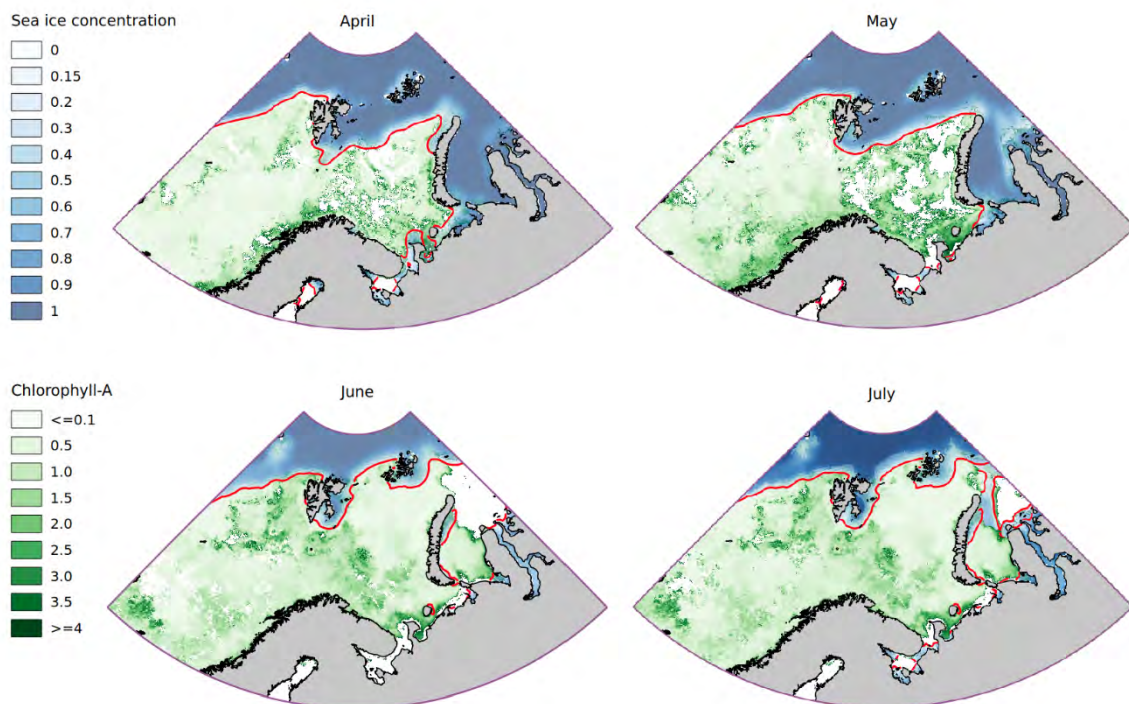
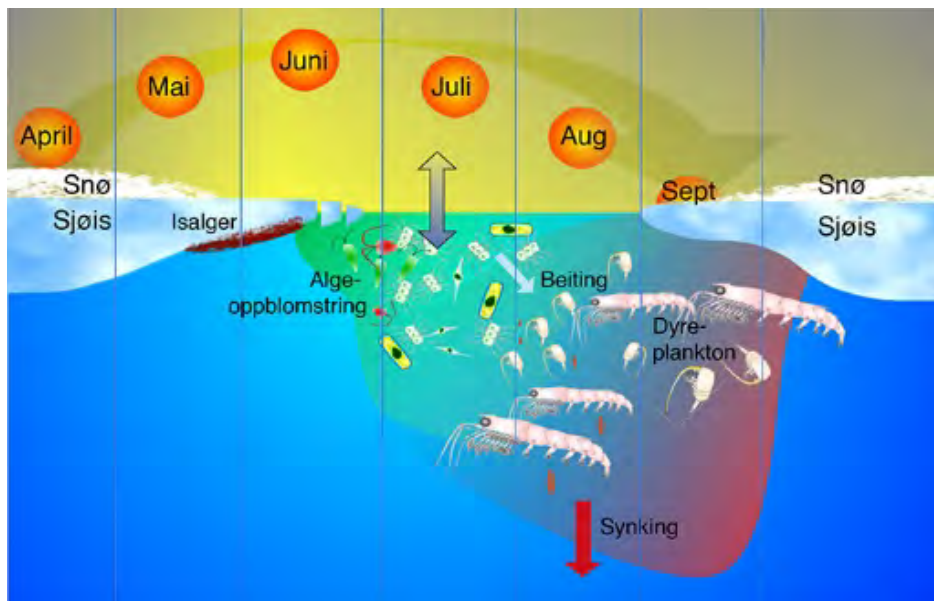


Figure 3. Monthly composite satellite images for the months of April, May, June and July 2015 for the eastern European Arctic showing sea ice concentration (blue shading) and surface chlorophyll *a* concentration in mg m^{-3} (green shading). The red line indicates the ice edge and white areas are cloud cover.

The MIZ is characterized by short and intense phytoplankton blooms (Engelsen et al. 2002; figure 4), which develop in the shallow mixed layer near the ice edge during sea ice melting due to favourable photosynthetically available radiation (PAR) levels and winter-accumulated nutrients. This intense production constitutes the high ecological significance of the MIZ for the marine ecosystem of the Barents Sea. Zooplankton, fish, marine mammals and sea birds utilize this production and

concentrate around the MIZ. Despite utilization of production by pelagic grazers a large fraction of the biological production sediments out of the water column and sustains a rich benthic community. On an annual basis pelagic primary production in Atlantic-influenced waters of the southern Barents Sea is generally higher and less influenced by interannual variability as in ice-covered waters of the northern Barents Sea (Reigstad et al. 2011; table 1). This illustrates again the intense but short-lived production in the MIZ compared to the less intense but persistent production further south. The same applies to secondary production of the two main *Calanus* copepods (*Calanus finmarchicus* and *C. glacialis*) and sedimentation of organic matter (Wassmann & Slagstad 1993). Modelled secondary production is estimated to be 10 % of primary production and declines from 7.3 in the southern Barents Sea to 1.8 g C m⁻² year⁻¹ in the northern Barents Sea (Wassmann & Slagstad 1993). Also within the marginal ice zone (MIZ) there is an increase in pelagic primary production from further into the ice pack towards the ice edge (Wassmann et al. 2006). This inverse relationship between pelagic primary production and sea ice cover results from the light attenuating properties of sea ice and particularly snow cover (Leu et al. 2015) that limit light availability for phytoplankton growth.



Figur 4. Illustration of biological phenomena in the marginal ice zone as a function of time. Source: Paul Wassmann, UiT The Arctic University of Norway.

In addition to phytoplankton, ice algae growing within and at the bottom of sea ice contribute to the total production in the MIZ. The ice-algal bloom commences under low light levels before the onset of the phytoplankton bloom and thereby extends the productive season and thus constitutes a particularly important added value for the northern, ice-covered Barents Sea ecosystem which is absent in permanently open waters of the southwestern Barents Sea. The ice algal bloom thus provides an early, highly concentrated and nutritious food source for specialised ice-associated and pelagic grazers (Søreide et al. 2010; Leu et al. 2011; Assmy et al. 2013) and tends to sink out (Carroll & Carroll 2003; Boetius et al. 2013) when the ice environment deteriorates during the summer melt season. Ice algae can reach much higher chl *a* concentrations in the bottom few cm of sea ice compared to the more diluted phytoplankton in the water column but peak phytoplankton depth-integrated standing stocks (Table 5) are about an order of magnitude higher than those of ice algae (Table 6) due to the much larger vertical extent of the pelagic compared to sea ice environment (10's of m compared to 10's of cm). Ice algal production is estimated to range between 10-22 % of total

annual primary production in the northern Barents Sea, depending on duration and compactness of ice cover (Hegseth 1998; table 2). Rates of daily primary production for both phytoplankton and ice algae show a large variability (Tables 3 and 4) depending on season, species composition, light conditions and nutritional status, with phytoplankton having generally higher rates than ice algae. Ice algal standing stocks and annual primary production in the Barents Sea are generally lower than those reported from the Canadian Arctic or the Chukchi Sea (Barber et al. 2015). This can be partly explained by the higher nutrient concentrations advected from the Pacific Ocean into the Arctic Ocean but dissipation of ocean heat towards the sea ice due to inflow of warm Atlantic water masses likely limits the establishment of high algal biomass in the bottom of sea ice in the Atlantic-influenced Barents Sea (Barber et al. 2015). This melting effect of Atlantic Water is further corroborated by the gradient of higher ice algal standing stocks towards the eastern, less Atlantic-influenced Barents Sea (Cecilie von Quillfeldt personal communication; figures 9a&b and 10a&b). Furthermore fast-ice covered Svalbard fjords with stable, cold water masses can sustain considerably higher ice-algal biomass than Atlantic-influenced pack-ice environments (Leu et al. 2011).

Considering most of the published literature about the Arctic and the Barents Sea, there is not much data on primary and secondary production specifically along the MIZ. In table 1 there is a reference to the annual phytoplankton primary production in the seasonally ice-covered Northern Barents Sea ($54\text{-}67\text{ g C m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$) which may be seen as a proxy to the MIZ. Model results presented by Popova et al. (2010) discriminate primary production among different geographical regions and ecological provinces including the shelf and deep water marginal ice zones (SMIZ and DMIZ, respectively). They define MIZ as any region that remains ice free for no less than 15 days per year and use the 220 m bottom depth to separate between SMIZ and DMIZ. Their predicted primary production values for the SMIZ and DMIZ are between $585\text{ and }611\text{ Tg C year}^{-1}$, not including ice algal production. According to the results presented by the same authors for the whole Arctic, these values correspond roughly to 7 % of the total primary production. Assuming a trophic food web energy transfer efficiency of 10 % (e.g. Pauly & Christensen 1994) these would lead to a secondary production of $58.5\text{ – }61.1\text{ Tg C year}^{-1}$ at the second trophic level. Assuming that the Arctic top predators are at the 4-5th trophic level these values would correspond to $\sim 60000\text{-}6000\text{ Tg C year}^{-1}$ of secondary production for the 4th and the 5th trophic levels, respectively, supported by the Arctic-wide MIZ.

Vertical carbon export can vary substantially depending on season, plankton community composition, vertical mixing and productivity regime (Reigstad et al. 2008). Furthermore, vertical flux estimates are based on short-term sediment trap deployments and we thus lack a good seasonal resolution of vertical flux data because long-term sediment trap deployments have been hampered by the high trawling activities in the Barents Sea. Annual carbon export estimates for the Barents Sea are generally higher for Atlantic Water masses ($44\text{ g C m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$) compared to Arctic Waters ($32\text{ g C m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$) (Reigstad et al. 2008). However, annual estimates of vertical carbon export of primary production suggest weaker retention and thus stronger pelagic-benthic coupling in Arctic compared to Atlantic water of the Barents Sea (Reigstad et al. 2008). Although ice algae usually contribute <20 % to total primary production in the Barents Sea, their contribution to vertical carbon flux can be substantial, particularly in the permanently ice-covered areas of the Arctic Ocean (Boetius et al. 2013). Ice algae are inherently sticky which facilitates aggregate formation once the sea ice habitat deteriorates (Assmy et al. 2013) and rapid sedimentation of ice algal biomass towards the seafloor (Boetius et al. 2013).

It is not only the quantity of annual primary production but also the species composition of primary producers that determines trophic transfer through marine food webs and the strength of the

biological carbon pump. Both ice algal and phytoplankton blooms in the MIZ are characterised by taxa that have a high nutritional value and contribute to tight cryo-pelagic-benthic coupling. Generally these blooms are dominated by microalgae (20-200 μm in size), in particular diatoms (Barber et al. 2015; tables 5 and 6). The phytoplankton spring bloom is characterised by a succession of chain-forming diatoms species, with *Fragilariopsis* species usually blooming first followed by *Thalassiosira* species and then *Chaetoceros* species, in particular *C. gelidus* (von Quillfeldt 2000 and Figure 5). These species have a “boom and bust” life cycle characterised by high growth rates and a rapid biomass accumulation within 2-3 weeks (Figure 5) until nutrients are exhausted. These species form resting spores during bloom termination that rapidly settle out of the surface layer and thus provide an effective transfer of fresh organic carbon to the deep ocean and benthos.

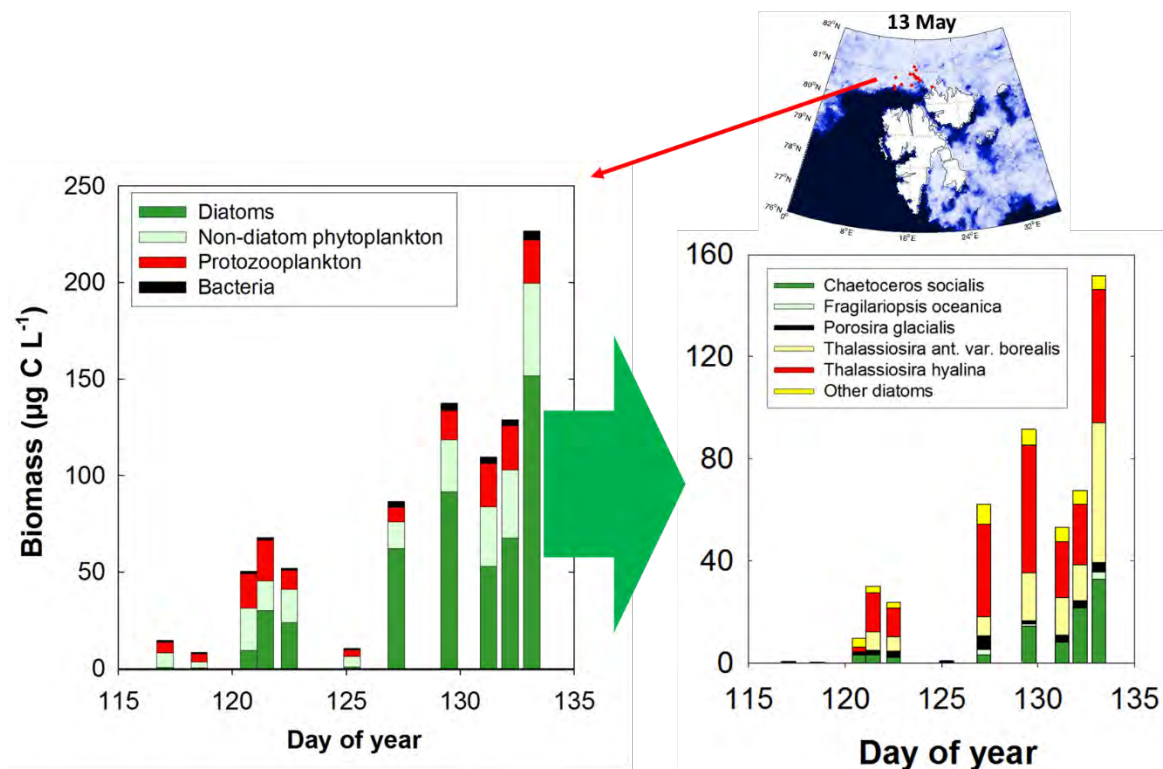


Figure 5. Temporal development of a phytoplankton spring bloom in the marginal ice zone north of Svalbard in April/May 2011. Bloom biomass with the contributions of diatoms, non-diatom phytoplankton (largely *Phaeocystis pouchetii*), protozooplankton (largely naked ciliates, tintinnids and naked dinoflagellates) and bacteria. Diatoms strongly dominated bloom biomass at the peak of the bloom and six out of the 35 identified diatom taxa (17 %) accounted for 83 - 97 % of total diatom biomass. Note! *Chaetoceros socialis* has changed name to *C. gelidus* (Chamnansinp et al. 2013).

The haptophyte algae *Phaeocystis pouchetii* is associated with Atlantic water masses (Metfies et al. 2016) and usually constitutes a later successional stage of the spring bloom and can attain high biomass, particularly in its colonial form. This species tends to be remineralised in the surface ocean and thus contributes less to deep carbon export than diatoms (Reigstad & Wassmann 2007) and is generally not the preferred food of the dominant *Calanus* copepod species (Ray et al. 2016). Bloom timing and relative contribution of diatoms vs. *Phaeocystis* can vary substantially from year to year (Degerlund & Eilertsen 2010) but also within one year.

The ice-algal bloom is generally dominated by diatoms in terms of biomass (Tables 4 and 6) but flagellates can be numerically important in early spring and in sea ice surface communities. Pennate diatoms generally play a much more prominent role in sea ice than centric diatoms due to their superior ability to stick to and glide on surfaces. The ice-algal biomass is usually concentrated in the bottom few cm of the sea ice. Those studies providing taxonomic information usually report the pennate diatom *Nitzschia frigida* amongst the dominant species (Tables 4 and 6), illustrating its important status. With its aborescent colonies this species is particularly well-adapted to the bottom ice environment. Other pennate diatoms are well-adapted to the confined space of the brine channel network within the sea ice (such as *Navicula* species) or cope equally well inside the sea ice and the water column (such as *Fragilariopsis cylindrus*). The centric diatom *Melosira arctica* is a notable exception to the dominance of pennate diatoms, as it can form dense strings or mats anchored to the bottom of sea ice, particularly multi-year ice (Melnikov 1997).

Table 1. Annual phytoplankton production derived from modelling studies and extrapolation of field measurements from the Barents Sea.

Region	Type of algae	Annual primary production (g C m ⁻² yr ⁻¹)	Reference
Northern Barents Sea	Phytoplankton	45	Wassmann et al. (2006)
Entire Barents Sea	Phytoplankton	93	Wassmann et al. (2006)
Barents Sea	Phytoplankton	12 – 45	Wassmann et al. (2006)
Barents Sea	Phytoplankton	69	Rey et al. (1987)
Barents Sea	Phytoplankton	103	Ellingsen et al. (2008)
Barents Sea	Phytoplankton	<20 - 200	Sakshaug (2004)
Northern Barents Sea; Atlantic influenced	Phytoplankton	106 - 134	Reigstad et al. (2011)
Northern Barents Sea; seasonally ice-covered	Phytoplankton	54 - 67	Reigstad et al. (2011)
Barents Sea	Phytoplankton	18 - 73	Wassmann & Slagstad (1993)
		12 - 200	

Table 2. Annual ice algal production derived from modelling studies and extrapolation of field measurements from the Barents Sea.

Region	Type of algae	Annual primary production (g C m ⁻² yr ⁻¹)	Reference
Northern Barents Sea	Ice algae	5.3	Wassmann et al. (2006)
Entire Barents Sea	Ice algae	5.3	Wassmann et al. (2006)
Barents Sea	Ice algae	0.2 – 5.3	Hegseth (1998)
Barents Sea	Ice algae	0.6	Deal et al. (2011)
		0.2 – 5.3	

Table 3. Daily primary production of phytoplankton from the Barents Sea.

Region	Season	Type of algae	Primary production (mg C m ⁻² d ⁻¹)	Reference
Barents Sea	June & July	Phytoplankton	≈100 - ≈2000	Rey et al. (1987)
Central Barents Sea	June/July	Phytoplankton	80 - 630	Luchetta et al. (2000)
Central Barents Sea	June/July	Phytoplankton	10 - 360	Luchetta et al. (2000)
Barents Sea	May	Phytoplankton	766 - 1497	Hansen et al. (1996)
Northern Barents Sea	May – Aug.	Phytoplankton	43 - 360	Hegseth (1998)
Eastern Barents Sea	Sept. – Oct.	Phytoplankton	24 - 214	Vedernikov & Gagarin (1998)
Barents Sea MIZ	March, April, July	Phytoplankton	500 - 1400	Reigstad et al. (2002)
Barents Sea	May & Jul	Phytoplankton	103 - 1475	Hodal & Kristiansen (2008)
North-west Spitsbergen		Phytoplankton	430 - 890	Heimdal (1983)
North-west Spitsbergen	April/May	Phytoplankton	100 - 700	Assmy (unpubl. data)
North-west Spitsbergen	April/May	Phytoplankton	100 - 700	Assmy (unpubl. data)
			10 – 2000	

Table 4. Daily primary production of ice algae from different regions of the Arctic Ocean, with reference to source.

Geographic area		Year	Season	Region	Ice type	Incubation method and time	Primary production (mg C m ⁻² d ⁻¹)	Dominant taxa (in terms of biomass)	Reference
Barents Sea (including Svalbard, Fram Strait and Greenland Sea)		1996/1997	May –Aug.	Northern Barents Sea	Pack ice	¹⁴ C, 6 h	0.2 - 52	Pennate diatoms (<i>Nitzschia frigida</i> , <i>N. promare</i> , <i>Fragilariopsis oceanica</i> , <i>Pseudogomphone ma arctica</i> , <i>Fossula arctica</i> and <i>Synedropsis hyperborea</i>)	Hegseth 1998
		1997	May/June	Barents and Greenland Sea and Fram Strait	Pack ice	¹⁴ C, 8 h	0.8 - 9.7	No information	Mock & Gradinger 1999
		2004	May	Northern Barents Sea	Pack ice	¹⁴ C, 6 – 7 h	4.9 - 55	<i>Nitzschia frigida</i>	McMinn & Hegseth 2007
		2010	June	Fram Strait	Pack ice	¹⁴ C, 24 h	0.8 - 2	<i>Navicula transitans</i> and <i>Nitzschia</i> spp.	Glud et al. 2014
		2012	July/Aug.	North-west Svalbard	Floating ice-algal aggregates	¹⁴ C, 24 h	0.02 - 0.002	Pennate diatoms (<i>Navicula pelagica</i> , <i>Hantzschia weyprechtii</i> , <i>Entomoneis paludosa</i> and <i>Cylindrotheca closterium</i>)	Assmy et al. 2013
		2012	August	North-west Svalbard	Pack ice	¹⁴ C, 24 h	1 – 9.2	Pennate diatoms	Assmy et al. 2013
								0.002 - 55	

Table 5. Depth-integrated carbon and chl *a* standing stocks of phytoplankton from the Barents Sea.

Region	Season	Type of algae	Carbon standing stock (mg C m ⁻²)	Chl <i>a</i> standing stock (mg Chl <i>a</i> m ⁻²)	Dominant type of algae (in terms of biomass)	Reference
Barents Sea	June & July	Phytoplankton	–	<10 - 437	–	Rey et al. (1987)
Barents Sea, ice edge bloom	April	Phytoplankton	–	3 - 451	Centric and pennate diatoms	Kristiansen et al. (1994)
Barents Sea	Feb. – Oct.	Phytoplankton	–	1.2 - 923	Centric diatoms (<i>Chaetoceros</i> spp., <i>Thalassiosira</i> spp.) and <i>Phaeocystis</i>	Hegseth (1992)
Barents Sea	Sept./Oct.	Phytoplankton	–	8 - 108	Diatoms	Hegseth (1997)
Barents Sea	May	Phytoplankton	–	≈80 - 400	Centric and pennate diatoms, <i>Phaeocystis pouchetii</i>	Wassmann et al. (1999)
Central Barents Sea	March - July	Phytoplankton	4285 - 13490	0 - >250	Diatoms, <i>Phaeocystis pouchetii</i> and small flagellates	Wassmann et al. (2006)
Barents Sea	May & July	Phytoplankton	<100 - 25000	–	Diatoms, flagellates	Reigstad et al. (2011)
Barents Sea	May & July	Phytoplankton	–	12 - 588	Diatoms, flagellates	Hodal & Kristiansen (2008)
North-west Spitsbergen	March - May	Phytoplankton	1911 - 6143	0.5 - 300	<i>Thalassiosira hyalina</i> , <i>Thalassiosira antarctica</i> var. <i>borealis</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> , <i>Porosira glacialis</i> and <i>Fragilariopsis oceanica</i>	Assmy (unpubl. Data)
			<100 - 25000	0 - 923		

Table 6. Depth-integrated carbon and chl α standing stocks of ice algae, with reference to source.

Geographic area	Year	Season	Region	Ice type	Carbon standing stock (mg C m ⁻²)	Chl α standing stock (mg Chl α m ⁻²)	Dominant taxa (in terms of biomass)	Reference	
Barents Sea (including Svalbard, Fram Strait and Greenland Sea)	1999	Sept./Oct.	Fram Strait and Greenland Sea	Pack ice	–	0.1 – 17.1 mg m ⁻³	Pennate diatoms	Meiners et al. 2003	
	2002/2003	Sept. and March/April	Northern Fram Strait	Pack ice	–	0.1 – 2.3	No information	Schünemann & Werner 2005	
	2010	June	Fram Strait	Pack ice	410	0.11 – 0.93	Pennate diatoms (<i>Navicula transitans</i> and <i>Nitzschia</i> spp.)	Glud et al. 2014	
	2010	June	Fram Strait	Floating ice- algal aggregates	–	2.97 ± 1.21 mg m ²	Pennate diatoms (<i>Navicula transitans</i> , <i>Navicula directa</i> , <i>Achnanthes taeniata</i> and <i>Nitzschia</i> spp.)	Glud et al. 2014	
	2007	April - June	Rijpfjorden, Svalbard	Land-fast ice	54 – 450	1 – 48	<i>Nitzschia frigida</i> , <i>Navicula septentrionalis</i> , <i>Fragilariopsis cylindrus</i>	Leu et al. 2010	
	2009	Feb. - June	Billefjorden, Svalbard	Land-fast ice	–	0.01 - 14	No information	Gabrielsen unpublished	
	2011	March - May	North-west Svalbard	Pack ice	–	0.3 – 9.8	Pennate diatoms (<i>Nitzschia frigida</i> , <i>Navicula</i> spp., <i>Entomoneis kjelmanii</i> , <i>Synedropsis hyperborea</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i>)	Assmy unpublished	
	2012	July	North-west Svalbard	Floating ice- algal aggregates	0.2 – 1.3	0.002 – 0.006	Pennate diatoms (<i>Navicula pelagica</i> , <i>Hantzschia weyprechitii</i> , <i>Entomoneis paludosa</i> and <i>Cylindrotheca closterium</i>)	Assmy et al. 2013	
	1993	Aug. – Oct.	Barents Sea	Pack ice	30 - 34	1	No information	Gradinger & Zhang 1997	
	2003-2005	May & July	Barents Sea	Pack ice	9 - 620	–	Pennate diatoms (<i>Nitzschia frigida</i> , <i>Synedropsis hyperborea</i> , <i>Fragilariopsis cylindrus</i> , <i>F. oceanica</i> and <i>Navicula pelagica</i>), the centric diatom <i>Chaetoceros sociales</i> , <i>Phaeocystis pouchetii</i> and <i>Dinobryon balticum</i>	Tamelaender et al. 2009	
						0.01 - 48			

Modelling

According to MITgcm results, sea-ice concentration (not shown) and thickness remained relatively stable in the area depicted in figure 6 from March to June 2008, as well as the position of the MIZ (indicated in all figures by the dashed lines corresponding to the 15 and 80 % ice concentration isolines). Ice thickness ranged from near zero to almost 3.5 m at the northwest corner of the model domain. The eastern side of the Fram Strait remains practically ice free, except close to southwest (in March and April) and northwest parts of Svalbard. The MIZ stays in close proximity with the remaining of the Svalbard archipelago with a small exception in June, when part of the southern shores becomes ice free. The MIZ crosses the Fram Strait almost perpendicularly at the latitude of the northwest corner of Svalbard.

The position of the “physical” MIZ (15 – 80 % ice concentration) in 2008 seems to be a “natural” boundary for the phytoplankton NPP/biomass ratios (Figures 7 – 10) that decrease substantially beyond the 80 % sea-ice concentration isoline. These results are consistent among the simulated months and considering or not nutrient limitation. Therefore, light limitation is the main driver of these patterns. However, they become more diffuse in June, when nutrient limitation is considered. During the melting season, thinner ice and snow relieve primary producers from light limitation north of the MIZ, where nutrient limitation is delayed in relation to locations further south, where phytoplankton and ice algal blooms start earlier. The stronger light limitation further north and the stronger nutrient limitation further south combine to decrease meridional primary production trends. Ice algae NPP/biomass highest values occur along the MIZ in March and April but are observed deeper into the ice pack in May and June. The similarity of observed patterns with and without nutrient limitation suggests the dominating role of light in shaping them, whereas nutrients limit the magnitude of predicted values, similarly with what was observed for phytoplankton. The results presented herein are consistent with the phenology of phytoplankton and ice algal blooms described in the literature (e.g. Leu et al. 2011, 2015).

The results obtained for April-June 2015 using SMOS data with only one ice class confirm the trends described above (Figures 11-16), except for the fact that gradients across the MIZ are smoother and the NPP/biomass production “fronts” cross the 80 % ice concentration isoline towards higher latitudes, as early as April. However, there may be some bias in these results resulting from the assumption of a maximal ice thickness of 50 cm. In fact, SMOS data resolves ice thickness only below that value. However, ice thickness just north of the 80 % ice concentration isoline may be well above this value as suggested by the MITgcm 2008 results (Figure 6). Interestingly, in June 2008 (Figure 10d) as well as in June 2015 (Figure 16b) maximal phytoplankton NPP/biomass values are obtained for areas located inside the “physical” MIZ, when nutrient limitation is considered. This is because in this area light limitation became milder and nutrient limitation has not yet set in in full force. Some areas north of the 80 % isoline may also exhibit maximum due to thinner ice and snow cover (Figure 9c). This is in accordance with an observed phytoplankton spring bloom beneath snow-covered Arctic pack ice, dominated by the haptophyte algae *Phaeocystis pouchetii*, in June 2015, north of Svalbard (Assmy et al. 2017). Ice concentration in the area where the bloom was observed was > 90 %, implying that the bloom was beyond the MIZ. The presence of leads and thin ice seemed to have a crucial effect in bloom development. The same authors hypothesize that such blooms might become more common and widespread in the future Arctic Ocean with frequent lead formation due to thinner and more dynamic sea ice despite projected increases in high-Arctic snowfall. The magenta line in figure 9c contours the area within which NPP/biomass is comparable to values reported in Assmy et al. (2017) and part of it is located well in the ice pack, roughly 300 km north of the MIZ.

The results obtained for April-June 2015 using SMOS data with five ice classes (Figures 17 and 18) show trends similar to those shown before with nutrient limitation (Figures 11-16), especially for phytoplankton. In the case of ice algae trends are similar but higher maximal NPP/biomass values were obtained when using five ice classes. These differences result from the presence of very thin ice classes with little snow cover, and emphasize the need of improving the physical detail with which ice and snow cover should be represented in models and/or resolved from remote sensing data, if primary production is to be properly evaluated.

Observed patterns in the simulations forced with MITgcm data (Figures 7-10) suggest that ice algal production develops along a network defined by the light “conduits” in the ice pack. The implied spatial heterogeneity makes it challenging to forecast primary production without properly taking into account or parameterizing sea-ice structural variability. Similar light conduit patterns are not so obvious in the simulations forced with SMOS data due to the “artificial” forced homogeneity of ice thickness above 50 cm, aggravated by the lower resolution of these data in comparison with MITgcm results, even when five ice classes are considered.

Phytoplankton NPP/biomass spatial gradients seem more aligned with the “physically defined” MIZ than those of ice algae. This is because ice algae are attached to the sea ice, likely less light limited than phytoplankton and, thereafter, being able to grow deeper into the ice pack. Therefore, phytoplankton NPP/biomass gradients seem more adequate to help defining a biological MIZ than those of ice algae.

The NPP/biomass model results presented in Figures 7-10 may be evaluated to some extent by combining data from Tables 3 and 5, regarding phytoplankton, and 4 and 6, concerning ice algae. Tables 3 and 4 contain phytoplankton and ice algal areal production data, respectively. Tables 5 and 6 contain standing stock data. Dividing the former by the latter data, production/biomass rates are obtained and can be compared to the ranges shown in Figures 7-10. In the case of phytoplankton the calculations from Tables 3 and 5 lead to maximal production/biomass rates in excess of $1 \text{ mg C mg Chl a}^{-1} \text{ h}^{-1}$ which is higher than any of the modelled values under nutrient limitation. In the case of ice algae, calculations from Tables 4 and 6 lead to maximal production/biomass rates of $\approx 0.2 \text{ mg C mg Chl a}^{-1} \text{ h}^{-1}$ which is comparable to most of the higher values simulated under nutrient limitation.

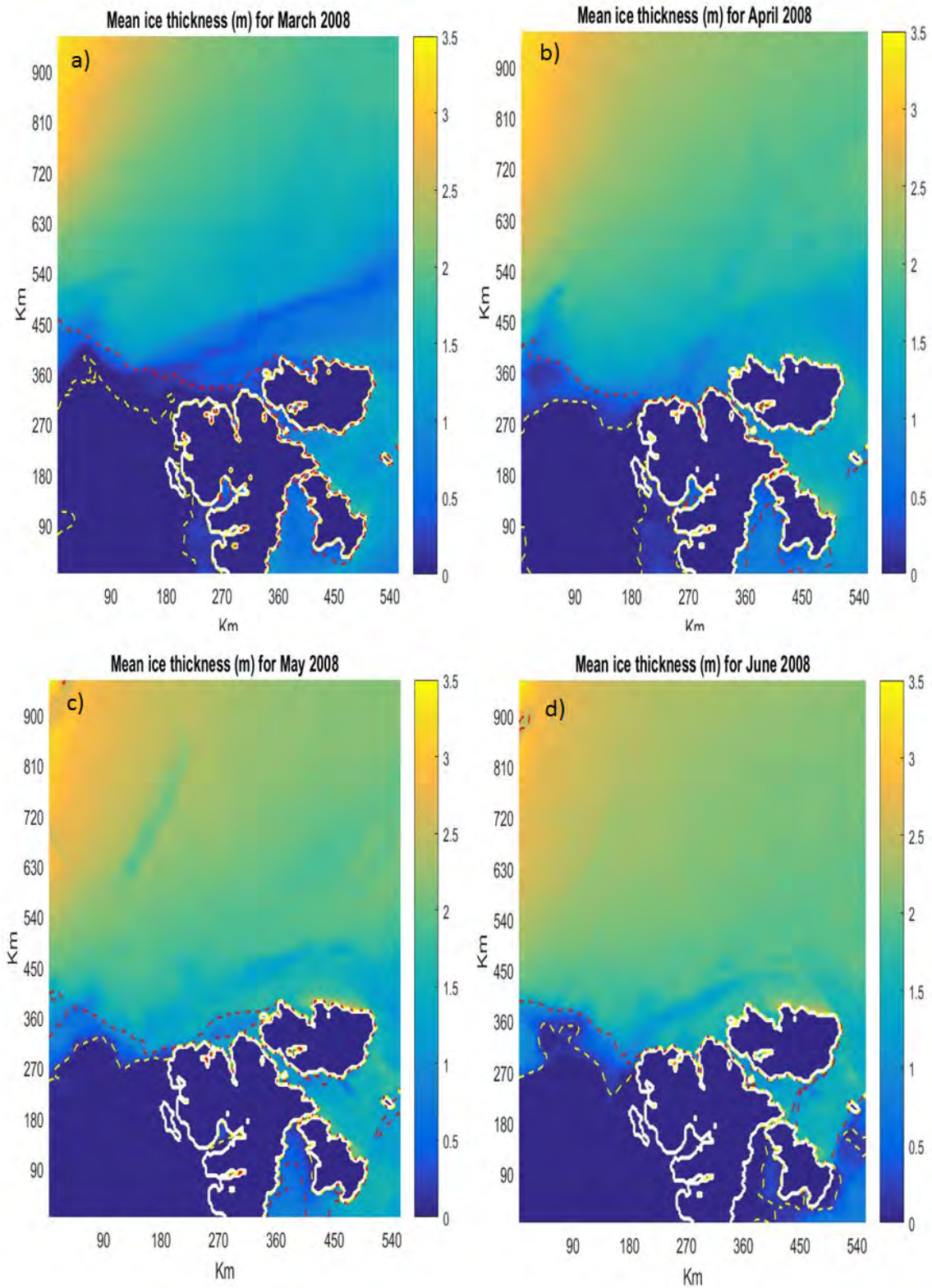
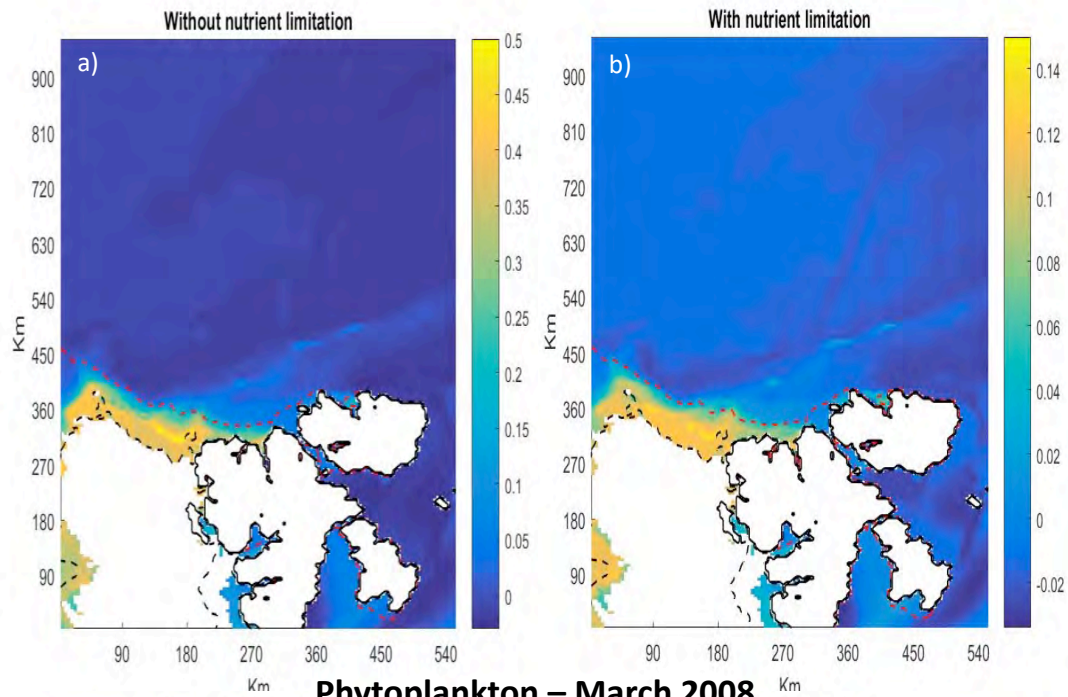


Figure 6. Mean ice thickness for March, April, May and June 2008 from MITgcm simulations. Dashed lines show 15 % (yellow) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows the Svalbard archipelago. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – March 2008



Phytoplankton – March 2008

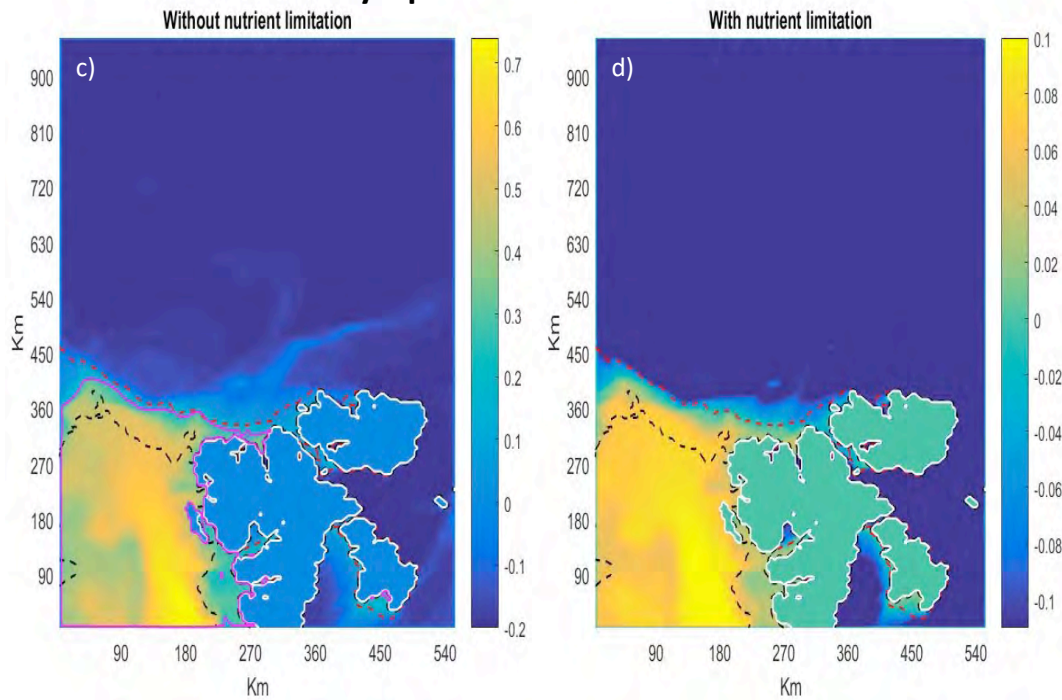
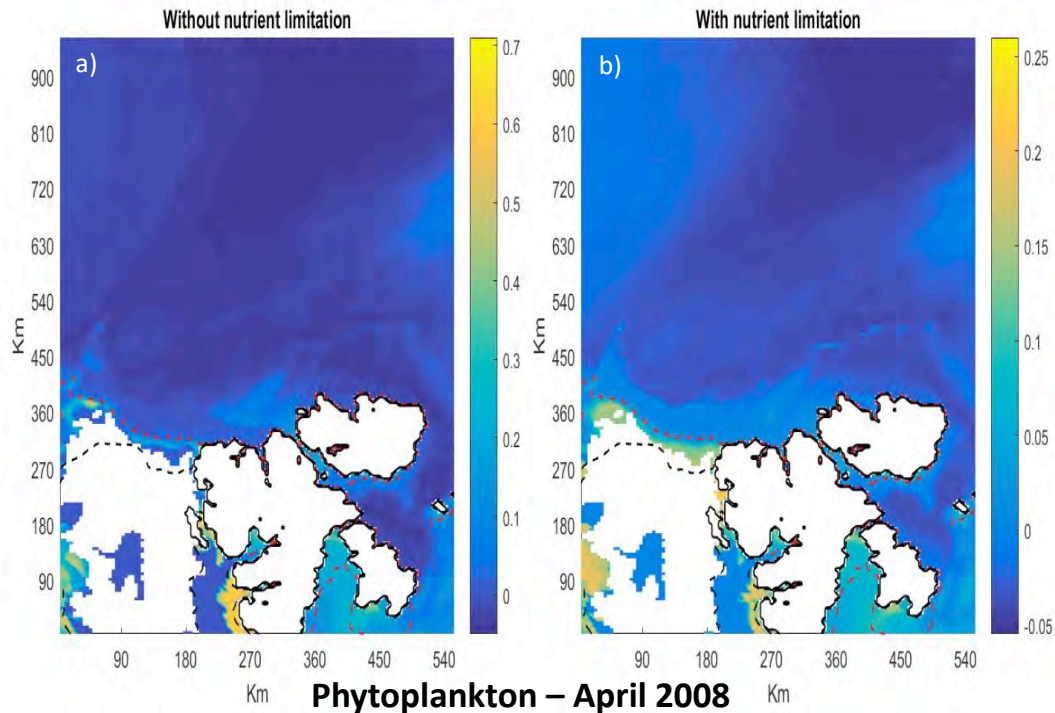


Figure 7. Ice algal (a and b) and phytoplankton (c and d) NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for March 2008 calculated with EcoDynamo forced with MITgcm sea-ice and snow data (cf. – Methods: Modelling), without (a and c) and with (b and d) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows the Svalbard archipelago. Blank areas in the upper panels correspond to land or sea-ice free regions. The magenta line in c) contours the area within which NPP/biomass is comparable to values reported in Assmy et al. (2017). Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – April 2008



Phytoplankton – April 2008

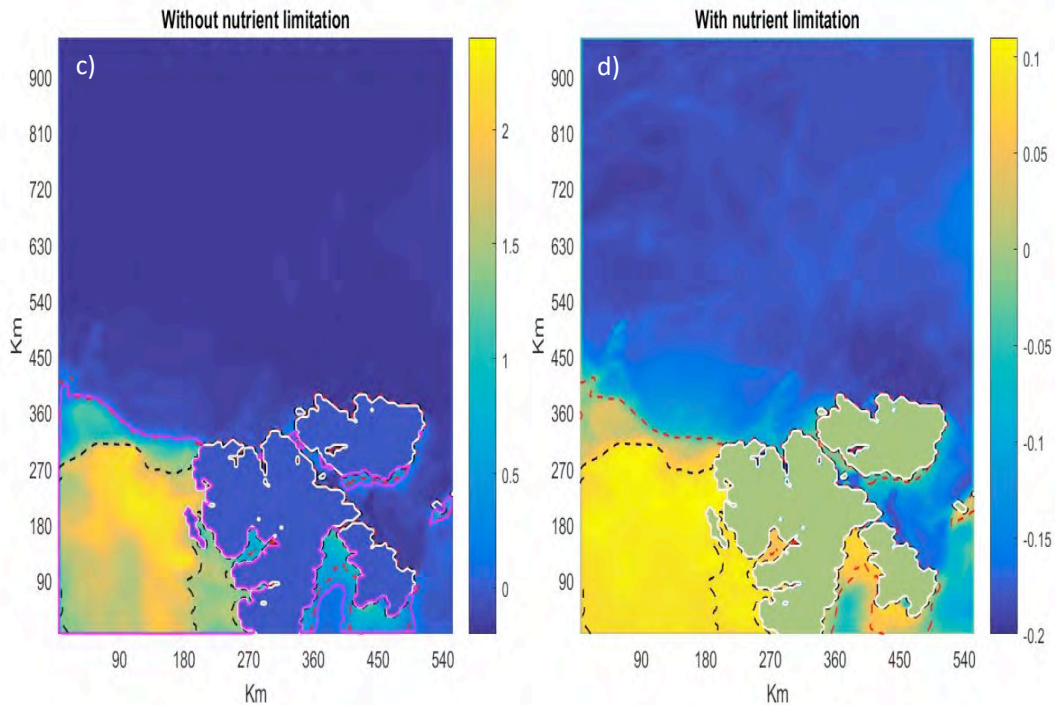
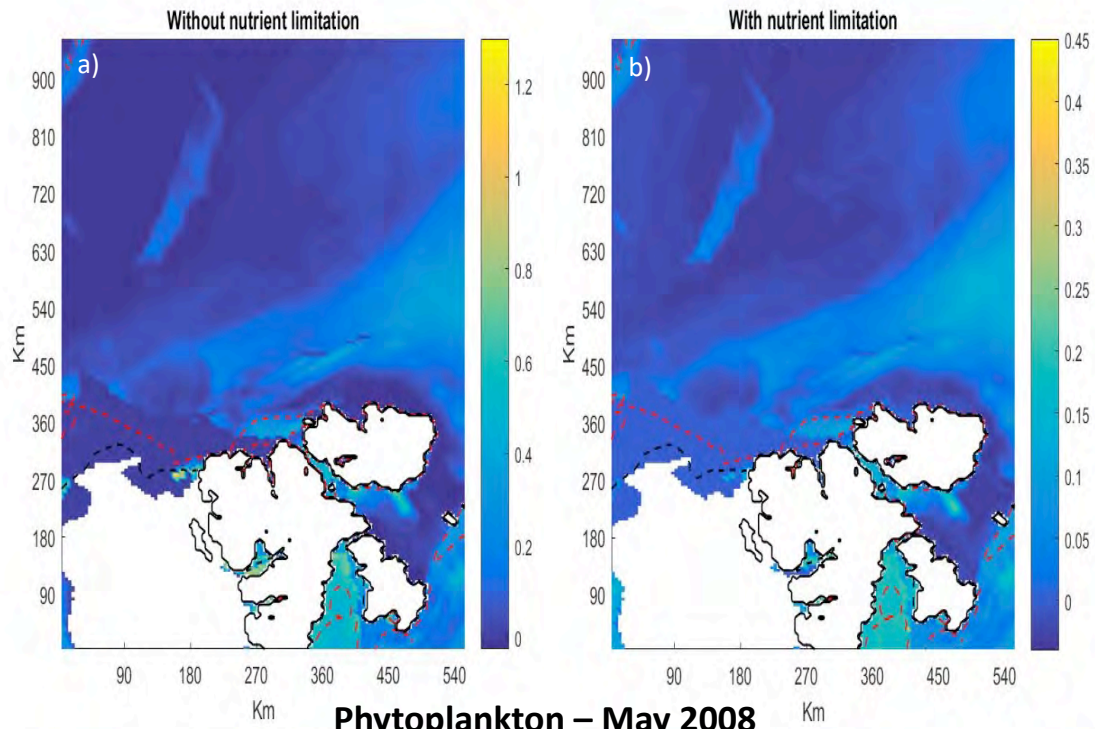


Figure 8. Ice algal (a and b) and phytoplankton (c and d) NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for April 2008 calculated with EcoDynamo forced with MITgcm sea-ice and snow data (cf. – Methods: Modelling), without (a and c) and with (b and d) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows the Svalbard archipelago. Blank areas in the upper panels correspond to land or sea-ice free regions. The magenta line in c) contours the area within which NPP/biomass is comparable to values reported in Assmy et al. (2017). Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – May 2008



Phytoplankton – May 2008

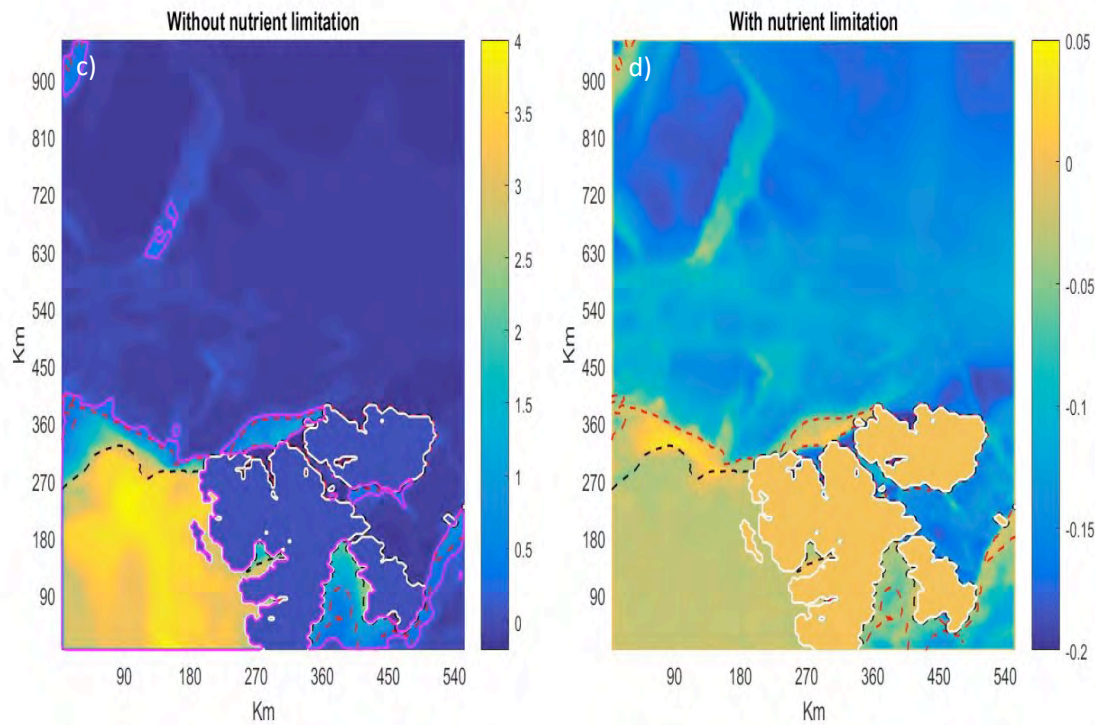
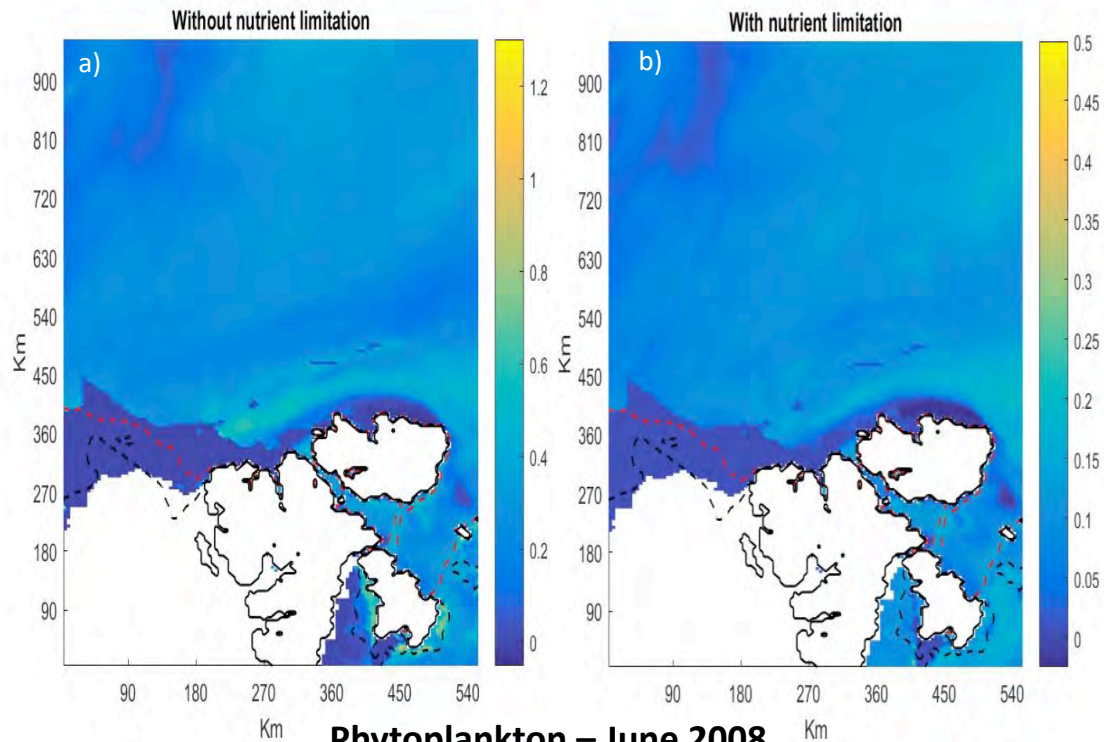


Figure 9. Ice algal (a and b) and phytoplankton (c and d) NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for May 2008 calculated with EcoDynamo forced with MITgcm sea-ice and snow data (cf. – Methods: Modelling), without (a and c) and with (b and d) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows the Svalbard archipelago. Blank areas in the upper panels correspond to land or sea-ice free regions. The magenta line in c) contours the area within which NPP/biomass is comparable to values reported in Assmy et al. (2017). Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – June 2008



Phytoplankton – June 2008

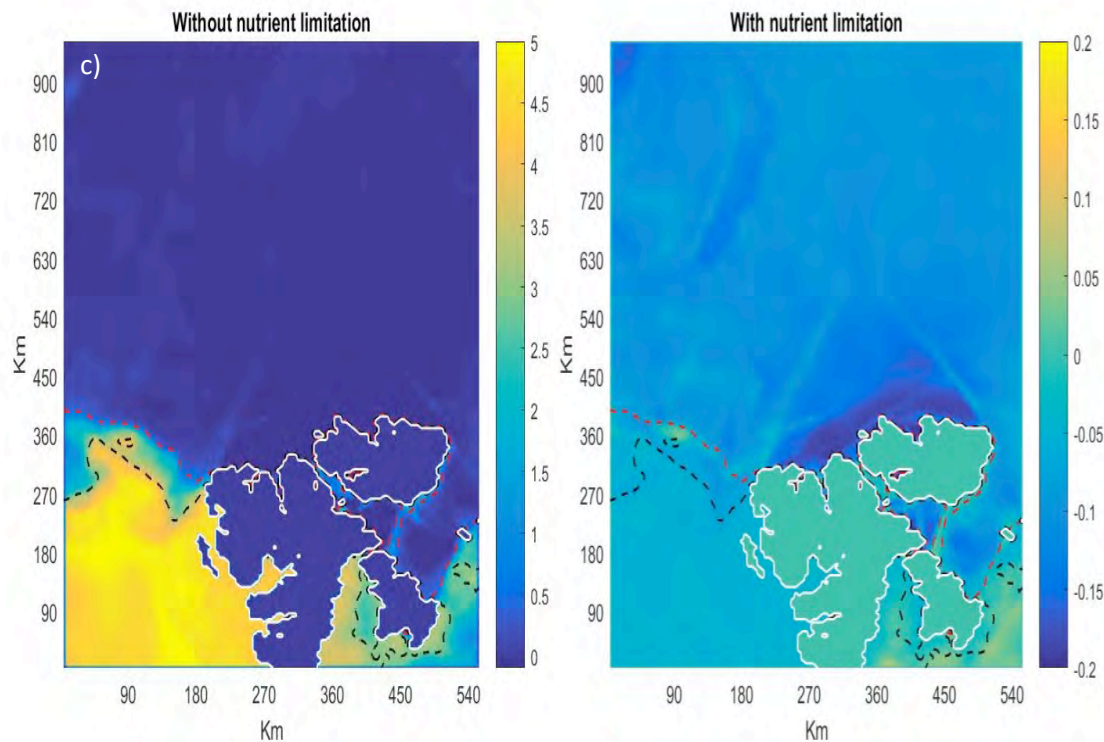


Figure 10. Ice algal (a and b) and phytoplankton (c and d) NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for June 2008 calculated with EcoDynamo forced with MITgcm sea-ice and snow data (cf. – Methods: Modelling), without (a and c) and with (b and d) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows the Svalbard archipelago. Blank areas in the upper panels correspond to land or sea-ice free regions. The magenta line in c) contours the area within which NPP/biomass is comparable to values reported in Assmy et al. (2017). Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – April 2015

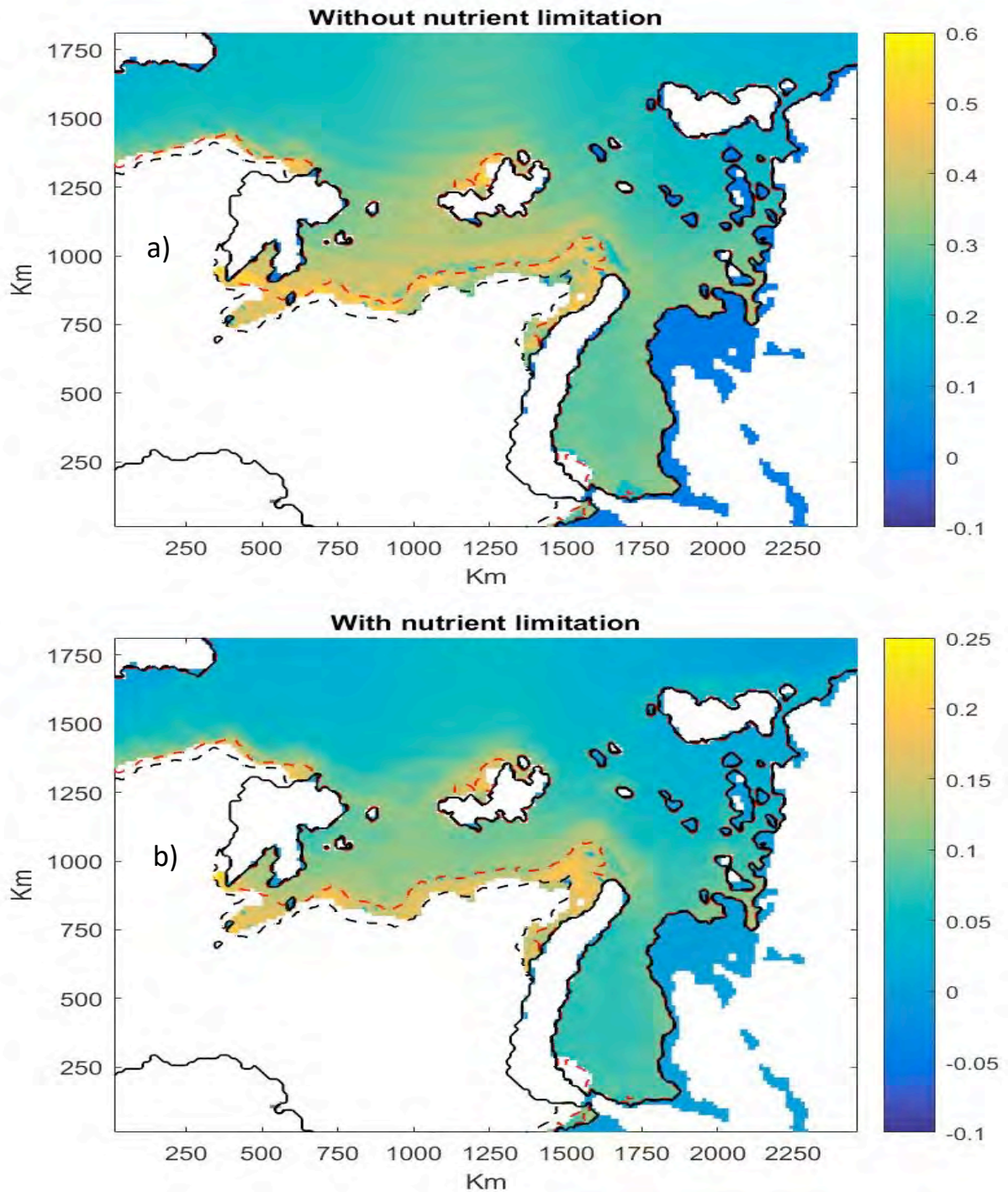


Figure 11. Ice algal NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a-1 h}^{-1}$) for April 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data (cf. – Methods: Modelling), without (a) and with (b) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The black contour shows land boundaries. Blank areas correspond to land or sea-ice free regions. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Phytoplankton – April 2015

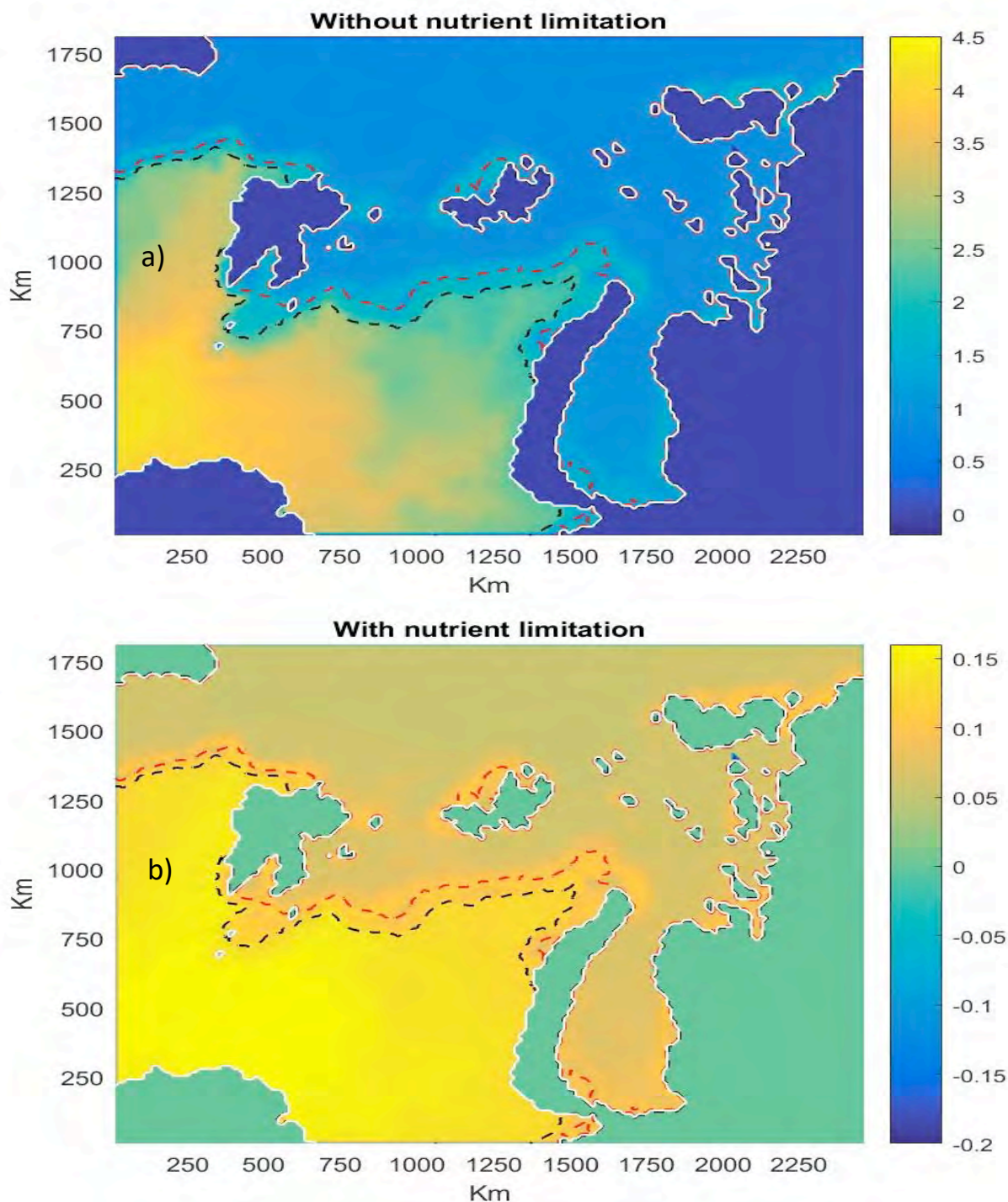


Figure 12. Phytoplankton NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for April 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data (cf. – Methods: Modelling), without (a) and with (b) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows land boundaries. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – May 2015

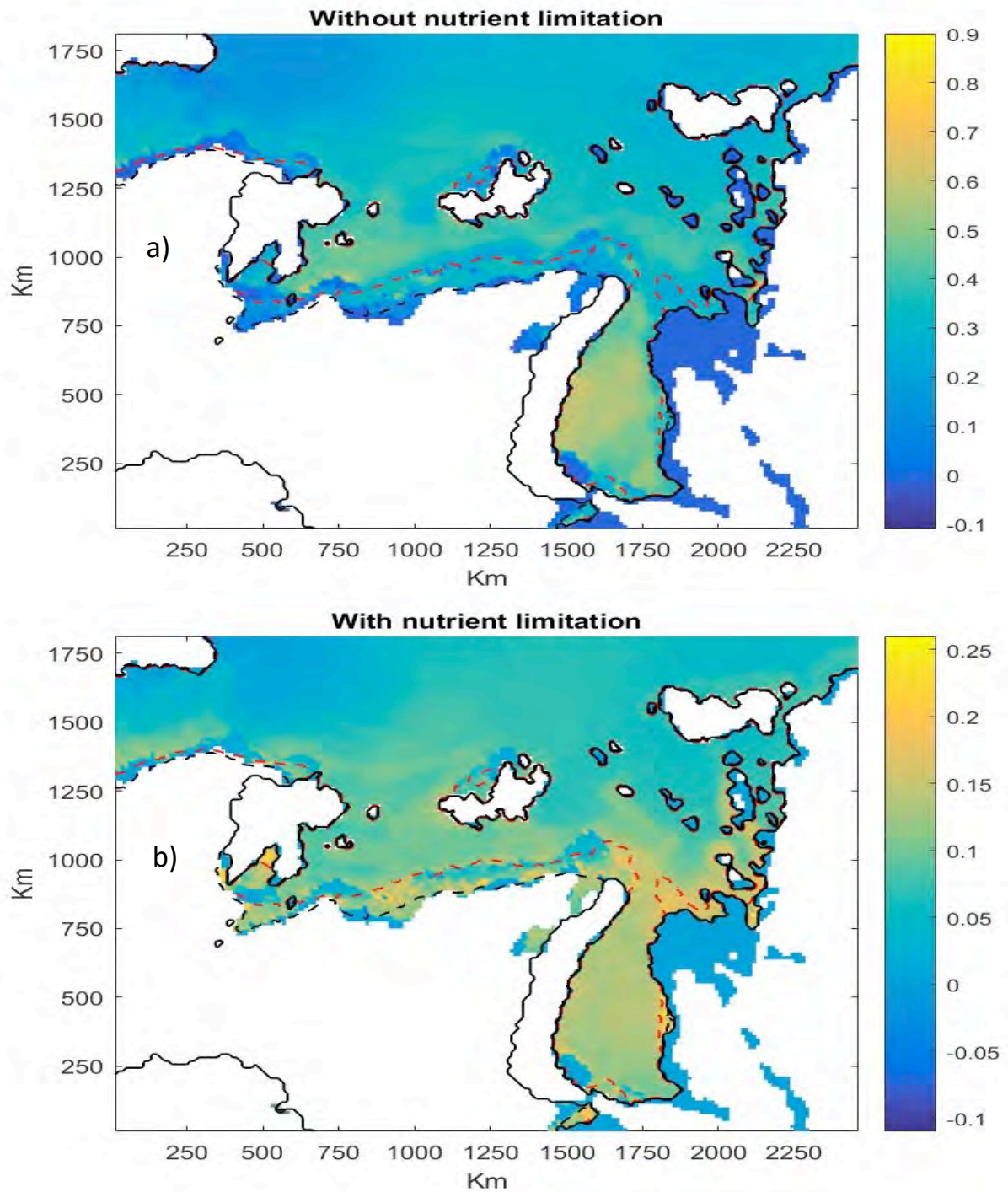


Figure 13. Ice algal NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for May 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data (cf. – Methods: Modelling), without (a) and with (b) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The black contour shows land boundaries. Blank areas correspond to land or sea-ice free regions. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Phytoplankton – May 2015

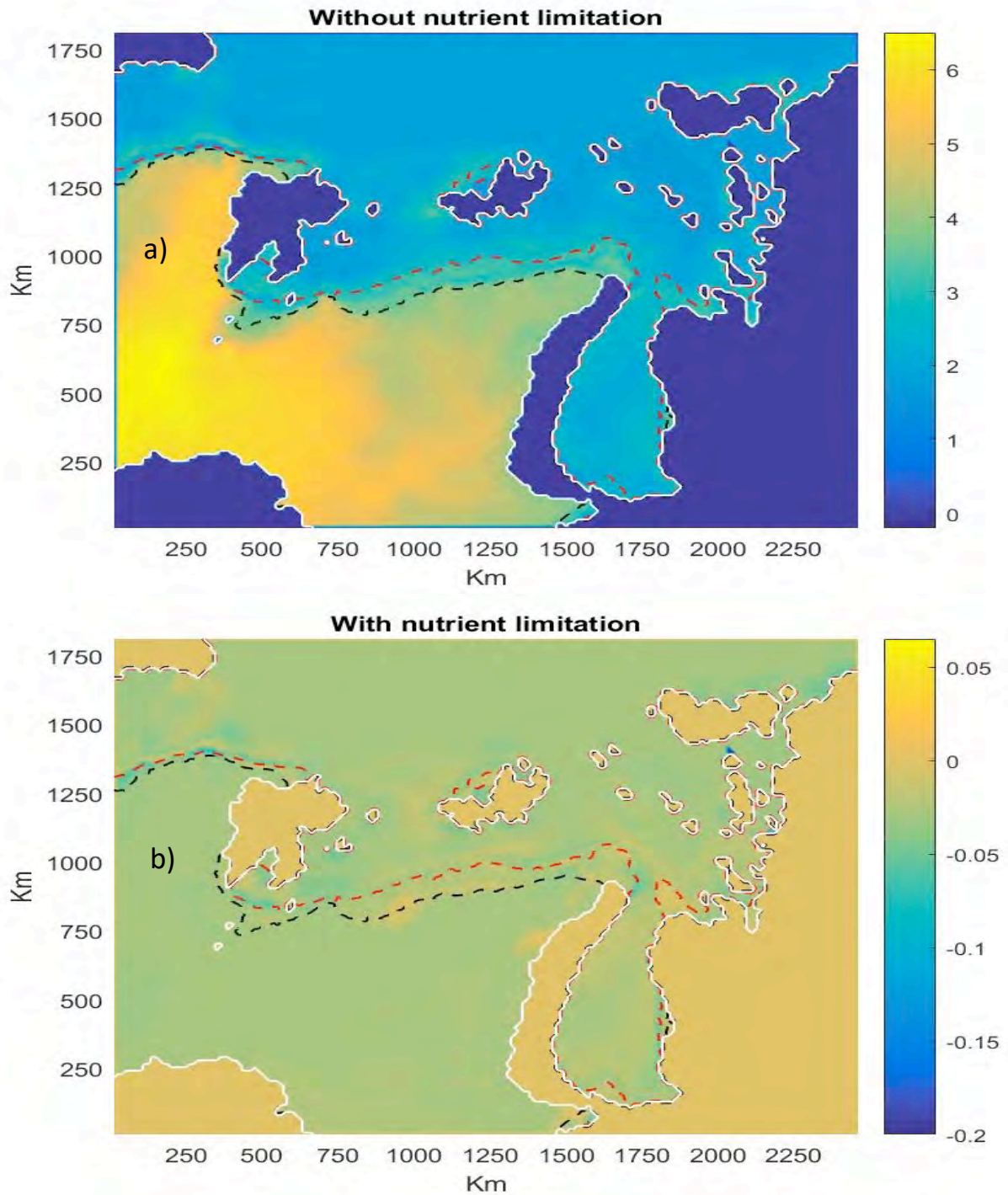


Figure 14. Phytoplankton NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for May 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data (cf. – Methods: Modelling), without (a) and with (b) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows land boundaries. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Ice algae – June 2015

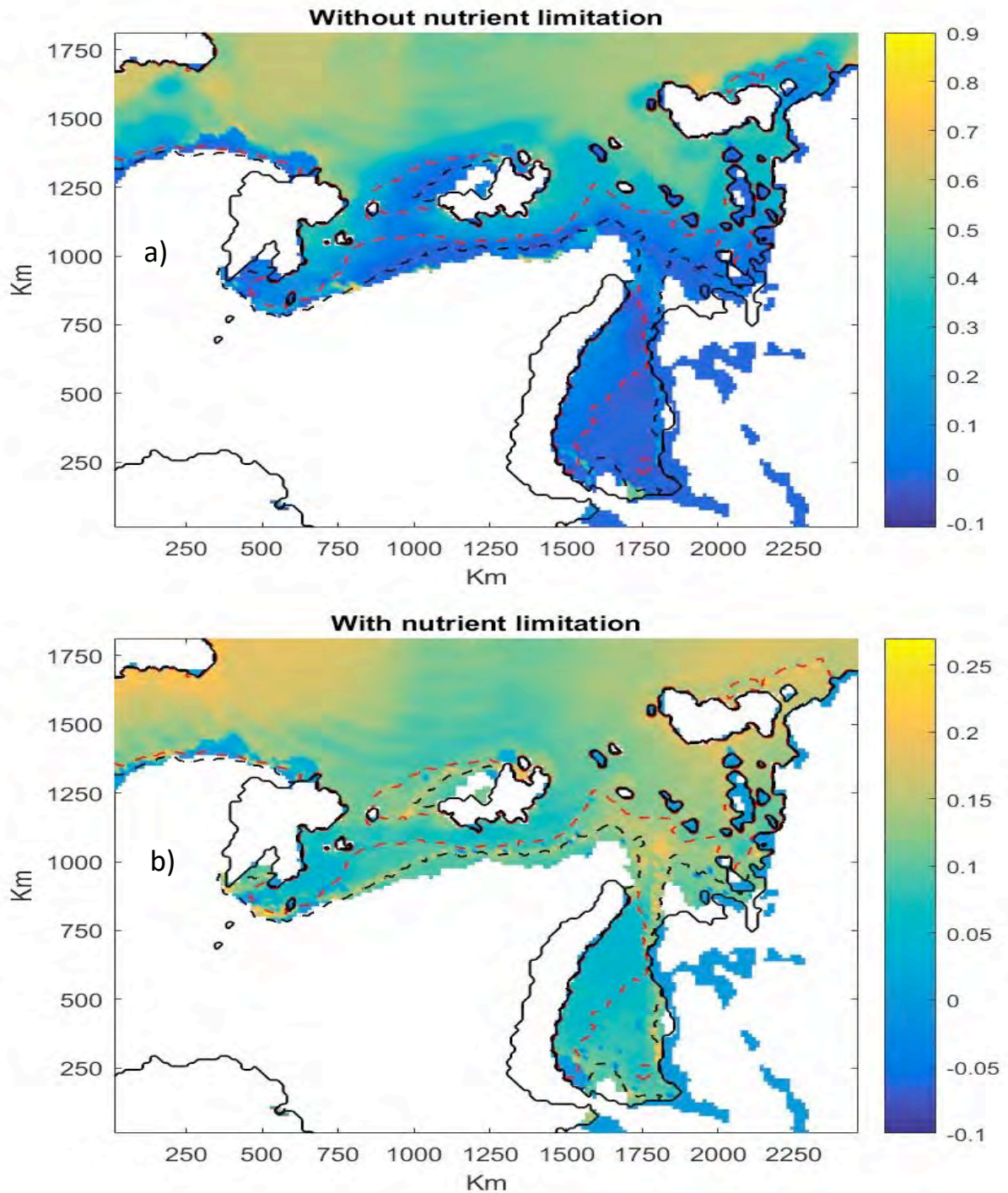


Figure 15. Ice algal NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a-1 h}^{-1}$) for June 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data (cf. – Methods: Modelling), without (a) and with (b) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The black contour shows land boundaries. Blank areas correspond to land or sea-ice free regions. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Phytoplankton – June 2015

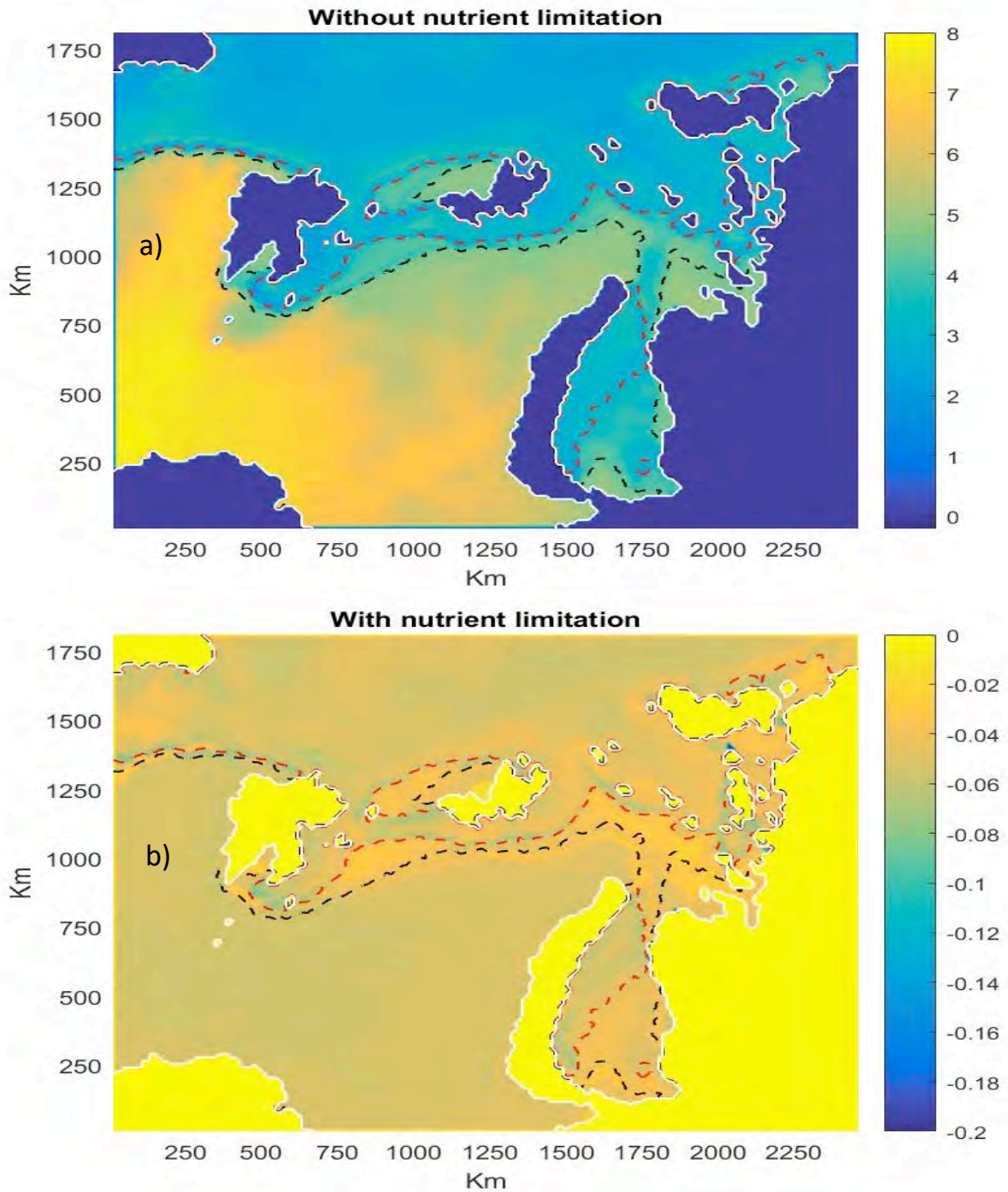


Figure 16. Phytoplankton NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) for June 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data (cf. – Methods: Modelling), without (a) and with (b) nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows land boundaries. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

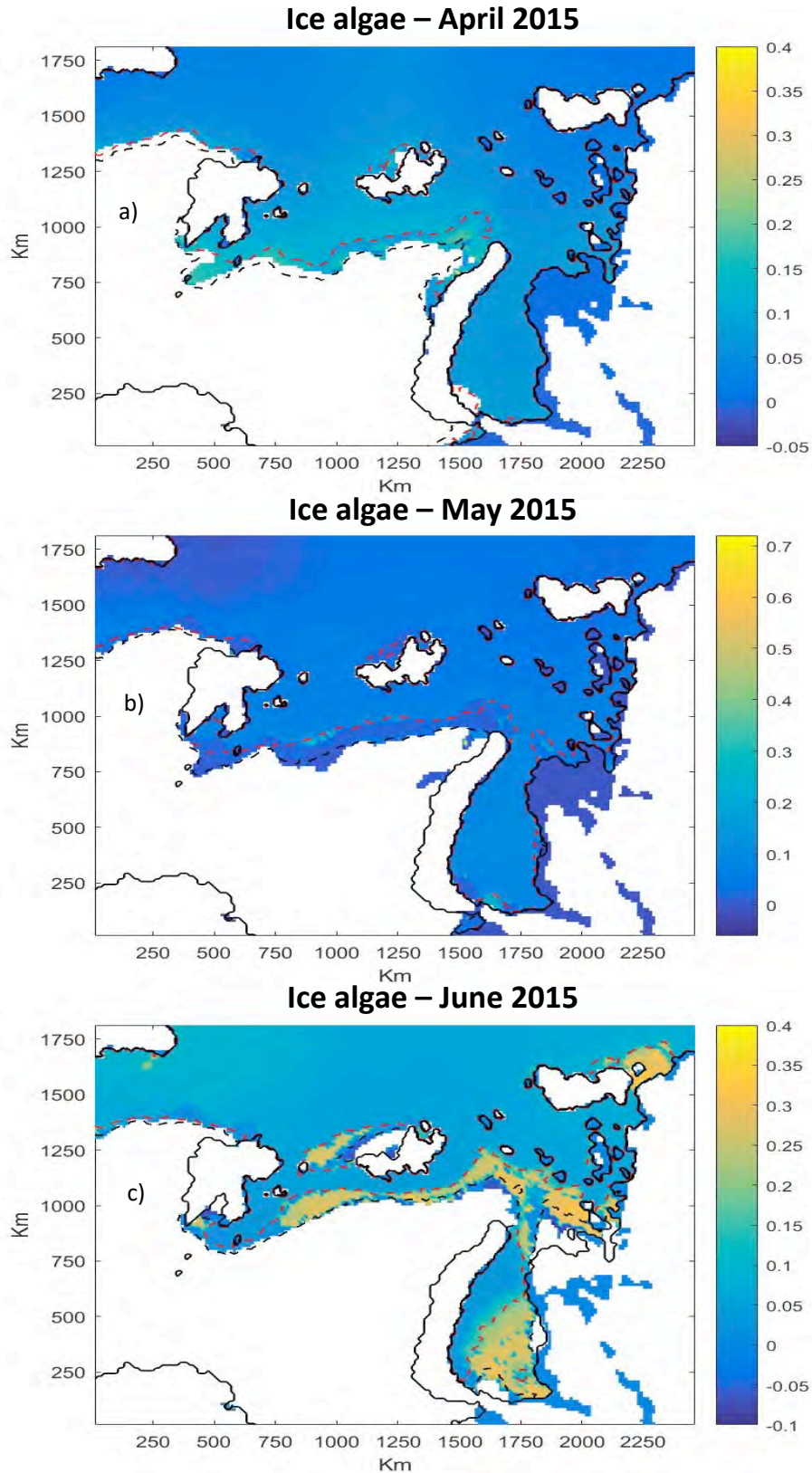


Figure 17. Ice algal NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a-1 h}^{-1}$) for April, May and June 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data using 5 ice classes (cf. – Methods: Modelling) and with nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The black contour shows land boundaries. Blank areas correspond to land or sea-ice free regions. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

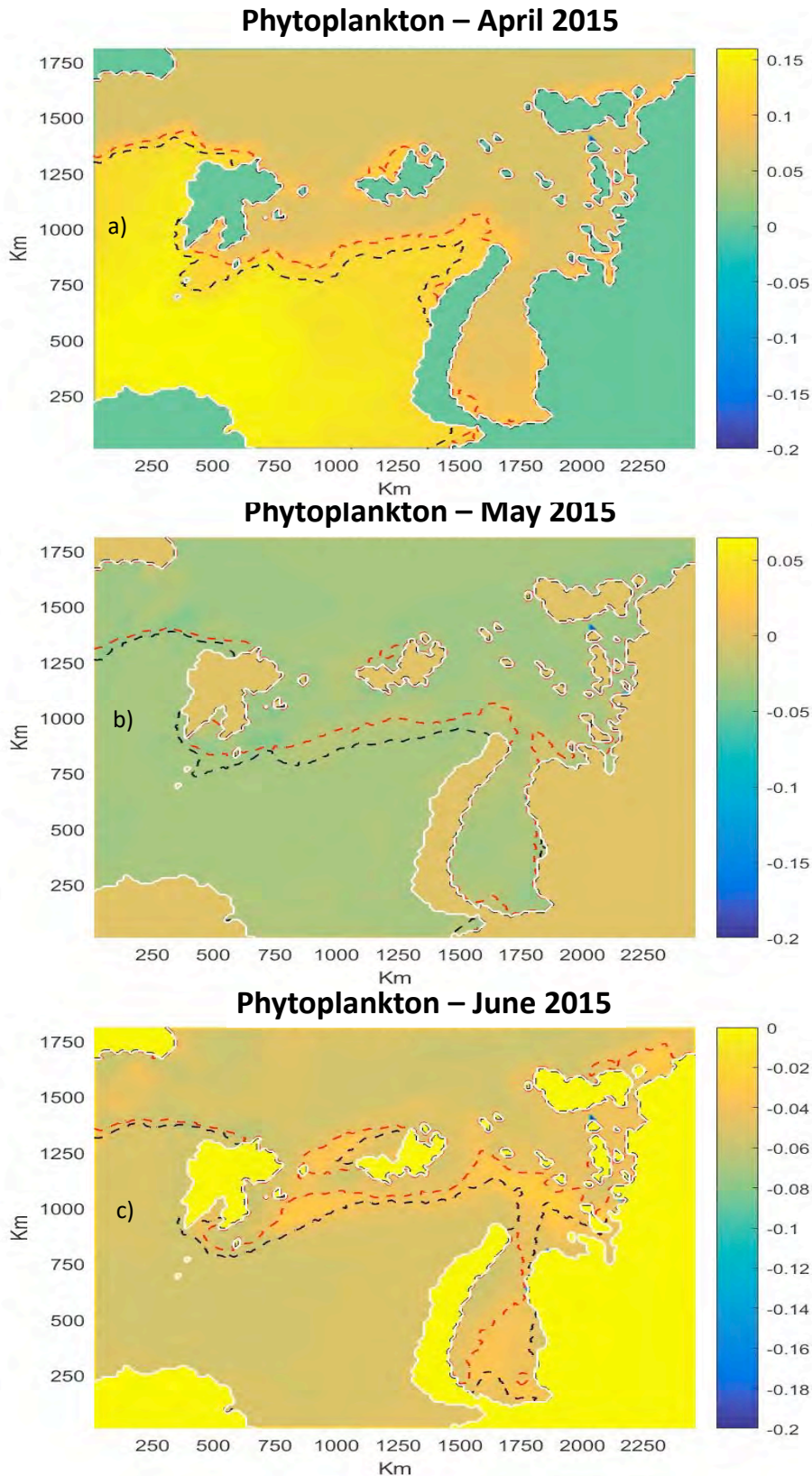


Figure 18. Phytoplankton NPP/biomass mean values ($\text{mg C mg Chl a-1 h}^{-1}$) for April, May and June 2015 calculated with EcoDynamo forced with SMOS sea-ice data using five ice classes (cf. – Methods: Modelling) and with nutrient limitation (note the different colour scales). Dashed lines show 15 % (black) and 80 % (red) sea ice concentration boundaries. The white contour shows land boundaries. Longitudinal and latitudinal distances from the lower left corner of the domain are shown in km.

Concluding remarks

- There is a reasonable qualitative understanding about the phenology of ice algae and phytoplankton blooms.
- The MIZ may be seen as a physical and biological “front” where strong gradients in phytoplankton production rates may be expected, shaped by light and nutrient limitation;
- Sea-ice physical heterogeneity creates a network of light conduits that allow for significant production away from the MIZ into the ice pack.

Data/knowledge gaps

- There is a lack of a comprehensive data set allowing to estimate primary and secondary production within the MIZ.
- Biological frontal characteristics may be used to define the MIZ based also on biological criteria but a more in-depth understanding of the magnitude of primary production and its spatial variability across the MIZ is required.
- Such understanding is necessary to properly estimate carrying capacity of the MIZ for higher trophic levels and how this will be affected by global change trends.
- There is an urgent need for models integrating both phytoplankton and ice algal production and with the proper horizontal resolution (between some hundreds of meters and a few km) to help estimating production in the MIZ and anticipating its changes under global warming and ocean acidification.
- Current remote sensing ocean color data allows estimating pelagic primary production in open water areas but under and in-ice production remain poorly investigated and, apart from modelling, it is important to seek for remote and widely applicable technological solutions to overcome this bottle neck in quantifying MIZ and Arctic Ocean primary production.

Monitoring needs

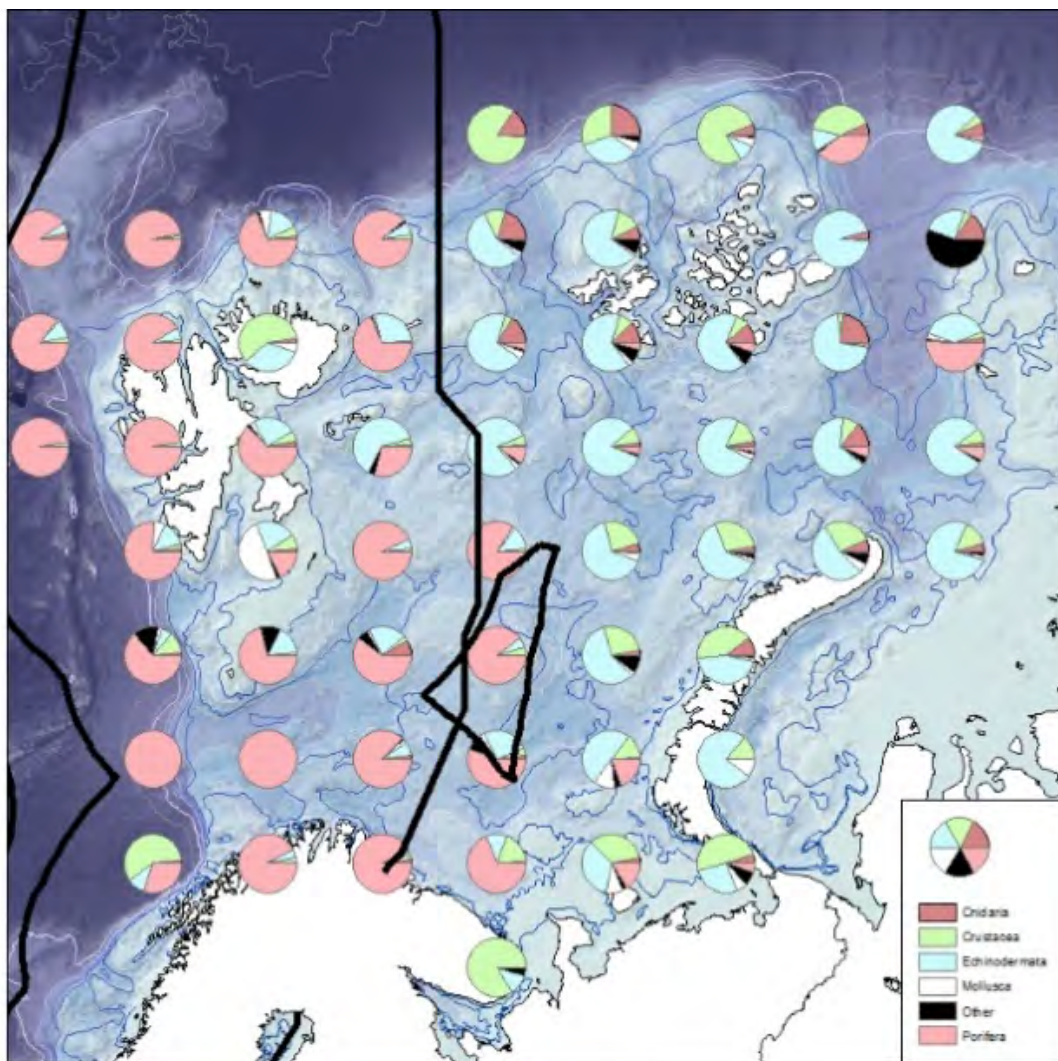
- Our understanding of phytoplankton and ice algal phenology would greatly benefit from a coordinated time-series with high-resolution monitoring of annual cycles over many years in order to resolve the ephemeral wax and wane of phytoplankton and ice algal populations in space and time against the backdrop of climate change.

4.3.1.2 *Bunndyr*

Felles for de fleste bunndyrsartene er at vi trenger mer informasjon om hvordan iskantsonen påvirker livet på havbunnen og verdisetningen i dette kapitlet er derfor basert på en subjektiv vurdering basert på tilgjengelig kunnskap pr. i dag.

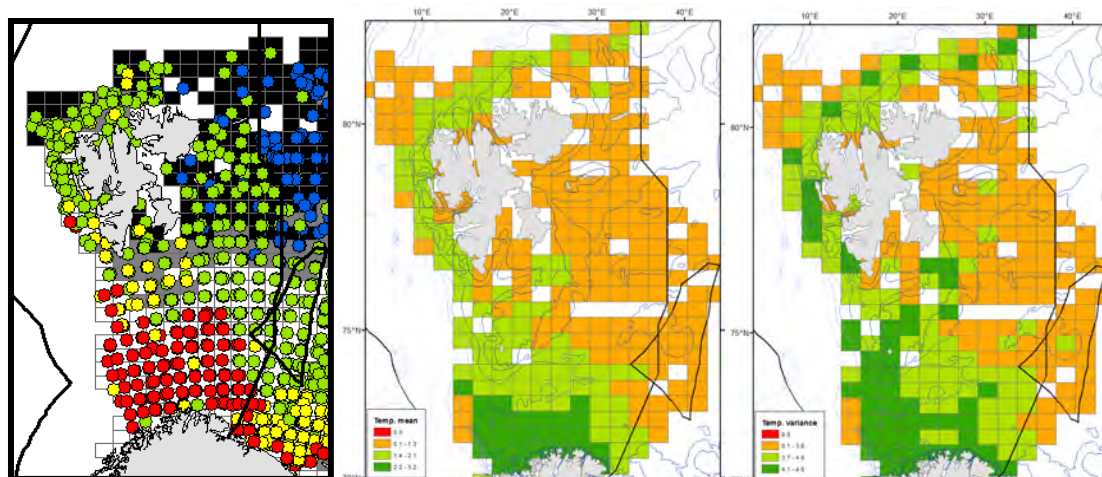
Megabenthos^{IV} i Barentshavet er dominert i biomasse av svamper (Porifere) i vest, pigghuder (Echinodermata) i nordøst, krepsdyr (Crustacea) i nord og i øst, og nesledyr (Cnidaria) i nordøst (Figur 1). Skillet mellom det svampe-dominerte og pigghud-dominerte områdene følger delvis polarfronten.

^{IV} Tatt årlig med forsknings-reketrål (Campelen 8000 med rock-hopper gear) siden 2009 i et grid med 35 nautiske miles avstand mellom stasjoner (dybdestratifisert på kontinental sokkelen) og mer enn 1000 stasjoner i norsk del av Barentshavet.



Figur 1. Fordeling av store dyregrupper i Barentshavet. Cnidaria (rødt): nesledyr som korall og maneter. Crustacea (grønt): krepsdyr som reker og krabber. Echinodermata (blått): piggydyr som sjøstjerner, slangestjerner, kråkeboller, sjøpølser og sjøliljer. Mollusca (hvitt): bløtdyr som skjell, snegler og blekkspruter. Porifera (lyserødt): svamper. Delelinjen mellom Russland og Norge (i Barentshavet) og delelinjen mellom norsk og internasjonalt territorium (i Norskehavet) er markert med svart.

Fordelingen av bunndyr i Barentshavet reflekterer gradienten fra varmt Atlanterhavsvann i sør og vest til arktiske vannmasser i nord og øst ((Anisimova et al. 2010; Anisimova et al. 2011; Jørgensen et al. 2015a, 2015b). I den sørlige delen, det vil si langs kysten av Troms og Finnmark og øst mot Russland blander de boreale Atlanterhavsartene seg med kaldtvannssarter som er utbredt på grunne banker og flater. Nærmere polarfronten ved Bjørnøya og i de sentrale deler av Barentshavet, finnes en overgangssone fra de boreale til de arktiske samfunnene (Figur 2, venstre). Disse «overgangssamfunnene» har både arktiske og boreale arter, men flest «boreal-arktiske» arter, dvs. arter som har tilpasset seg et «langtidsgjennomsnitt» for Barentshavet og er relativt tolerante overfor fluktuasjoner innenfor «normal-verdien». Lengst mot nord, i de arktiske økosystemene NV, N og NØ for Svalbard og i nordøstlige Barentshavet dominerer arktiske arter. Disse er tilpasset lave temperaturer og et miljø som ligger under havisen store deler av året (Figur 2, midten).



Figur 2. Venstre: Megabentiske grupperinger^v fra en boreal (rød) til en arktisk (blå), samt de to overgangsgrupperingene for dypt (grønn) og grunt (gul) vann. Midten: Gjennomsnittlig temperaturpreferanse for megabenthossamfunnet basert på artssammensetning. Høyre: Gjennomsnittlig temperaturvariasjon for megabenthossamfunnet, basert på artssammensetning.

I den boreale sonen i sørvest finner vi m.a.o. de bunndyrssamfunnene som har høyest temperaturpreferanse, og den bredeste temperaturløselighet, mens i den nordøstlige arktiske delen av Barentshavet finnes de samfunnene som har lavest temperaturpreferanser og smalest temperaturløseligheter. I iskantsonen er bunnsamfunnene i de dype områdene (Storfjorden, Hopendypet) dominert av samfunn med preferanse for lav og stabil temperatur, mens de grunnere bankene har en mosaikk av samfunn som varierer fra å være brede varme- til smale kuldetolerante. Dette gjelder også for iskantsonen vest for Svalbard.

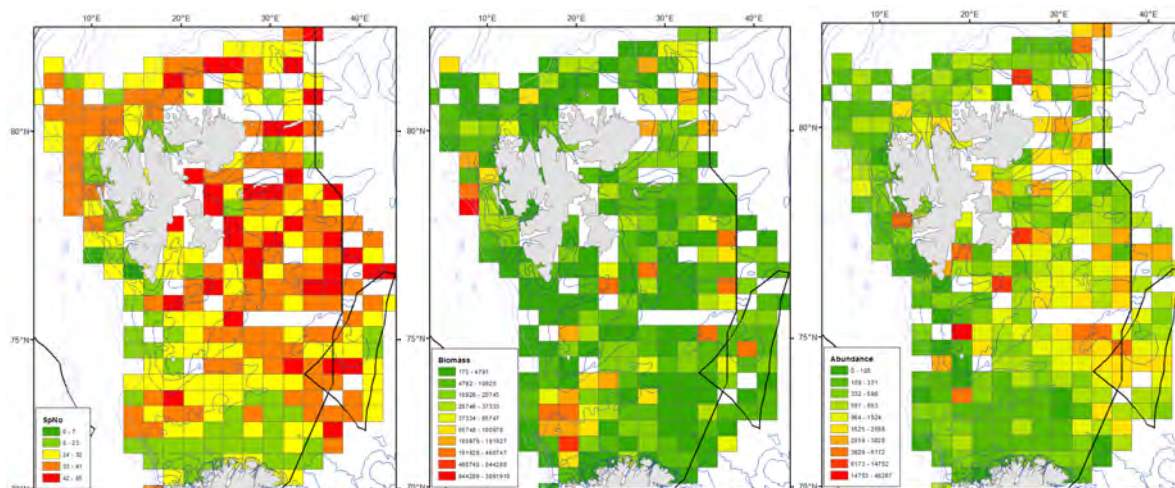
Iskantsonen er biologisk viktig fordi det her skjer en omrøring av det stabile øvre vannlaget, drevet av en kombinasjon av ismelting og vind. Dette fører til en relativt kortvarig, men intens primærproduksjon av planteplankton i vannmassene i iskantsonen. Ulike arter av dyreplankton og fisk utnytter denne produksjonen, noe som igjen danner grunnlaget for en nedsynking av biologisk materiale som fungerer som mat for benthos. Etter hvert som iskanten trekker seg nordover gjennom våren og sommeren, forflyttes denne produksjonen gradvis nordover. Havbunnen under iskantsonen dekker hele det nordlige Barentshavet og sørover til Spitsbergbanken, Storfjorden, Sentralbanken, og Hopendypet i indre Barentshavet (mellom 75°N og 77°N), samt sokkelen med den bratte skråningen vest for Svalbard (80°N).

Vi har en begrenset kunnskap om den direkte koblingen mellom megabenthos og iskantsonen, og iskantsonens betydning for bunndyrene gjennom året. Stor biomasse av benthos nord-øst for Svalbard blir imidlertid forklart med fødetilgang av isalger (Søreide et al. 2013). Det er også muligens en sammenheng mellom biomassefordelingen av ulike artsgrupper og tilgang på ulike typer av føde. Megafaunasamfunnene er sammensatt av arter som livnærer seg ved å filtrere mindre partikler (slik som for eksempel svamper), filtrere større levende byttedyr eller nedfall fra havis (for eksempel medusahode, fjærstjerner), kan være predatorer/åtselsetere (for eksempel rovsjøstjerner, slangestjerner, rovsnegler) og ved å være detritivore (dvs. dyr som plukker opp døde eller levende matpartikler fra havbunnen, for eksempel mudderkamstjerner, skjell og sjøpølser). Dette er foreløpig et kunnskapshull.

^v Cluster-analyse med power-transformerte biomassedata, distansemål med Bray-Curtis similaritet, og group-linking med Wards metode. Programmet «PC-ord» er brukt.

På grunn av den høye arts- og funksjonskompleksiteten i bunndyrssamfunnet, samt forskjellene mellom grunne banker, havbunnens dybdegradienter, og de dype bløttbunnslettene i Barentshavet, er det umulig å gi et helhetlig svar på verdien av iskantsonen. Men det kan tenkes at de grunne bankene har en sterkere tilknytning til havisen pga. den kortere avstanden til havoverflaten sammenliknet med de dype områdene (Tabell 1). De grunne megabenthossamfunnene har tilpasset seg et levesett som effektivt kan fange eller filtrere en mulig direkte eller indirekte økt produksjon av føde fra havisen, mens dypere samfunn har en høyere andel av detritivorer og predatorer.

Iskantsonen og de nordlige delene av Barentshavet er kjennetegnet av et høyt antall arter (Figur 2, venstre). Biomasse-«hotspots» er registret på dypere vann vest for Svalbard samt oppå og langs sidene på Spitsbergbanken og Sentralbanken i indre Barentshavet, mens Høpendypet har relativt lite biomasse (Figur 2, midten). Høpendypet har et høyt antall individer (små individer, da biomassen er lav), og noen lokaliteter oppå og langs sidene av bankene har høyt antall (Figur 3, høyre) av store (høy biomasse, figur 2, midten) individer.



Figur 3. Bunnsamfunnets kompleksitet. Totalt antall arter (venstre), gjennomsnittlig benthos biomasse per stasjon (midten) og gjennomsnittlig antall solitære-benthos individer per stasjon (høyre). Grønn = lav verdi, rød = høy verdi.

Bankene og sidene på bankene i Barentshavet, samt skråningen vest for Svalbard har derfor komplekse biologiske habitater som følge av høyt antall arter, stor biomasse, og mange individer samtidig.

Tabell 1. Mulig verdi av iskantsonen på bunndyr-fødekategorier (basert på subjektiv vurdering)

	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
Dype områder		Furasjering	Dannelse av kaldt bunnvann
Grunne områder	Dannelse av kaldt bunnvann		Furasjering

Hovedpunkter

- Fordelingen av bunndyr i Barentshavet reflekterer gradienten fra varmt atlantehavsvann i sør og vest til arktiske vannmasser i nord og øst.
- I sørvest finnes bunndyrssamfunn med høy temperaturpreferanse og bred toleranse, i nordøst samfunn med lav temperaturpreferanse og smal toleranse.
- I dype områder i iskantsonen har bunnsamfunnet preferanse for lav og stabil temperatur, mens grunne områder varierer fra å være brede varme- til smale kuldetolerante.

- Iskantsonen er biologisk viktig og danner grunnlaget for en nedsynking av biologisk materiale som fungerer som mat for bunndyr og stor biomasse av bunndyr nord-øst for Svalbard blir forklart med fødetilgang av isalger.
- De grunne bankene kan ha en sterkere tilknytning til havisen pga. den kortere avstanden til havoverflaten, sammenliknet med de dype områdene.
- Biomasse-«hotspots» på bankene og sidene på bankene i Barentshavet, samt skråningen vest for Svalbard er komplekse biologiske habitater som følge av høyt antall arter, stor biomasse, og mange individer.

Kunnskapsbehov

- Trenger mer informasjon om hvordan iskantsonen påvirker livet på havbunnen.
- Trenger mer informasjon om hvordan enkeltarter livnærer seg på isalger.

Overvåkingsbehov

- Kartlegging av snøkrabbens vandring vestover er viktig for bunnfaunaen – her må HIs tråltokt suppleres fordi vår forskningstrål fanger snøkrabben lite effektivt.
- Mens trålen (brukt i denne undersøkelse) fanger store epibentiske arter (megafauna) er mindre arter som lever på og i sedimentet (macrofauna) ikke kartlagt i tid og rom. Da store deler av produksjonen ligger i den makrobentiske fraksjonen bør dette implementeres i det eksisterende overvåkingsprogrammet.

4.3.1.3 Fisk

Generelt

Rundt 100 arter observeres regelmessig under forskningstokt i Barentshavet, og en stor del av disse har et utbredelsesområde som strekker seg inn i iskantsonen. For de kommersielt viktige fiskeartene i Barentshavet er iskantsonen først og fremst et beiteområde, og i noen grad også et oppvekstområde. I tillegg finnes det en god del ikke-kommersielle arter som har hele livssyklusen i dette området. Mange arter har stor sesongmessig variasjon i den geografiske fordelingen gjennom året. Fiskebestandene i iskantsonen undersøkes med bunntål, pelagisk trål og akustiske målinger, først og fremst på det årlige norsk-russiske økosystemtoktet i august-september, men det foretas også en del undersøkelser i den sørlige delen av området til andre årstider, spesielt i februar-mars. De siste 10-15 år har fordelingen av mange arter strukket seg betydelig lenger nordover og østover enn på slutten av 1900-tallet. En utfyllende oversikt over ulike fiskebestanders utbredelse i Barentshavet finnes i HIs fiskeriatlas (Wienerrother et al. 2011). Forskningstokt etter fisk dekker ikke områder som er isdekket.

De kommersielt viktigste artene i Barentshavet er torsk, hyse, snabeluer, blåkveite og lodde. I tillegg er det en betydelig biomasse av polartorsk og gapeflyndre. Disse sju artene behandles her hver for seg, og i tillegg gir vi en oppsummering for de andre artene samlet sett. Kartene for de pelagiske artene lodde og polartorsk er basert på akustiske målinger, mens de andre kartene er basert på målinger med bunntål. Rekrutteringen til fiskebestander varierer sterkt mellom år. Denne variabiliteten fører til store endringer i bestandsstørrelse, for eksempel for lodde. Siden fiskebestander varierer i mye større grad enn fugle- og sjøpattedyrbestander må man være forsiktige med tolkingen av endringer på kort tidsskala.

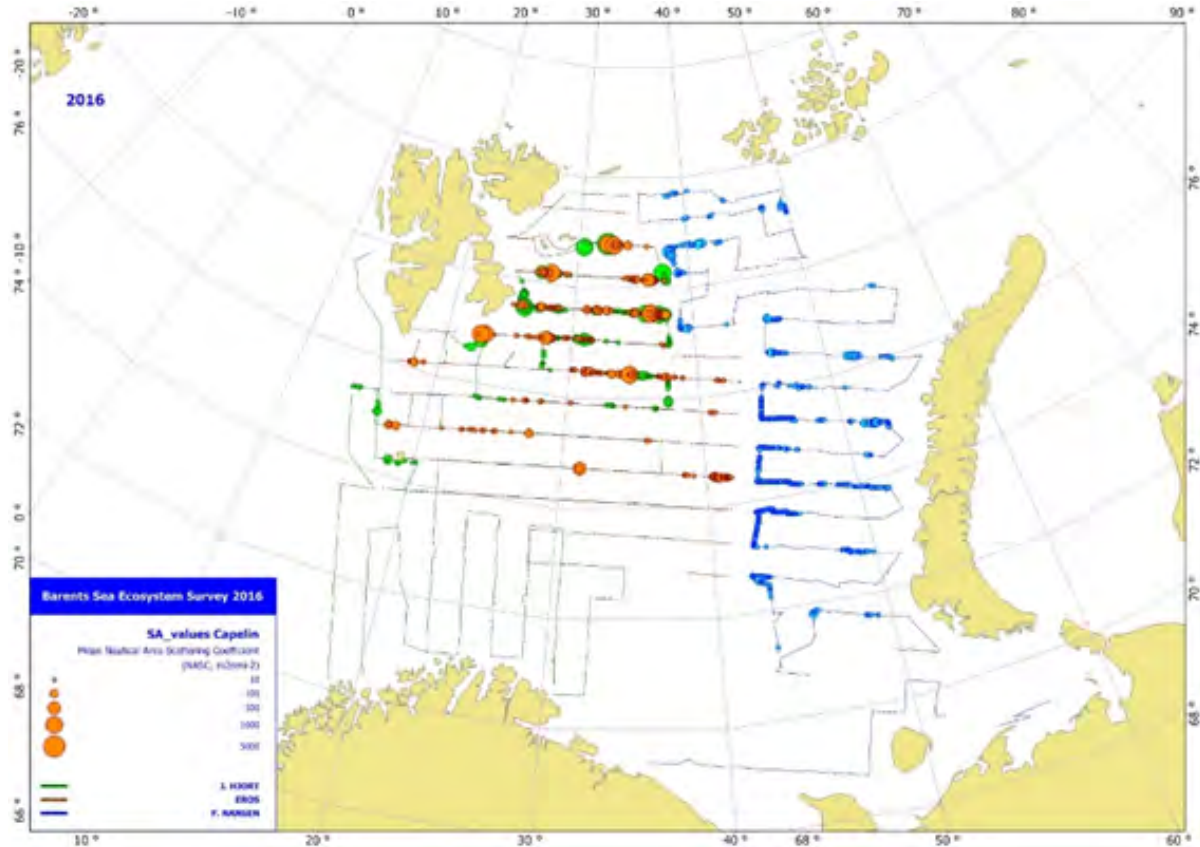
Verdisettingen under er delt inn i gyte,- beite- og overvintringsområder. De fleste bestander gyter sent på vinteren eller på våren, og beiting skjer sommer og høst. Vi har derfor ikke gjort en tilleggs-

gradering av sårbarhet på årstid. Kartene indikerer geografiske forskjeller innen iskantsonen (nord/sør og øst/vest).

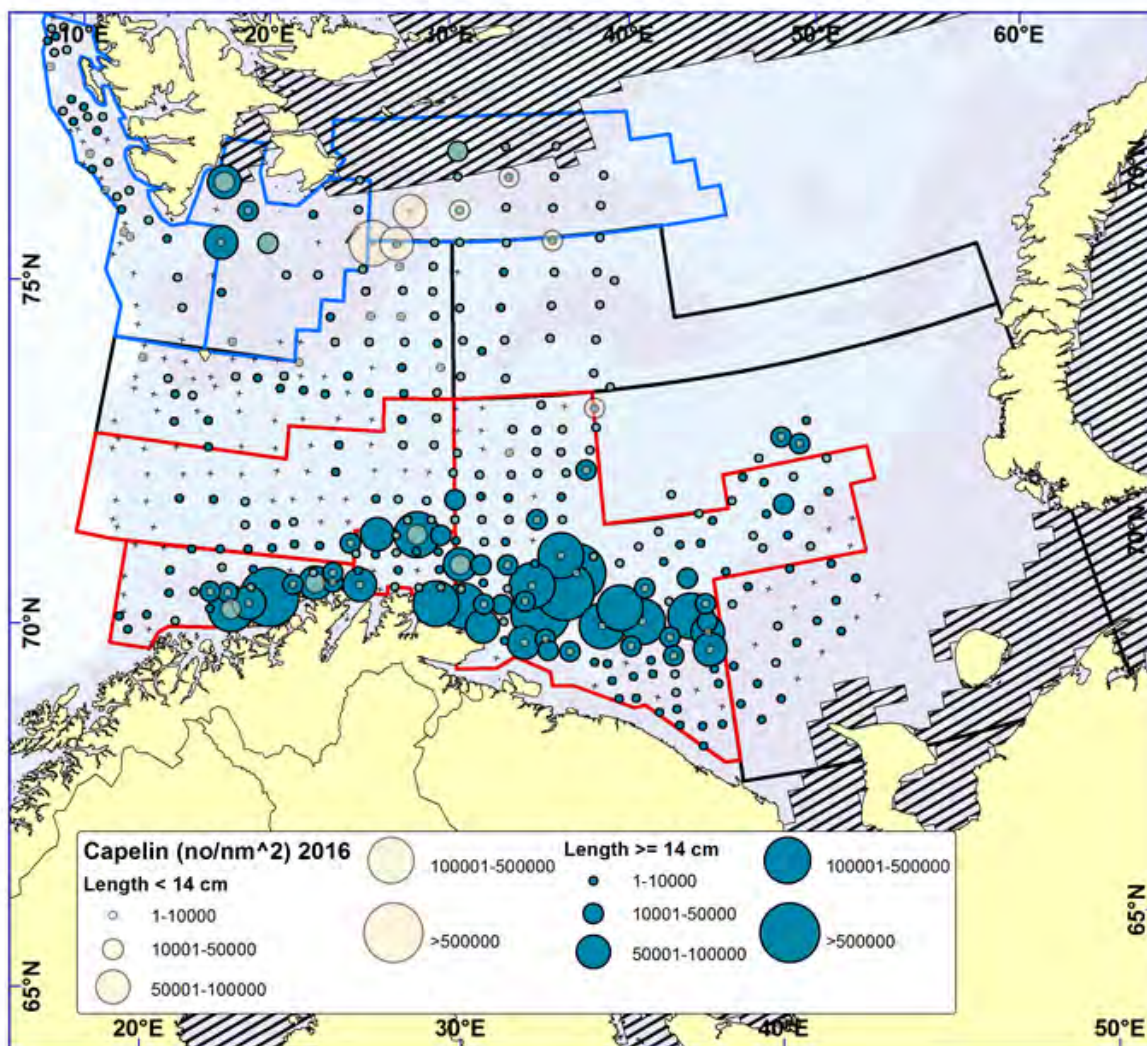
Lodde

Beiteområdet for lodde om sommeren og høsten strekker seg inn i iskantsonen (Figur 1), og særlig unglodde vil også være å finne i iskantsonen om vinteren (Figur 2).

Verdi: middels (beite og overvintringsområde)



Figur 1. Geografisk fordeling av akustiske registreringer av lodde under økosystemtøktet i Barentshavet i august/september 2016. Størrelse på sirkel er proporsjonal med mengde registrert og ulike farger indikerer ulike fartøy.



Figur 2. Geografisk fordeling av loddefangster fra bunnrål under vintertoktet i Barentshavet i februar/mars 2016. Størrelse på sirkel er proporsjonal med mengde fanget fisk, og ulike farger indikerer moden lodde (≥ 14 cm i grønt) og umoden lodde (< 14 cm i gult). Svart punkt indikerer null fangst.

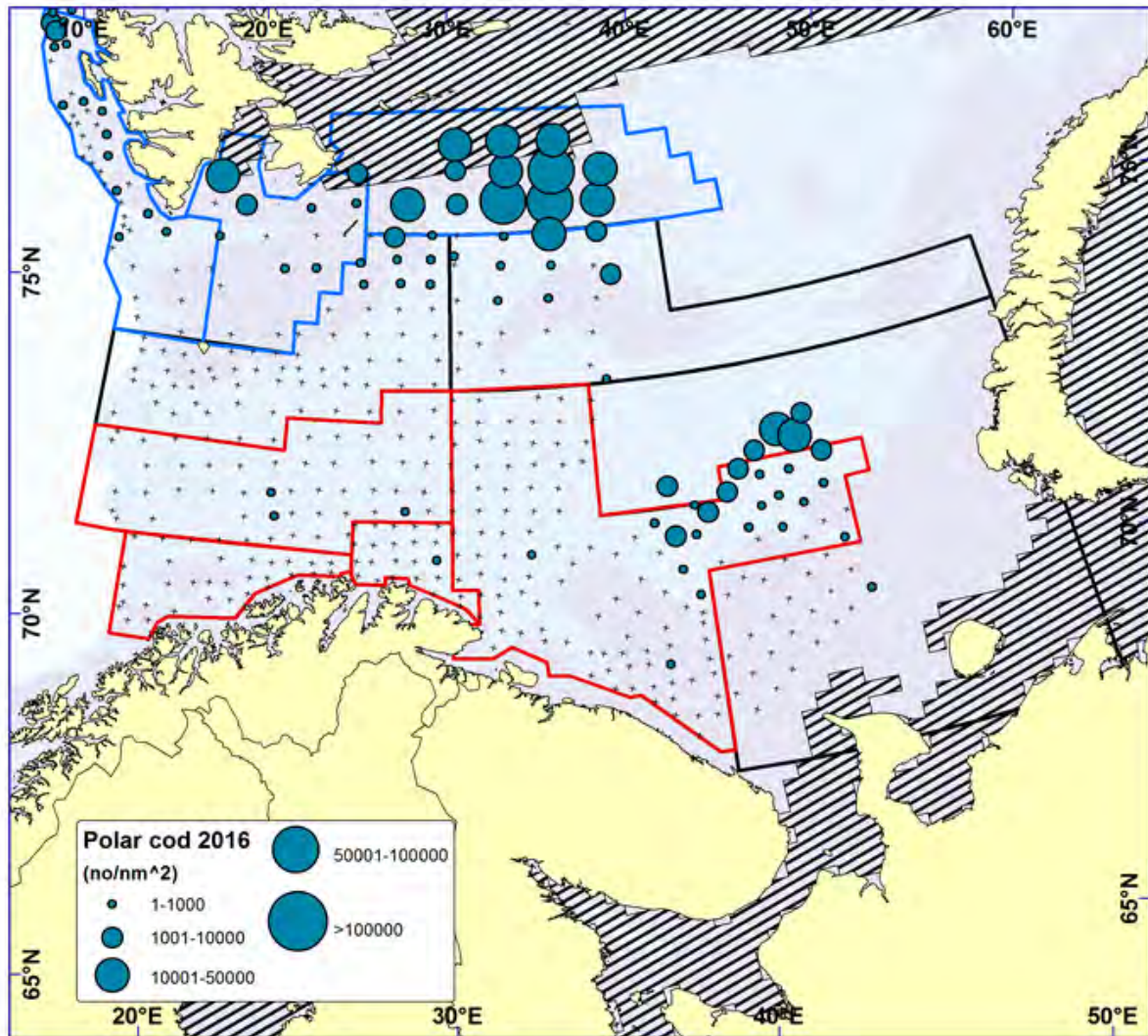
Polartorsk

Polartorsken er en ren arktisk pelagisk art, og er sterkt assosiert med arktiske vannmasser i alle livsfaser. Polartorsken har sin hovedutbredelse i iskantsonen (Figur 3), og særlig om vinteren også under isen (Figur 4). Polartorsk er oppført på rødlisten som nær truet (NT) i norske farvann, men denne vurderingen er ikke oppdatert etter den betydelige bestandsøkningen fra 2015 til 2016. Polartorsken har to gyteområder, der det ene ligger i iskantsonen øst for Spitsbergen (Figur 5).

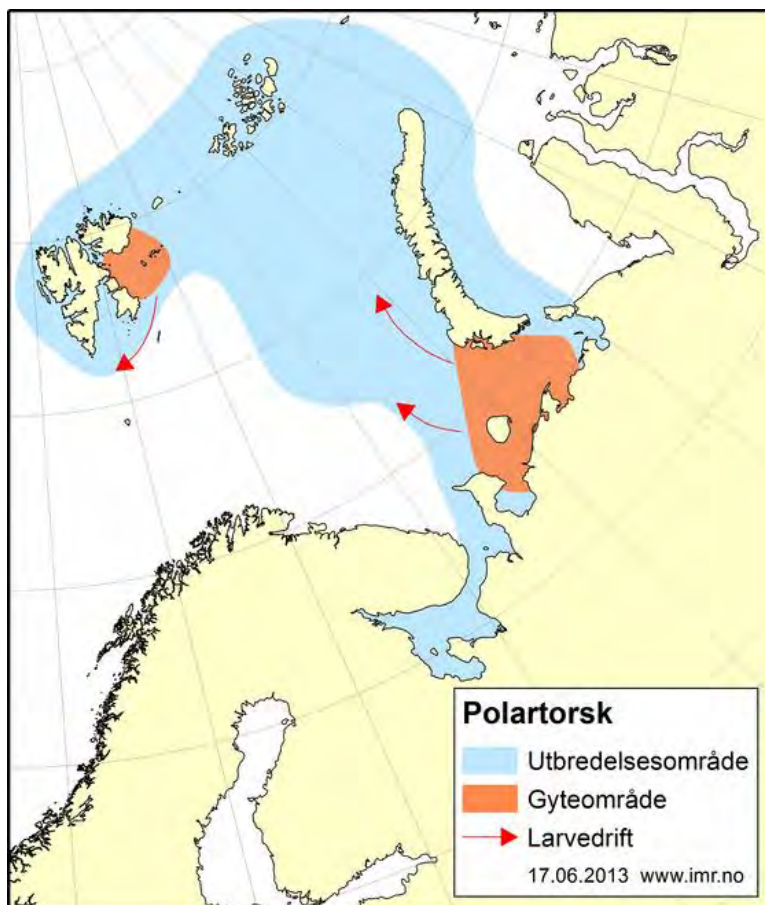
Verdi: høy (både som beite og gyteområde)



Figur 3. Geografisk fordeling av akustiske polartorskregistreringer under økosystemtoktet i Barentshavet i august/september 2016. Størrelse på sirkel er proporsjonal med mengde registrert fisk, og ulike farger indikerer ulike fartøy.



Figur 4. Geografisk fordeling av polartorsk fra bunntålfangster under vintertoktet i Barentshavet i februar/mars 2016. Størrelse på sirkel er proporsjonal med mengde fanget fisk. Svart punkt indikerer null fangst.

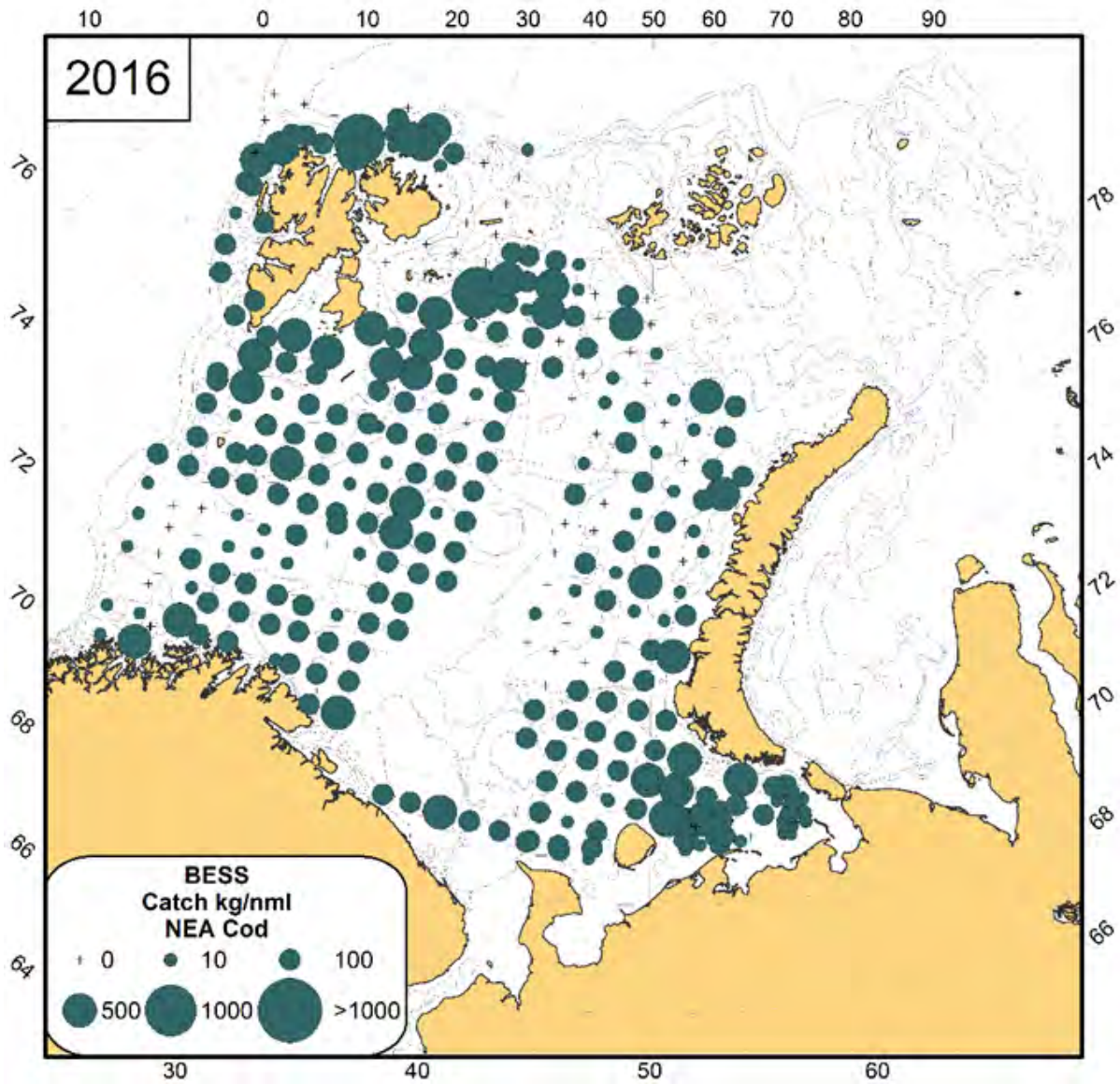


Figur 5. Gyteområder for polartorsk.

Torsk

Beiteområdet for torsk strekker seg om sommeren og høsten langt inn i iskantsonen, og deler av torskebestanden kan man også finne i denne sonen om vinteren (Figur 6 og 7). Lodde er torskens viktigste byttedyr, og torsken har i enkelte perioder blitt negativt påvirket av at loddebestanden er lav.

Verdi: middels (beiteområde)



Figur 6. Geografisk fordeling av torsk på økosystemtøktet 2016.

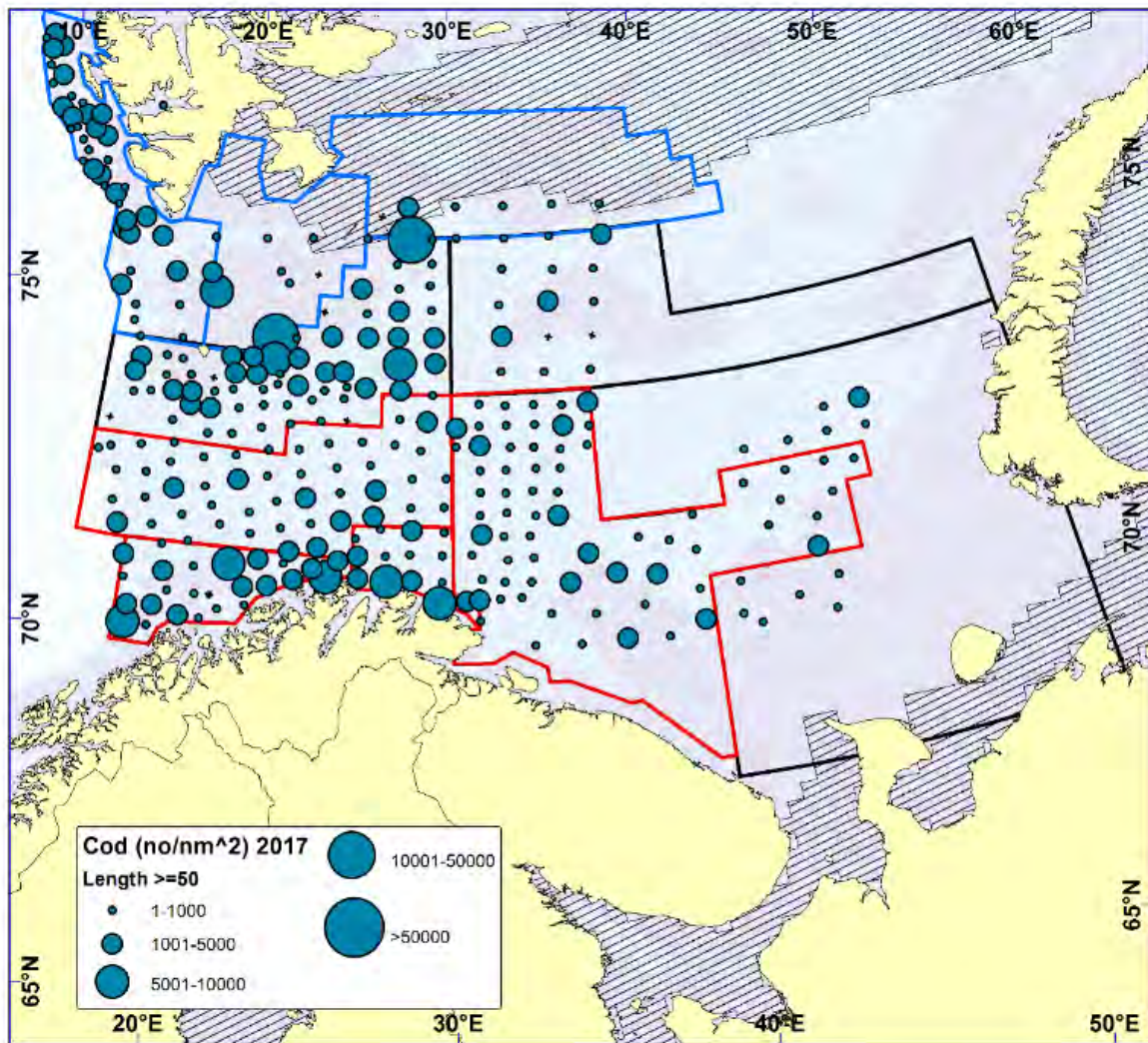
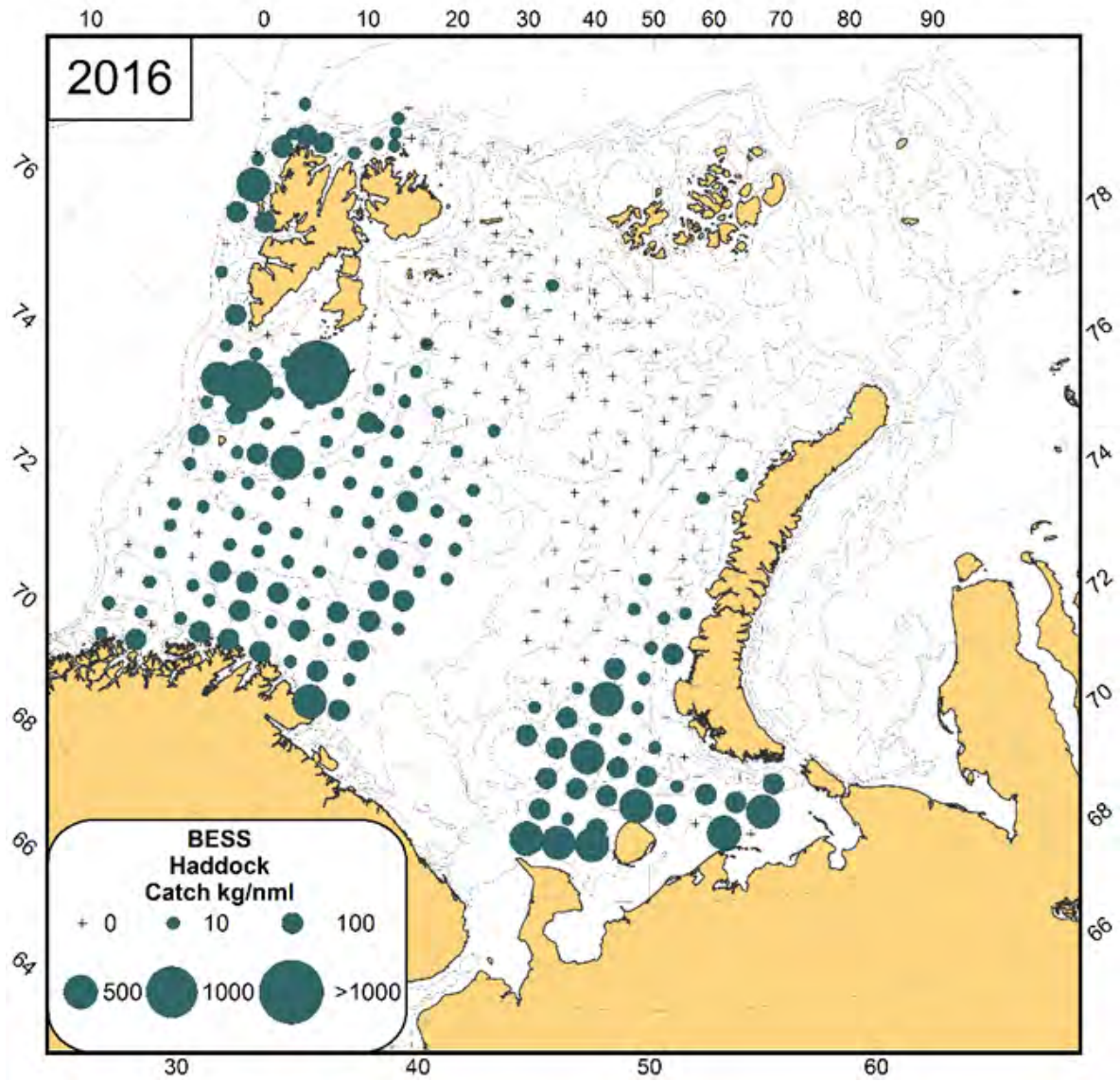


Figure 7. Torsk ≥ 50 cm. Fordeling basert på bunntålfangst vinteren 2016 (antall per nm^2). Nullfangst er indikert med svarte prikker.

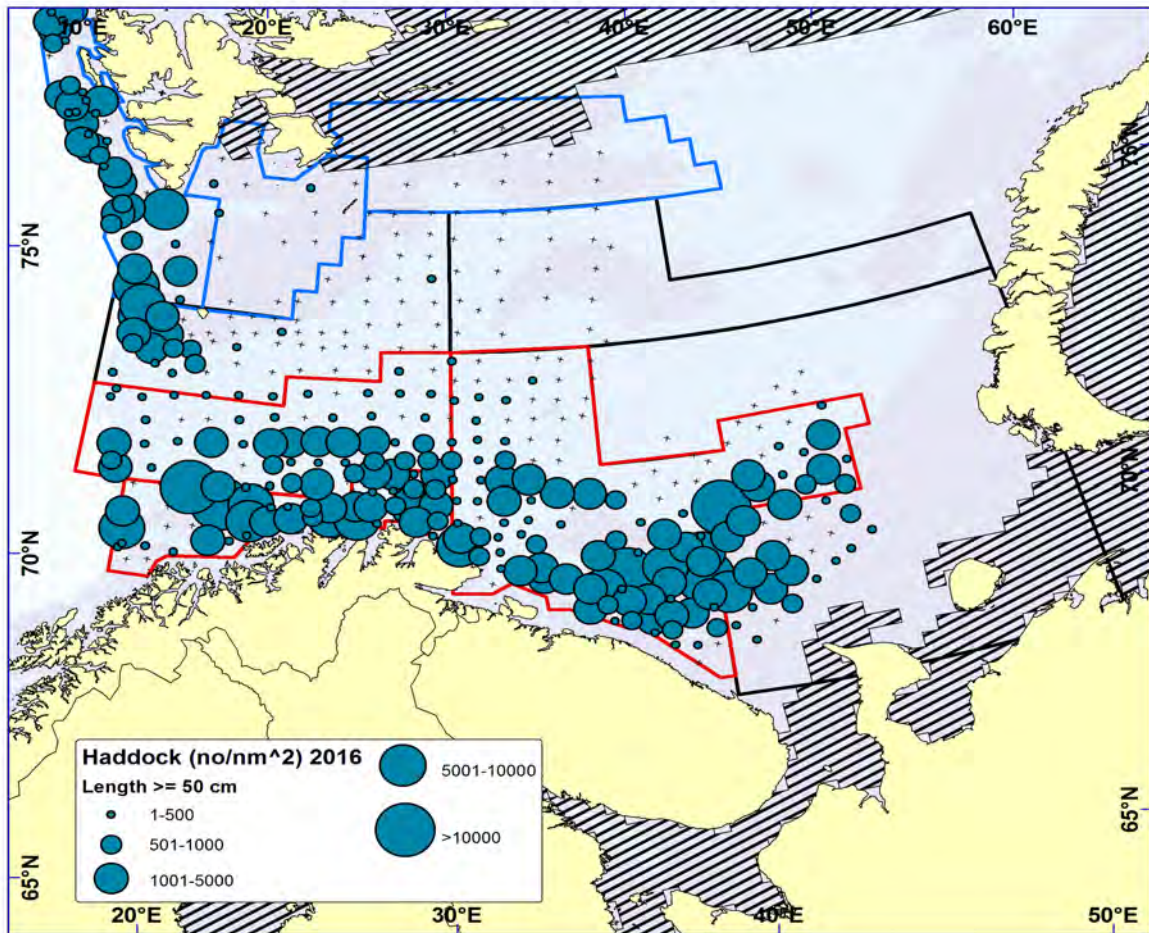
Hyse

Beiteområdet for hyse strekker seg om sommeren og høsten et stykke inn i iskantsonen, og deler av hysebestanden kan man også finne i denne sonen om vinteren (Figur 8 og 9).

Verdi: lav (beiteområde)



Figur 8. Geografisk fordeling av hysse på økosystemtøktet 2016.

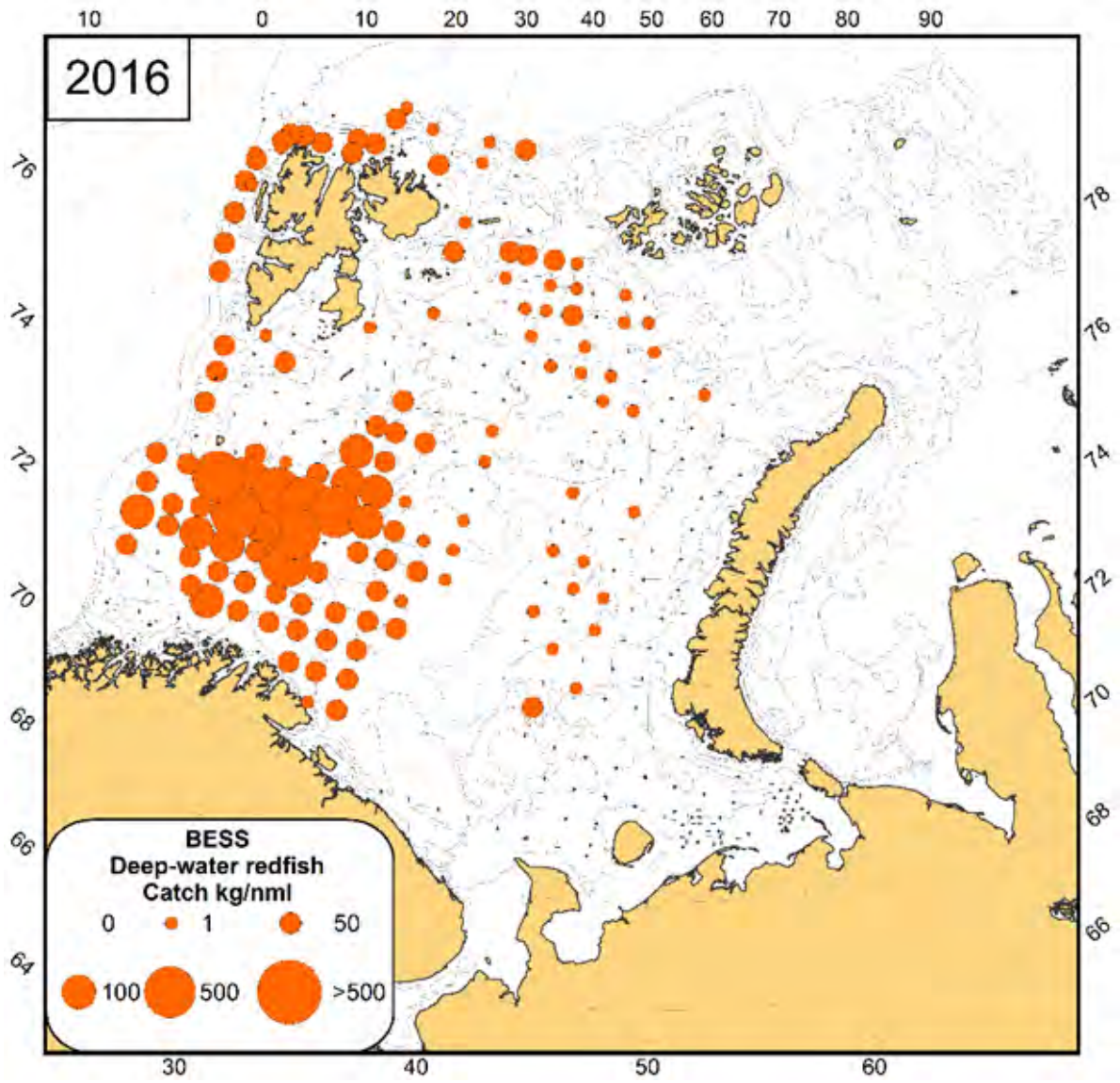


Figur 9. Hyse ≥ 50 cm. Fordeling basert på bunntålfangst vinteren 2016 (antall per nm^2). Nullfangst er indikert med svarte prikker.

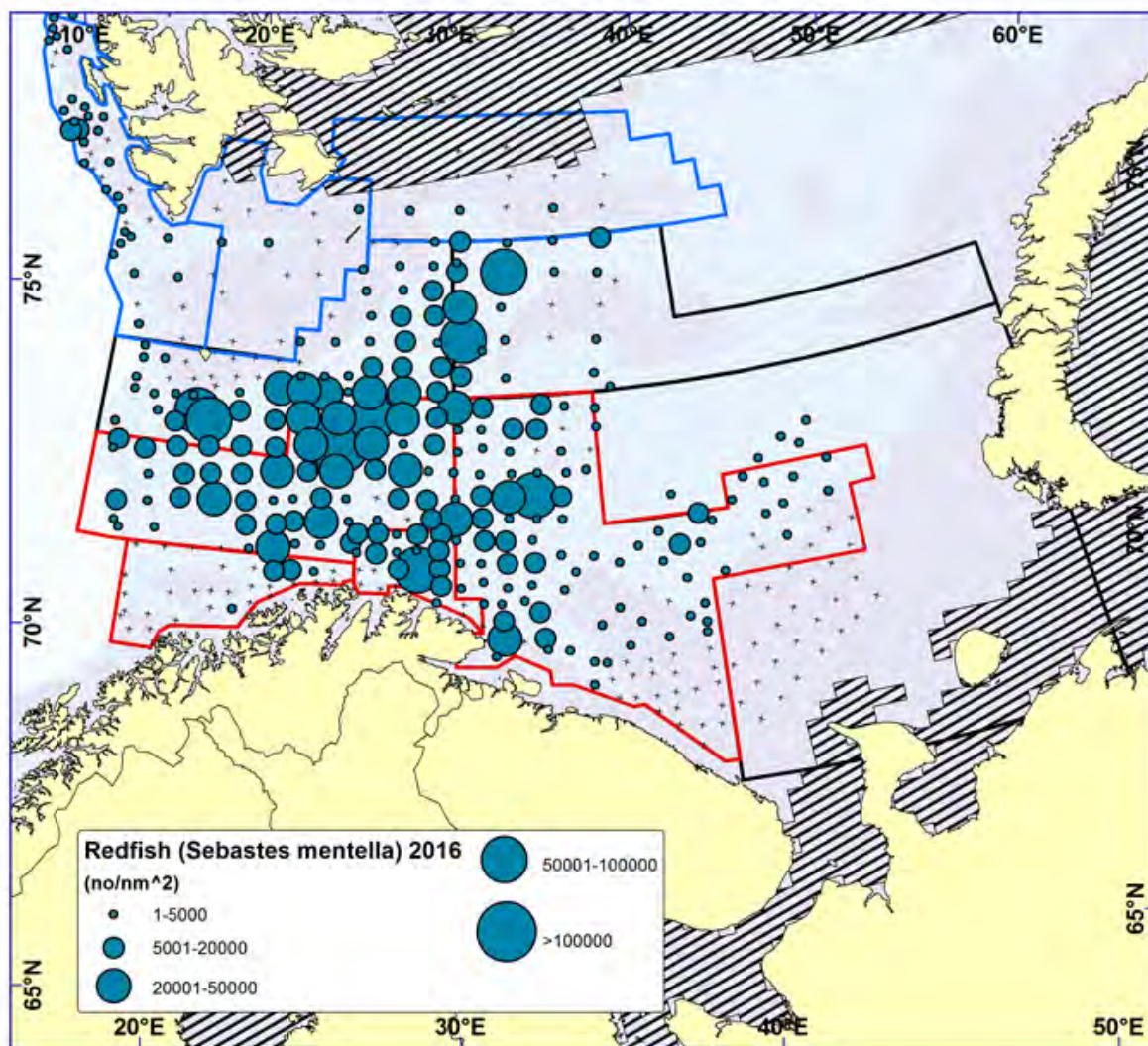
Snabeluer

Beiteområdet for snabeluer strekker seg om sommeren og høsten et stykke inn i iskantsonen, og deler av snabeluerbestanden kan man også finne i denne sonen om vinteren (Figur 10 og 11).

Verdi: lav (beiteområde)



Figur 10. Geografisk fordeling av snabeluer på økosystemtøktet 2016.

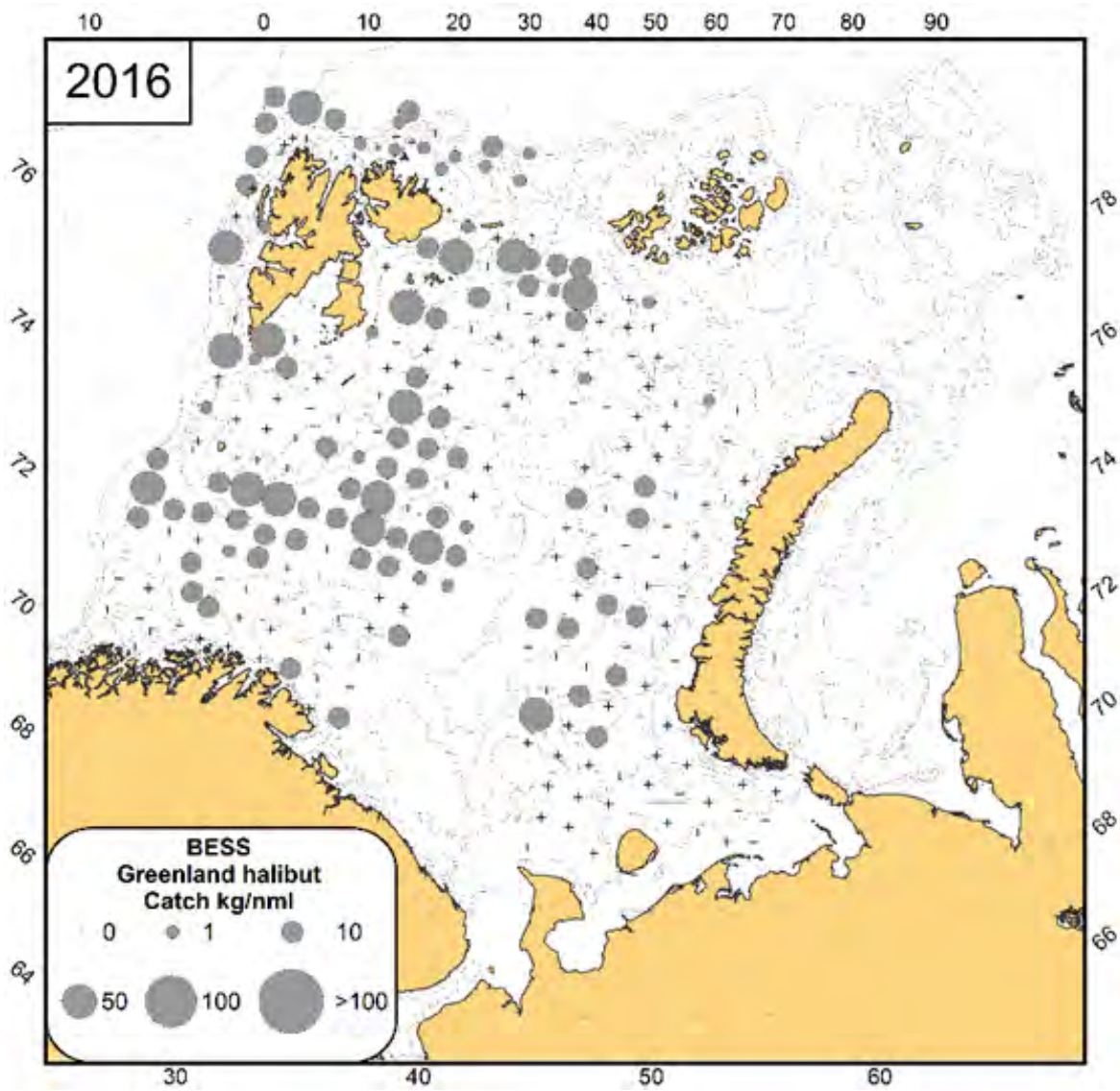


Figur 11. Snabeluer (*Sebastes mentella*). Foredling basert på trålfangst vinteren 2016 (antall per nm²). Nullfangst er indikert med svarte prikker.

Blåkveite

Iskantsonen er et viktig oppvekstområde for blåkveite (Figur 12 og 13), og den finnes trolig i dette området hele året.

Verdi: middels (beite- og overvintringsområde)



Figur 12. Geografisk fordeling av blåkveite på økosystemtoktet 2016.

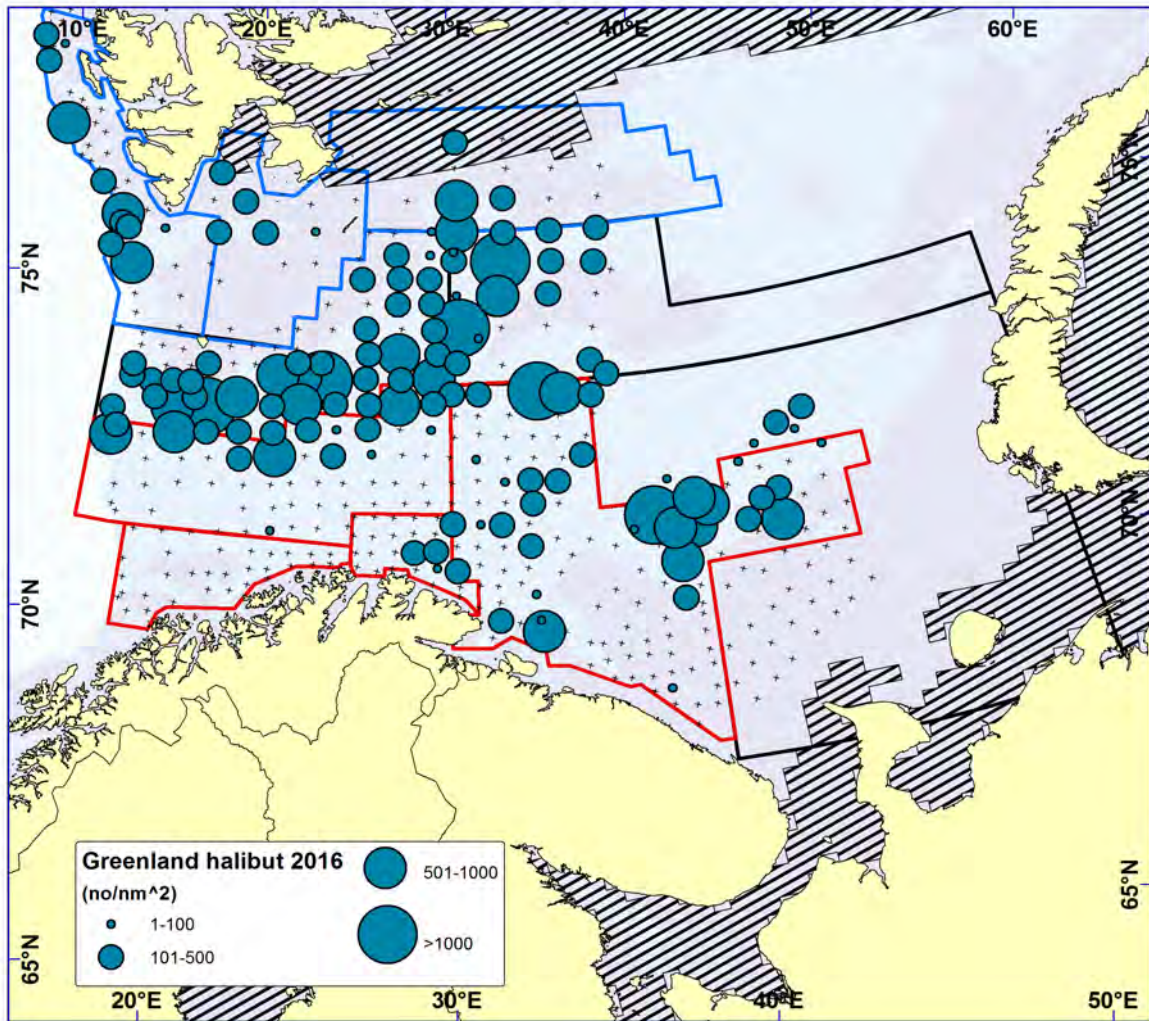
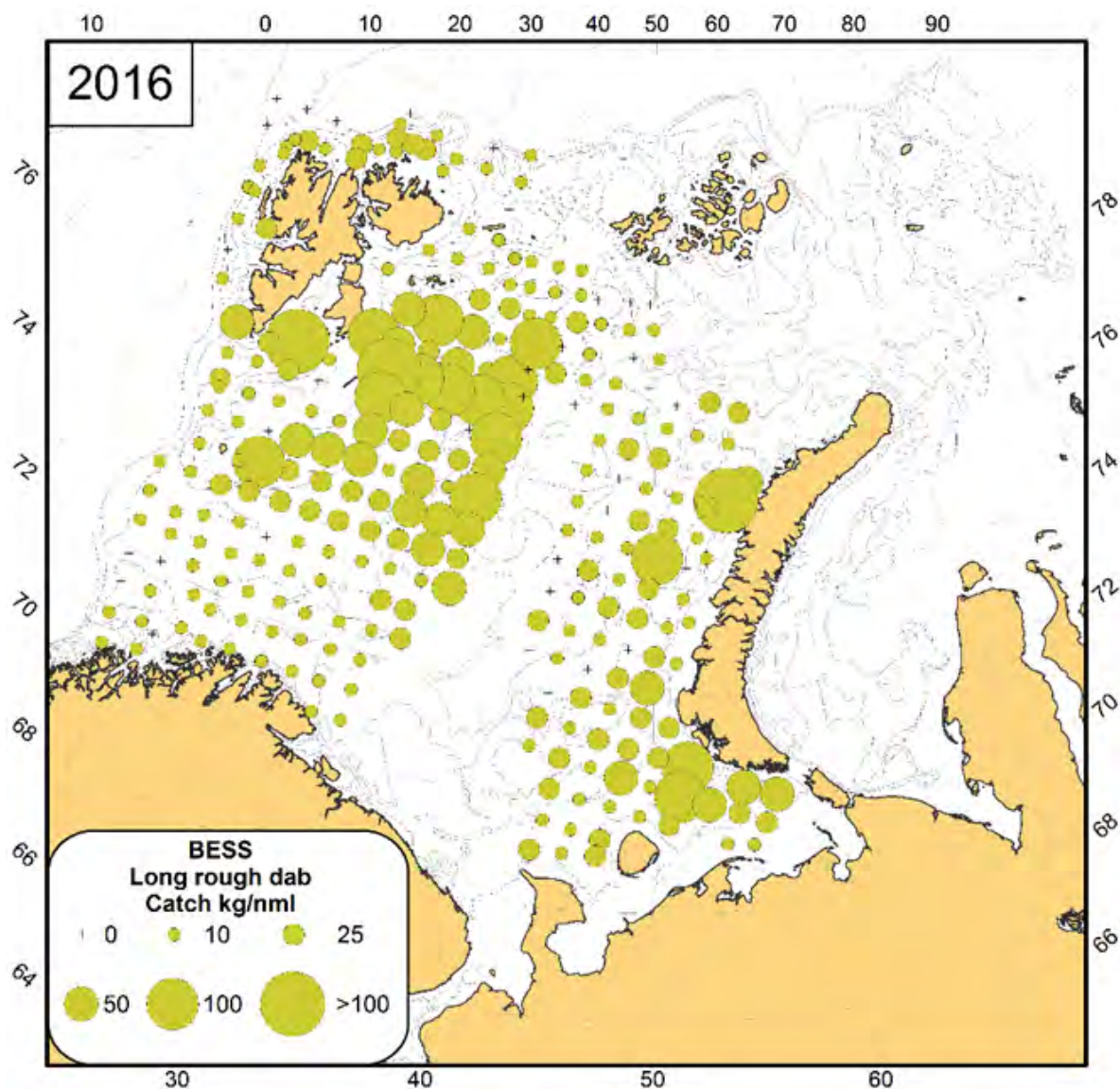


Figure 13. Blåkveite. Fordeling basert på trålfangst vinter 2016 (antall per nm^2). Nullfangst er indikert med svarte prikker.

Gapeflyndre

Utbredelsesområdet for gapeflyndre strekker seg om sommeren og høsten et stykke inn i iskantsonen, og deler av gapeflyndrebestanden kan man også finne i denne sonen om vinteren (Figur 14).

Verdi: middels (Beite- og overvintringsområde)



Figur 14. Utbredelse av gapeflyndre på økosystemtoktet 2016.

Andre arter

I iskantsonen finnes det mange arktiske arter som oppholder seg der hele livet, som for eksempel ringbuker, enkelte ålebrosmer og ulker. Mange av disse artene har forflyttet seg nordover de siste årene samtidig som boreale arter har flyttet seg nordover fra det sørlige Barentshavet (Fossheim m.fl. 2015). Utviklingen i utbredelse og mengde av arktiske fiskearter i Barentshavet fra 2004-2015 er beskrevet av Johannesen et al. (2017) og viser en nedgang og nordoverforflytning av arktiske fisk.

I tillegg til polartorsk er blåsteinbit oppført som nær truet (NT) i norske farvann.

Verdi: Høy (Gyte-, beite- og overvintringsområde)

Hovedpunkter

- Høyest verdi: Polartorsk og andre arktiske arter som ringbuker, enkelte ålebrosmer og ulker – disse har både gyte- beite – og overvintringsområder i iskantsonen

- Middels verdi: Lodde, torsk, blåkkeite, gapeflyndre (beiteområder, overvintringsområde for blåkkeite)

Kunnskapsbehov

- Bedre forståelse av konkurranseforholdet lodde/polartorsk.
- Bedre kunnskap om hvor fiskearter står i iskantsonen på ulike deler av året.
- Økt kunnskap om bestandsidentitet polartorsk (fjordbestander vs. havbestander).

Overvåkingsbehov

- På fisk er det allerede en ganske omfattende årlig overvåking, men kartlegging og etter hvert overvåking av nord/østgrense for polartorskens årlige utbredelse vil være viktig for å følge med på statusen til denne viktige arten.

4.3.1.4 Sjøfugl

Generelt

Vi har begrenset kunnskap om sjøfuglens bruk av iskantsonen, og iskantens betydning for sjøfuglbestandene gjennom året. Det er først gjennom de siste års raske utvikling av ulike typer sporingsteknikker (lysloggere, små satellittsendere) at det har blitt mulig å få kunnskap om de ulike artenes bruk av iskantsonen. Bruken av disse teknikkene er likevel kun i startfasen, og få studier er ennå publisert. Det forventes at bare innen noe få år vil kunnskapstilfanget være vesentlig bedre. Verdisettingen i dette dokumentet er derfor basert på en subjektiv vurdering av tilgjengelig kunnskap pr. i dag. Området som er vurdert begrenser seg til den norske delen av Barentshavet, samt iskantsonen i Grønlandshavet.

Felles for alle sjøfuglartene, med unntak av ismåke, er at vi har en manglende forståelse av den relative betydningen av iskantsonen som habitat, i forhold til andre habitat sjøfuglene utnytter gjennom året. Et fellestrekk er at særlige de nordlige bestandene på Spitsbergen, Frans Josef Land, og til dels Jan Mayen forekommer i iskantsonen i større grad eller lengre perioder av året, enn de sørlige populasjonene.

Bakgrunn

Næringsgrunnlaget til sjøfugl i Barentshavet gjenspeiler gradienten fra varmt atlantehavsvann i sør og vest til arktiske vannmasser i nord og øst. I den sørlige delen, det vil si langs kysten av Troms og Finnmark, høster sjøfuglene av et subarktisk økosystem hvor 0-II-gruppefisk, lodde, ungsild og tobis er viktige næringsemner. Nærmere polarfronten ved Bjørnøya og isentrale deler av Barentshavet er lodde og krill viktige næringsemner, mens lengst mot nord, i de arktiske økosystemene utenfor Spitsbergen, livnærer sjøfuglene seg av polartorsk og arktisk dyreplankton tilknyttet havisen.

Ulike arter av dyreplankton og fisk utnytter primærproduksjonen i iskantsonen, noe som igjen danner grunnlaget for at sjøfuglene tiltrekkes iskantsonen. Etter hvert som iskanten trekker seg nordover gjennom våren og sommeren, forflyttes denne produksjonen gradvis nordover. Sjøfuglene følger etter nordover, og selv om flere arter ikke observeres i selve iskantsonen, er de avhengige av den produksjonen iskantsonen genererer og den forutsigbarheten dette årlige fenomenet innebærer. Sjøis spiller også en viktig rolle som hvileplattform for flere sjøfuglarter, og har således betydning for det årlige energibudsjettet for flere arter.

Verdisetting

Kriterium 1. Livshistorisk viktig perioder/områder:

Vår (trekkperiode, gradvis forflytning fra vinterområde tilbake til hekkekoloniene, forberedelse til hekkesesong)

Sommer (hekking, for polarlomvi også inkludert svømmetrekk fra koloni til myteområde)

Høst (myting, trekkperiode; gradvis forflytning mot vinterområdet)

Vinter (opphold i overvintringsområdene)

Det er benyttet følgende verdisseting: Lav, middels, høy

Kriterium 2. Rødlitestatus:

Lav verdi: NT (Nær truet)

Middels verdi: VU (Sårbar) og EN (Sterkt truet)

Høy verdi: CR (Kritisk truet)

Havhest

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (vår)	Furasjering		
1 (sommer)	Furasjering		
1 (høst)	Furasjering		
1 (vinter)	Furasjering		
2			

Havhesten hekker fåtallig langs fastlandskysten av Norge og Russland, samt Novaja Semlja (Russland). Det er store bestander på Svalbard og Jan Mayen (> 700 000 par). Dietten domineres av pelagiske dyr som det er mulig å ta i havoverflaten, og fuglen kan karakteriseres som en alteter (Strøm 2006). Arten furasjerer ofte i iskantsonen, og observeres her gjennom hele året. Imidlertid er den relative betydningen av iskantsonen som furasjeringsområde for havhesten ukjent. Trolig viktig for populasjonene på Svalbard og Jan Mayen. Data fra åpent hav innsamlet gjennom SEAPOPOP og nye sporingsdata fra SEATRACK indikerer at bestandene både på Jan Mayen og Svalbard oppholder seg i den nordlige delen av Barentshavet etter hekkesesongen om høsten. Her utnytter de trolig iskantsonen, og oppblomstringen som skjer når iskanten trekker seg nordover.

Polarmåke

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (vår)	Furasjering		
1 (sommer)	Furasjering		
1 (høst)	Furasjering		
1 (vinter)	Furasjering		
2	NT		

Polarmåka har en sirkumpolar, høy-arktisk utbredelse og forekommer blant annet på østkysten av Grønland, Jan Mayen, Svalbard, Frans Josef Land (Russland) og Novaja Semlja (Russland). Arten er en generalist som utnytter en rekke ulike byttedyr som fisk, bløtdyr, pigghuder, krepsdyr, egg, unger og voksne fugler av andre sjøfugler, insekter og kadavre (Strøm 2006). Arten furasjerer ofte i iskantsonen, og observeres her gjennom hele året. Imidlertid er den relative betydningen av iskantsonen som furasjeringsområde for polarmåken lite kjent. Data fra åpent hav innsamlet gjennom SEAPOPOP og nye sporingsdata fra SEATRACK indikerer at bestandene både på Jan Mayen og

Svalbard oppholder seg i den nordlige delen av Barentshavet etter hekkesesongen om høsten. Her utnytter arten trolig iskantsonene, og oppblomstringen som skjer når iskanten trekker seg nordover.

Ismåke

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (vår)			Furasjering
1 (sommer)			Hekking
1 (høst)			Myting Oppvekstområde
1 (vinter)			Overvintring
2		VU	

Ismåken er en høyarktisk art som oppholder seg i isfylte farvann hele året. Den er den eneste sjøfuglen som er direkte avhengig av iskantsonen gjennom hele livsløpet. All næring hentes her, i form av mindre fisk som polartorsk eller større dyreplankton som amfipoder. Ismåken er også en åtseleter som utnytter rester av marine pattedyr tatt av isbjørn eller andre predatorer. Arten forlater sjelden iskanten (Strøm 2006; Gilg et al. 2006).

Bruk av satellittsendere på fugler fra kolonier på Grønland, Svalbard, Franz Josef Land (Russland) og Severnaja Semlja (Russland) har vist at iskantsonen i Framstredet og den sentrale delen av Barentshavet er viktige før hekkesesongen starter (april-mai). I hekkesesongen hentes all mat i iskantsonen eller ved brefronter. Etter hekkesesongen trekker fuglene opp til iskantsonen mellom Svalbard og Severnaja Semlja (Figur 1). Her oppholder fuglene seg til oktober, da høsttrekket starter, og fuglene trekker sørvestover langs iskantsonen ved Øst-Grønland sør til Labradorhavet. En andel av fuglene følger iskantsonen østover til Okhotskhavet (Gilg et al. 2010; Spencer et al. 2016). Fuglene oppholder seg ved driviskanten i Labradorhavet eller Okhotskhavet frem til mars, hvorpå trekket nordover til hekkekoloniene starter. Fuglene forlater normalt ikke iskantsonen verken under vår- eller høsttrekket.



Figur 1. Skematisk fremstilling av forflytningene hos ismåke gjennom året for de fire delpopulasjonene i Canada, på Grønland, Svalbard og på de russiske arktiske øyene øst til Severnaja Semlja. Rød farge: hekkeområder; gul: viktige områder før hekketstart; grønn: viktige områder etter hekking; blå: overvintringsområder. Kilde: Strøm et al. 2015.

Krykkje

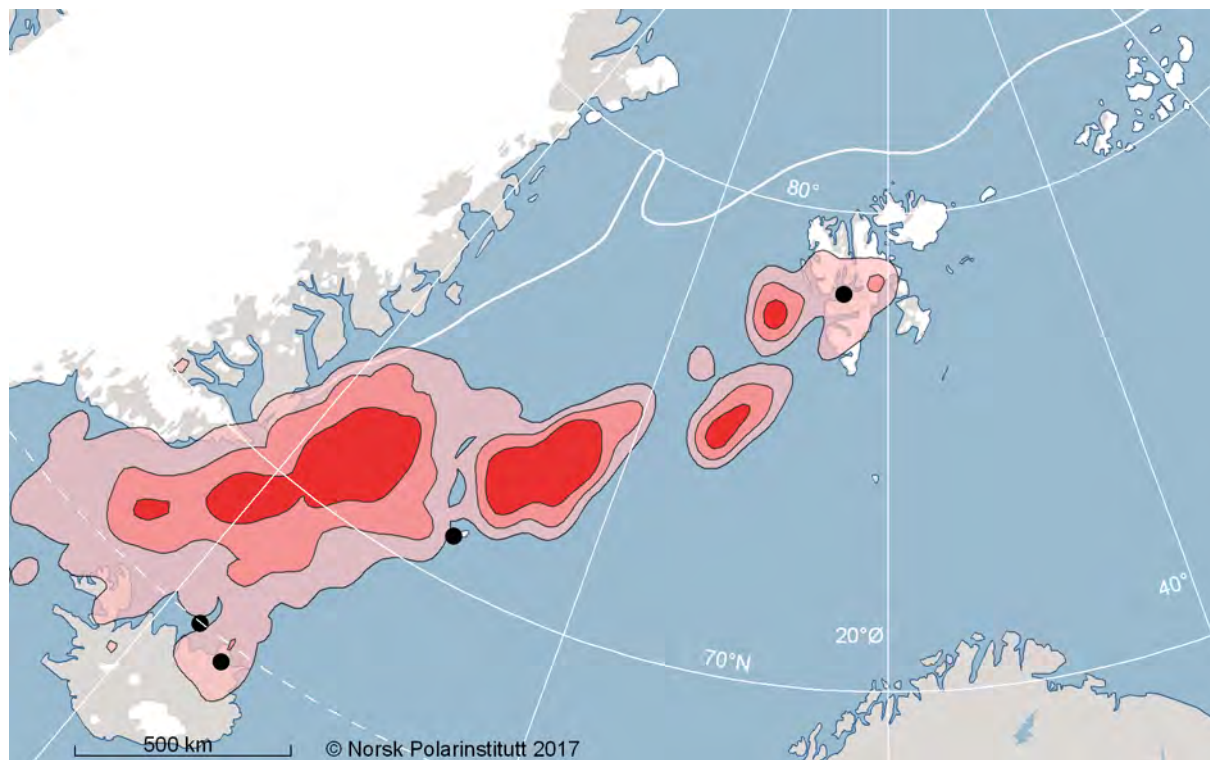
Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (vår)	Furasjering		
1 (sommer)	Furasjering		
1 (høst)		Furasjering Oppvekstområde	
1 (vinter)	Furasjering		
2	NT		

Arten har en sirkumpolar utbredelse og hekker i den boreale og arktiske sonen over det meste av den nordlige halvkule. Kolonier forekommer rundt både Barents- og Grønlandshavet (Strøm 2006). Arten furasjerer ofte i iskantsonen, og observeres her gjennom hele året. Imidlertid er den relative betydningen av iskantsonen som furasjeringsområde for krykkje ukjent. Etter hekkesesongen samles fugler fra kolonier rundt Barentshavet (så langt sør som til Røst i Nordland) i områdene øst og nord for Svalbard. Det er antatt at denne aggregeringen øst og nord for Svalbard har sammenheng med iskantsonen og furasjering i tilknytning til brefronter (Moe et al. in prep.).

Polarlomvi

Kriterium	Lav verdi 1	Middels verdi	Høy verdi
1 (vår)		Furasjering	
1 (sommer)	Furasjering		
1 (høst)		Furasjering. Myting	
1 (vinter)	Furasjering		
2	NT		

Polarlomvien har en sirkumpolar utbredelse i arktiske og subarktiske områder mellom 46 °N og 82 °N. Den hekker på Grønland, Jan Mayen, Svalbard, Frans Josef Land (Russland) og Novaja Semlja (Russland). Arten forekommer også fåtallig langs kysten av Finnmark og Murmanskysten. Polarlomviens diett består hovedsakelig av fisk og krepserdyr. På Svalbard er polartorsk, ulike arter av langebarn og lodde viktige byttedyr (Strøm 2006). Polarlomvien er nært knyttet til iskantsonen, spesielt de nordlige populasjonene på Jan Mayen, Spitsbergen og Franz Josef Land. Om våren søker polarlomviene næring langs iskanten og i råker inne i isen (Bakken & Mehlum 1988). Etter hekkesesongen og gjennom myteperioden oppholder flere populasjoner seg (bl.a. Island, Jan Mayen og Spitsbergen) langs iskantsonen ved Øst-Grønland (Figur 2). De store bestandene av polarlomvi går markant tilbake på Spitsbergen. En nærliggende forklaring til denne tilbakegangen kan være den pågående endringen i vinterområdene, fra et arktisk næringsnett dominert av iskantfauna som polartorsk og *Themisto libellula*, til et mer borealt næringsnett dominert av lodde, torsk og krill (Descamps et al. 2013; Fluhr et al. 2017).

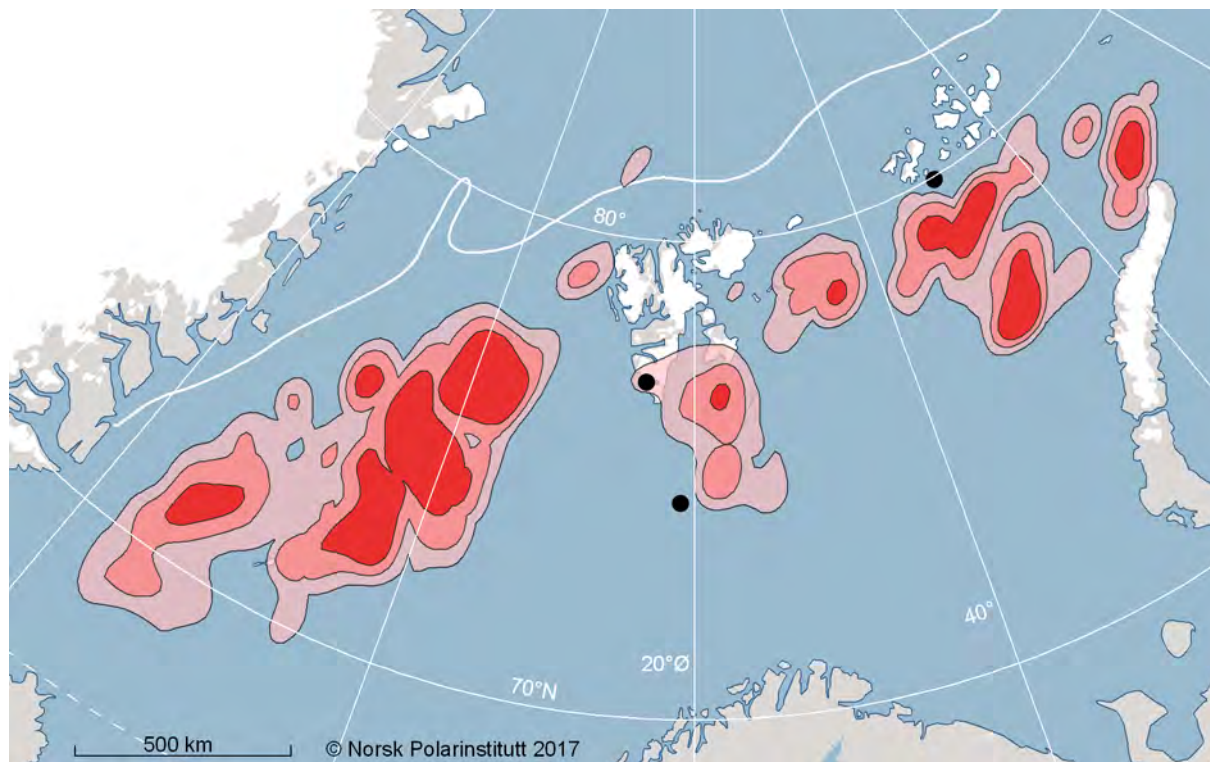


Figur 2. Utbredelse av polarlomvi fra Grimsey, Langes og Skjalfandi (Island), Jan Mayen (orange) og Isfjorden, Spitsbergen (blå) høsten (august til oktober) 2015. Data: SEATRACK.

Alkekonge

Kriterie	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (vår)		Furasjering	
1 (sommer)		Furasjering	
1 (høst)		Furasjering. Myting	
1 (vinter)	Furasjering		
2	NT		

Alkekongen er en høyarktisk art som hekker på Grønland, Jan Mayen, Svalbard, Frans Josef Land (Russland) og Novaja Semlja (Russland). Dietten består hovedsakelig av små krepserdyr. Hoppekrepser (copepoder), spesielt *Calanus* spp. er viktige næringsemner. Alkekongen er nært knyttet til iskantsonen, og henter sin næring i isfylte farvann gjennom hele året. Dette er mest utpreget for de nordlige bestandene. Etter hekkesesongen og gjennom myteperioden oppholder flere populasjoner seg (bl.a. Bjørnøya, Spitsbergen og Frans Josef Land) langs iskantsonen ved Øst-Grønland (Fort et al. 2013; figur3).



Figur 3. Utbredelse av alkekonge fra Bjørnøya (brun) og Hornsund, Spitsbergen (grønn) og Frans Josef Land (blå) om høsten (august til oktober) 2015. Data: SEATRACK.

Hovedpunkter

- Iskantsonen utgjør et viktig furasjeringsområde gjennom hele eller deler av året for flere sjøfuglarter, blant andre havhest, krykkje, polarmåke, ismåke, polarlomvi og alkekonge.
- Ismåken er den eneste arten som er direkte avhengig av iskantsonen gjennom hele sitt livsløp.
- Det er grunn til å tro at de nordlige bestandene av sjøfugl på Spitsbergen, Frans Josef Land, og til dels Jan Mayen utnytter iskantsonen i større grad eller lengre perioder av året, enn de sørlige populasjonene.

Kunnskapsbehov

- Vi har en manglende forståelse av den relative betydningen av iskantsonen som habitat for sjøfugl, i forhold til andre habitat disse artene utnytter gjennom året.
- Det er behov for studier som utnytter nye sporingsteknikker (lysloggere, GPS-loggere, satellittsendere) for å få en bedre forståelse av sjøfuglens sesongmessige utnyttelse av iskantsonen som habitat, og dens betydning for bestandsutvikling og demografi hos de aktuelle artene.

Overvåkingsbehov

- Det er behov for styrket overvåking av de østlige og nordlige sjøfuglbestandene på Svalbard. Denne overvåkingen bør omfatte bestandsutvikling, demografi og næringsvalg. Sporing ved bruk av telemetri (satellittsendere, GLS- og GPS-loggere) bør bli en fast del av overvåkingen. En bedre forståelse av sjøfuglens bruk av iskantsonen forutsetter tidsserier på habitatbruk.

4.3.1.5 Marine pattedyr

Generelt

Også for marine pattedyr har vi begrenset kunnskap om bruk og betydning av iskantsonen for mange av de aktuelle artene. For noen arter, som grønlandssel og klappmyss, blir det foretatt regelmessige tellinger i kasteområdene. Vi har derfor gode data på bestandstall, men begrenset kunnskap om bruken av dette habitatet resten av året. For de fleste andre selartene har vi noe sporingsdata, men mangelfull kunnskap om antall individer eller hvor stor fraksjon av de ulike bestandene som oppholder seg her. For de stedege hvalartene finnes det kun én telling i et begrenset område av iskantsonen og nesten ingen sporingsdata. Den arten vi har best datagrunnlag for er isbjørn, hvor vi har tellinger, samt at dyr instrumenteres hvert år med satellittsendere som gir oss informasjon om habitatbruk. For de sommergjestende hvalartene finnes det ingen gode data om bruk av iskantsonen.

Verdisetting

Kriterium 1. Livshistorisk viktig perioder/områder:

Iskantsonen har ulik betydning for ulike arter gjennom livssyklusen:

Vår (Kalving, yngling, kasting)

Sommer (kalving, hårfelling)

Vinter (Yngling)

Hele året (furasjering, generelt leveområde)

Det er benyttet følgende verdisseting: Lav, middels, høy

Kriterium 2. Rødlistestatus:

Lav verdi: NT (Nær truet)

Middels verdi: VU (Sårbar) og EN (Sterkt truet)

Høy verdi: CR (Kritisk truet)

Hvalross

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året, sokkelomr.)		Furasjering	
1 (vår, sokkelomr.)			Kasting
1 (sommer, sokkelomr.)	Hårfelling		
1 (hele året, sokkelomr.)		Gen. leveområde	
2		VU	

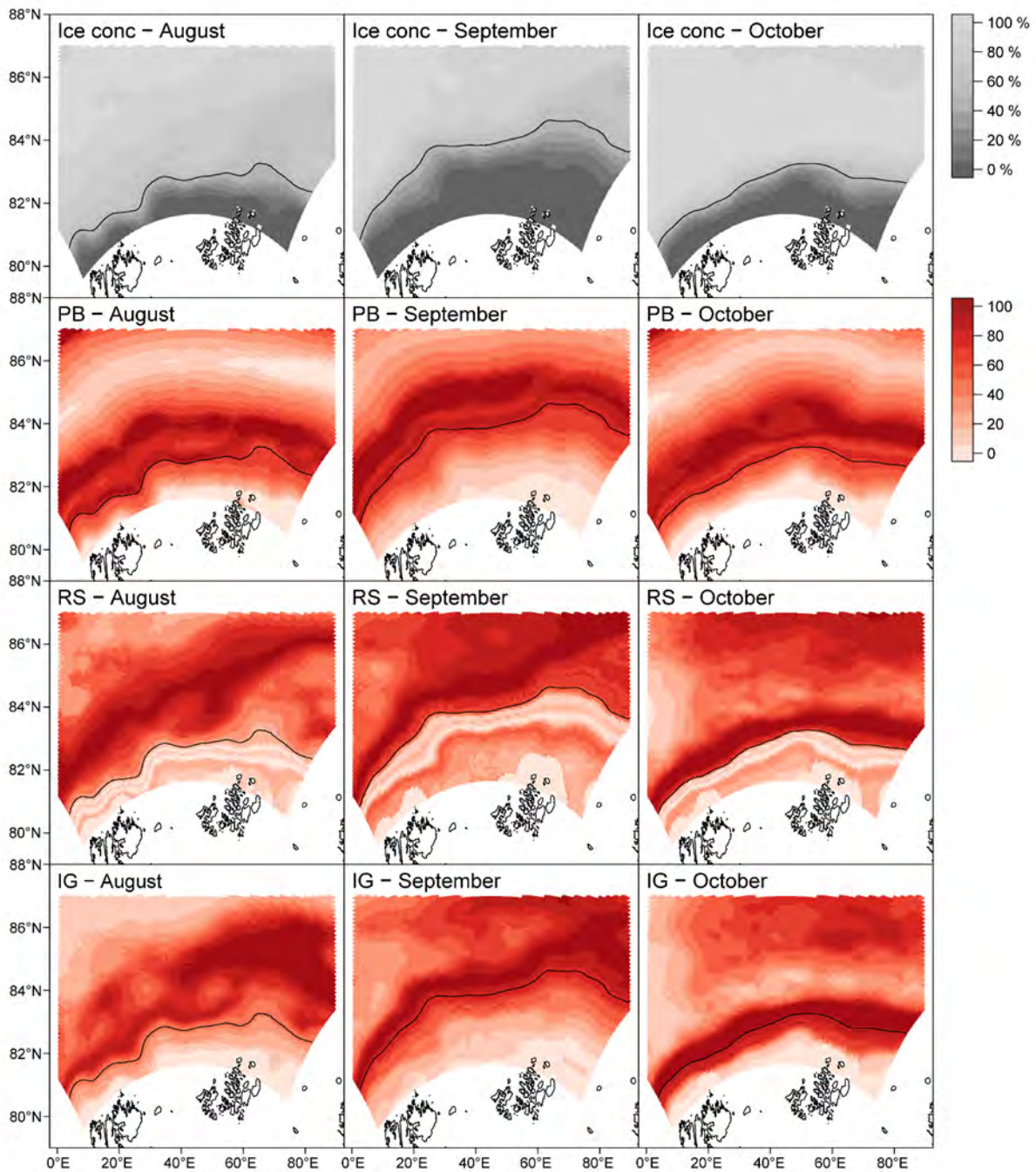
Så lenge isen ligger over grunne områder (dvs. kontinentalsokkelen) foretrekker hvalrossene å ligge oppe på isen og hvile mellom "måltidene". Når isen trekker seg nordover over dyphavet benytter de seg av hvileplasser på land (se f. eks. Lydersen & Kovacs 2014; Hamilton et al. 2015). Kasting foregår dypt inne i isen om våren i grunne områder, hovedsakelig på østsiden av Svalbard og over mot Franz Josef Land (Freitas et al 2009; Lowther et al. 2015). Iskantsonen er dermed viktig for store deler av bestanden **til visse tider på året**. Bestanden har økt betydelig fra første systematiske telling i 2006 (Lydersen et al. 2008) til andre i 2012 (Kovacs et al. 2014), men er fortsatt lav i forhold til hva den opprinnelig var. Tellingen i 2012 ga et estimat på 3886 (CI 3553-4262) som var en økning på 48 %

siden forrige telling. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at bare den delen av Svalbard-Franz Josef Land bestanden som er i den norske delen av utbredelsesområdet ble talt.

Ringsel

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året)			Furasjering
1 (vår)	Kasting		
1 (sommer)	Hårfelling		
1 (hele året)		Gen. leveområde	
2		VU	

Denne vurderingen gjelder kun for iskantsonen. Flesteparten av ringselene i området kaster imidlertid på fjordisen på Svalbard (se f. eks. Lydersen 1998; Krafft et al. 2007). Det er også påvist kasting ute i drivisen (Wiig et al. 1999), men i en mye mindre tetthet enn i fjordene og langt fra iskanten. Dette er fordi ringselene trenger relativt stabile isforhold å kunne fullføre dieperioden, som er lang til en sel å være (Hammill et al. 1991), og ustabil is vil øke risikoen for at mor og unge mister kontakten (unger fødes og oppholder seg mye av tiden i en snøhule over et pustehull i isen (se Lydersen 1998)). Hårfellingen foregår også helst på restene av fjordis i Svalbardområdet (Lydersen 1998; Carlens et al. 2006). Når hårfellingen er ferdig vandrer en del av bestanden opp til iskanten for å furasjere (Freitas et al. 2008a; Hamilton et al. 2015b) mens resten oppholder seg i fjordsystemene på Svalbard og særlig nær brefronter (Lydersen et al. 2014; Hamilton et al. 2016). Det er særlig ungdyr som trekker opp til iskanten, mens eldre voksne dyr oppholder seg lokalt hele året (Freitas et al. 2008a; Hamilton et al. 2015b, 2016, 2017).



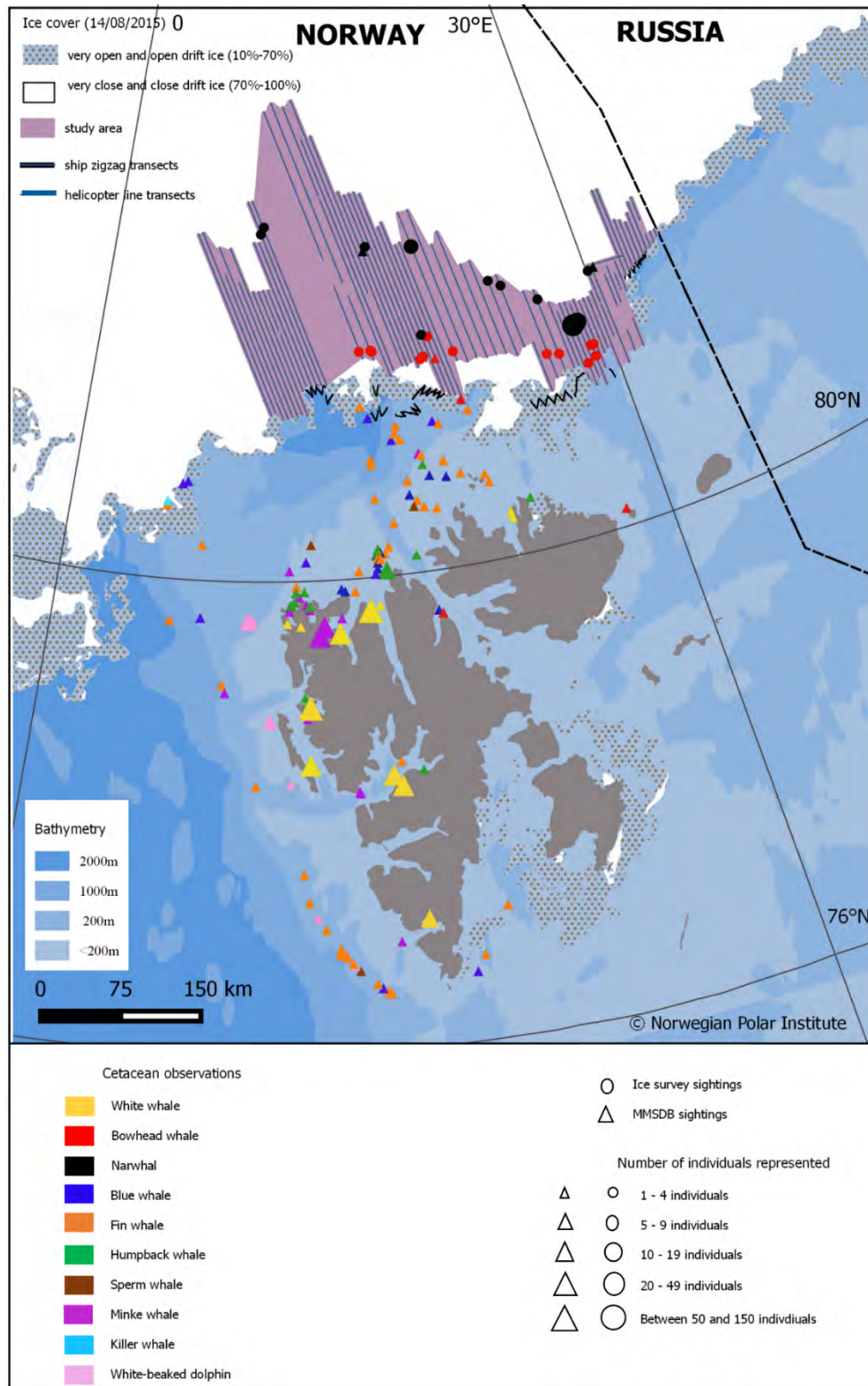
Figur 1. Månedlig iskonsentrasjon (0 – 100 %) og habitatbruk (0 indikerer minst viktige habitater og 100 indikerer mest viktige habitater) i 2012 for isbjørn (PB), ringsel (RS) og ismåker (IG) basert på sporingsdata fra alle artene. Den tykke svarte linjen indikerer posisjonen for 50 % isdekke for de ulike månedene (Kilde: Hamilton et al. 2017).

Vi vet lite om bestandsstørrelse i området. Det ble utført en telling på isen på Spitsbergen i hårfellingsperioden i 2002 og 2003, som beregnet at det var 7585 (CI: 6332-9085) ringsel i området på den tiden (Krafft et al. 2006). Ringselen er rødlistet på grunn av endringene i snø- og isforholdene som følge av et varmere klima. Dette vil ha (har) store konsekvenser for overlevelse av årsunger, da de dermed blir født uten beskyttende snøhule. Dette kan føre til en betydelig økning i dødelighet som følge av bl.a. predasjon, se Kovacs & Lydersen 2008; Laidre et al. 2015; Descamp et al. 2017).

Grønlandshval

Kriterie	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året)			Furasjering
1 (vår)			Kalving
1 (hele året)			Gen. leveområde
2			CR

Grønlandshvalen er den mest sjeldne av de arktiske hvalene i våre områder. Det var inntil nylig antatt at Spitsbergen-bestanden, som er utbredt fra øst Grønland via Svalbard og over til Franz Josef Land, kun bestod av noen titalls individer (Wiig et al. 2007, 2010). Akustiske lyttebøyer utplassert i Framstredet har vist at vi hører grønlandshval som synger nesten hele året og særlig mye aktivitet er det om vinteren og våren (Stafford et al. 2012; Ahonen et al. 2017) noe som kan tyde på at vi har undervurdert størrelsen på denne bestanden. En telling i iskantsonen nord for Svalbard fra russergrensen vestover til ca 7° E beregnet at det var 343 (CI: 136-862) grønlandshval innenfor et undersøkt område på noe over 50 000 km² (Vacquié-Garcia et al. 2017). Alle observasjonene fra denne tellingen ble gjort inne i isen og fra helikopter, ingen ble sett fra båt.



Figur 2. Øvre del av figuren viser grønlandshval og narwhal observert i iskantsonen under en telling i august 2015 (Kilde: Vacquié -Garcia et al. 2017).

De akustiske dataene ble samlet inn fra en bøye som var plassert i en posisjon på ca. 78°50 N og 05°00 W i et område som er innenfor iskantsonen nesten hele året (Stafford et al. 2012; Ahonen et al. 2017). Satellittsporing av grønlandshval viser også at de stort sett holder seg i tilknytning til isen,

men kan ta lengre ekskursjoner ut i åpent farvann (Lydersen et al. 2012). Mor-kalv-par er også observert i iskantsonen. Iskantsonen er altså svært viktig for furasjering, kalving og generelt opphold for denne hvalarten. Man antar at et viktig element er beskyttelse mot predasjon fra spekkhuggere (Kovacs et al. 2011) som er vist å være et økende problem andre steder i Arktis hvor isen trekker seg tilbake (Ferguson et al. 2010).

Narhval

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året)			Furasjering
1 (vår)			Kalving
1 (hele året)			Gen. leveområde
2		EN	

Narhval har aldri vært vanlig i Svalbardområdet, og i motsetning til for mange andre arter er det ikke ukontrollert fangst som er årsaken (Gjertz 1991). Arten rapporteres kun sporadisk til Norsk Polarinstituttets sjøpattedyrdatabase med 18 registreringer av total 118 individer i perioden 2002-2014 (Storrie et al. in prep). På de akustiske lyttebøyene som står ute i iskantsonen i Framstredet høres narhval hele året gjennom (Moore et al. 2012; Ahonen et al. 2017). En telling i iskantsonen nord for Svalbard fra russergrensen vestover til ca 7^o E beregnet at det var 837 (CI: 314-2233) narhval innenfor et undersøkt område på noe over 50 000 km² (Vacquié-Garcia et al. 2017; figur 2 under grønlandshval). Alle observasjonene fra denne tellingen ble gjort inne i isen og mange helt på slutten (nord) av transektlinjene som var ca. 200 meter lange. Dette kan tyde på at vi bare har truffet sørkanten av hovedutbredelsesområdet for narhval i dette området. Det betyr også at det antakelig er mye mer narhval enn tidligere antatt i våre farvann, men siden de oppholder seg så dypt inne i isen var de ikke tilgjengelige for fangsting i tidligere tider, og det er heller ikke mye menneskelig aktivitet i disse områdene som kan rapportere om observasjoner. Om sommeren vet vi at noen narhval forlater isen og kommer inn i fjordene på Svalbard. Noen få individer er sporet med satellittsendere for en kortere periode (Lydersen et al. 2007). Som for grønlandshval vil dårligere isforhold antakelig føre til økt predasjon fra spekkhuggere (Kovacs et al. 2011). M.a.o. er iskantsonen viktig for alle deler av års-/livssyklusen til denne arten.

Steinkobbe

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (vinter)	Gen. leveområde		
2		VU	

Steinkobbene på Svalbard oppholder seg for det meste på vestsiden av Spitsbergen hvor det er Atlanterhavsvann med assosierte byttedyr (Blanchet et al. 2015). De foretrekker isfrie områder, men siden de oppholder seg her året rundt benytter de seg av drivisen som hvileplattform om vinteren når de vanlige hvileplassene på land er iset ned (Hamilton et al. 2014). Satellittsporing viser at de oppholder seg helt i ytterkanten av isen som finnes her på denne årstiden (Blanchet et al. 2014). Iskantsonen er med andre ord ikke et viktig habitat for denne arten på Svalbard, men de velger å oppholde seg i kanten av denne om vinteren i stedet for å vandre sørover. Dette er en genetisk isolert bestand (Andersen et al. 2011) som består av kun rundt 2000 individer (Merkel et al. 2013), og

dette er hovedårsak til at den er på rødlisten. Man antar at de forventede klimaendringene med redusert isdekke vil være gunstige for denne selarten i dette området (Kovacs & Lydersen 2008).

Grønlandssel

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året)			Furasjering
1 (vår)			Kasting
1 (sommer)			Hårfelling
1 (hele året)			Gen. leveområde
2			

To separate bestander er aktuelle her; en som kaster i "Vestisen" og en i Kvitesjøen (Russland). Grønlandssel kaster i drivisen, hårfeller i drivisen og furasjerer mye i forbindelse med is; særlig årsunger (Nilssen et al. 2001), men også andre aldersklasser (Lindstrøm et al. 2013). Dyrene som kaster i russiske områder kommer ut av Kvitesjøen etter kastingen og oppholder seg resten av året innenfor det som er definert som "vårt område" (Nordøy et al. 2008; Svetochev et al. 2016). Grønlandssel er ikke på rødlisten.

Klappmyss

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året, unntatt sommer)		Furasjering	
1 (vår)			Kasting
1 (sommer)			Hårfelling
1 (hele året)			Gen. leveområde
2		EN	

Aktuell bestand av klappmyss kaster i "Vestisen" i mars-april. Så drar de voksne dyrene på næringsvandring langt vekk fra iskantsonen ut i åpent farvann, fra arktiske områder og helt ned til de Britiske øyer (Isachsen et al. 2014). De kommer så tilbake til iskantsonen for hårfelling i juli, og drar ut igjen på lange pelagiske næringsvandring bort fra iskantsonen (Folkow & Blix 1999) før de returnerer for neste kasteperiode. Klappmyss furasjerer ved iskanten når de er der (Haug et al. 2004, 2007). Iskantsonen er også viktig for årsunger de første månedene (Haug et al. 2000) før de også legger ut på lange pelagiske vandring bort fra iskantsonen (Folkow et al. 2010). Klappmyss er rødlistet pga. lav bestandsstørrelse og synes ikke å ta seg opp på tross av mange års fredning (Øigård et al. 2014).

Hvithval

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året)		Furasjering	
1 (vår/sommer)	Kalving		
1 (hele året, unntatt sommer)		Gen. leveområde	
2	DD		

Satellittsporing av hvithval viser at den holder seg kystnært og i isfrie farvann om sommeren (Lydersen et al. 2001). Når isen legger seg tidlig på vinteren presses hvalene bort fra kysten og oppholder seg inne i isen, ofte i områder med over 90 % isdekke (Lydersen et al. 2002; Lydersen & Kovacs upubliserte data). Ingen hvithval ble observert under hvaltelling i iskantsonen nord for Svalbard i 2015 (Vacquié-Garcia et al. 2017). Kalving foregår tidlig på sommeren i en periode uten sjøis (Lydersen & Kovacs upubliserte data). Iskantsonen er dermed oppholdsområde om vinter og tidlig vår, men når denne trekker seg bort fra Svalbards kyster forlater hvithvalene isen og oppholder seg kystnært og særlig foran brefronter (Lydersen et al. 2001) til isen kommer tilbake påfølgende høst/tidlig vinter. Hvithval er på rødlisten som DD siden den ble høstet hardt på frem til 1960 tallet og det finnes intet bestandsestimat for denne arten i våre farvann

Storkobbe

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året, sokkelomr.)		Furasjering	
1 (vår, sokkelomr.)		Kasting	
1 (sommer, sokkelomr.)		Hårfelling	
1 (hele året, sokkelomr.)		Gen. leveområde	
2			

Som for ringsel ser vi bort fra ishabitatene i fjordene på Svalbard. Storkobbene foretrekker relativt grunne områder (Krafft et al. 2000) siden de furasjerer på organismer i eller ved havbunnen (Hjelset et al. 1999). Så lenge iskantsonen finnes over sokkelen i Barentshavet eller sokkelen nord for Svalbard er dette storkobbehabitat. Både for kasting i mai (Kovacs et al. 1996), hårfelling deretter og furasjering året rundt. Er ikke rødlistet.

Isbjørn

Kriterium	Lav verdi	Middels verdi	Høy verdi
1 (hele året)			Furasjering
1 (vinter/vår)	Yngling		
1 (hele året)			Gen. leveområde
2		VU	

En stor fraksjon av isbjørnbestanden jakter i iskantsonen hele året. Ved siste isbjørntelling, som ble foretatt i august 2015, estimerte man at det var totalt 903 (95 % CI=334 - 1026) isbjørner i Svalbardområdet og av disse var hele 709 (95 % CI=334-1026) i iskantsonen nord for Svalbard (Aars et al. 2017). Det er i tillegg også dokumentert at når isbjørnene oppholder seg i denne iskantsonen så foretrekker de områder med 40-80 % isdekke (Hamilton et al. 2017, Lone et al. 2017; figur 2 under grønlandshval). Gravide hunner lager hi på land om vinteren, og når hunnene med årsunger kommer ut av hiet om våren, vandrer mange av disse ut på isen og "blir med" denne nå den trekker seg nordover om sommeren. Noen isbjørn forblir på land og i kystnære områder i perioder uten sjøis. Isbjørn er rødlistet.

Sesongbesøkende bardehvaler (Blåhval, finnhval, knølhval og vågehval)

Blåhval er rødlistet (VU). Et stadig økende antall observasjoner av alle disse artene rapporteres til NPs sjøpattedyrdatabase for perioden 2002-2014 (Storrie et al. in prep). Store deler av observasjonene er fra eggakanten, inne fra fjordene på Svalbard og i Hinlopenområdet. Det er også en del observasjoner av alle disse artene langs iskanten hvor de da furasjerer i sommermånedene.

Andre tannhvaler (Spekkhugger, spermhval, kvitnos, kvitskjeving, grinhval og nordlig nebbhval)

Kun spekkhuggere er observert i iskantsonen. Av denne arten er det totalt kun 41 observasjoner av tilsammen 200 individer i NPs sjøpattedyrdatabase for perioden 2002-2014 (Storrie et al. in prep).

Hovedpunkter

- Iskantsonen er viktig som kasteområde for hvalross.
- Iskantsonen er også et viktig område for ringsel som vandrer opp fra kysten av Svalbard for å furasjere her om sommer og tidlig høst.
- Størsteparten av våre bestander av grønlandshval og narhval oppholder seg inne i iskantsonen året rundt - en nylig flytelling av et avgrenset område samt data fra akustiske lyttebøyer antyder at bestandene av begge disse artene er mye større en antatt.
- Iskantsonen er også svært viktig for Vestisbestanden av grønlandssel og klappmyss som kaster i dette området om våren.
- Bortsett fra for gravide hunner som drar inn på land for å yngle, oppholder storparten av isbjørnbestanden vår seg i iskantsonen hele året, hvor de hovedsaklig jakter på sel.
- Sommergjestende hvalarter finnes også i høyere tetthet langs iskantsonen om sommeren.

Kunnskapsbehov

- Vi trenger mer kunnskap om betydningen av iskantsonen for ulike marine pattedyr (av ulike kjønns og årsklasser) til alle årstider. Dette innebærer flere sporingsstudier, samt bruk av andre teknikker som akustisk overvåkning.
- Nye sporingsstudier for sammenlikning med gamle (der slike foreligger) for å studere responser til ulike arter på endringer i isforholdene (jf. Hamilton et al. 2015b).

Overvåkingsbehov

- Opprettholde tidsserier på bestandsstørrelse (isbjørn, grønlandssel, klappmyss, hvalross).
- Opprettholde tidsserier på habitatbruk (satellitt-telemetri; ringsel, isbjørn, grønlandssel, klappmyss, hvalross, hvithval).
- Starte nye tidsserier på bestandsstørrelse (grønlandshval, narhval).
- Starte nye tidsserier på habitatbruk (spekkhuggere, storkobbe).
- Opprettholde og øke akustisk overvåkning av marine pattedyr i iskantsonen.

4.3.2 Påvirkning og sårbarhet

4.3.2.1 Generelt om sårbarhet

I forvaltningssammenheng er begrepet sårbarhet definert som sannsynligheten for at en effekt oppstår som følge av en påvirkning (Kværner et al. 2006). Definisjonen gjelder uavhengig av hvorvidt disse effektene er positive eller negative. I et forvaltningsperspektiv er det naturlig at man har hovedfokus på de negative effektene av en påvirkning, men det er viktig å vite at det også kan oppstå positive effekter og at en påvirkning i tillegg kan føre til ulike effekter for forskjellige arter.

En effekt beskriver den konkrete endringen som skjer som følge av en påvirkning eller et tiltak, og kan beskrives enten kvantitativt eller kvalitativt. Dersom effekten er vesentlig kan det bli satt en naturverdi basert på kriterier som sjeldenhet, representativitet, vitenskapelig verdi etc. til det som blir påvirket. Basert på koblingen mellom effekt og verdi kan man finne ut hvor stor konsekvensen av en endring kan bli. Det er dette som blir gjort når man gjennomfører en konsekvensutredning.

Når man skal vurdere sårbarhet må man først vurdere hva det er som påvirker. Dette inkluderer type aktivitet, intensitet, og hvor omfattende og varig påvirkningen vil være. Sårbarhet kan vurderes både på individ- bestands- eller økosystemnivå. Videre må man se på nøyaktig hva det er som blir påvirket. For dyr vil dette ofte være lettest å se direkte på små eller store endringer i adferd. I tillegg kan arter som ikke har synlige ytre reaksjoner også få kraftige fysiologiske reaksjoner. Allikevel blir ikke en forstyrrelse regnet for å ha en alvorlig økologisk konsekvens før den kan dokumenteres å ha påvirkning på bestandsnivå (Hagen et al. 2014), for eksempel på demografi eller bestandsdynamikk.

Ettersom systemer har varierende grad av regenereringsevne, inngår også et systems evne til å både tåle en påvirkning og gjenopprettes etter at den har opphørt i sårbarhetsbegrepet (Hagen et al. 2012). Dersom en organisme utsettes for samme påvirkning gjentatte ganger kan de også etter hvert tilpasse seg denne påvirkningen, såkalt habituering (Overrein 2002). I tillegg kan arter lære seg til å unngå forstyrrelsene.

Sårbarheten til dyr vil påvirkes av en rekke ulike faktorer. For det første vil den være ulik gjennom et helt år grunnet ting som forskjellig næringstilgang, reproduksjonsfaser, fjær- og hårfellingsperioder eller vandringsperioder (f.eks. beite- eller gytevandring). Konsekvensene av for eksempel et oljeutslipp vil derfor kunne være svært ulike avhengige av årstiden dette inntreffer på. Den mest sårbare perioden for det pelagiske økosystemet vil være på våren, under våroppblomstringen av planteplankton når både dyreplankton og fisk i tidlige stadier er tilstede.

Individens alder har stor innvirkning på sårbarheten, spesielt juvenile livsstadier hos de fleste arter. Egg og larver er ofte svært følsomme for fremmedstoffer samtidig som de har liten grad av egenbevegelse til å unngå forstyrrelsen. Hos enkelte arter, for eksempel fugler og marine pattedyr, øker også sårbarheten med stigende alder fordi nivået av miljøgifter de har fått i seg øker med tiden.

Ettersom alle arter har utviklet sine egne tilpasninger til miljøet de lever i, vil sårbarhet for en påvirkningsfaktor også variere mellom arter. Hvorvidt en art er fastsittende, bevegelig, solitær eller lever i flokk har stor betydning for hvor sårbare de er for ulike påvirkninger.

Livshistoriestrategier påvirker også artens evne til å bygge opp bestanden etter en påvirkning som har hatt dødelig effekt. Arter som lever lenge, har sen kjønnsmodning og får få avkom vil bruke mye lenger tid på å regenerere bestanden enn kortlevede arter med tidlig kjønnsmodning og mange avkom. Et eksempel på en art som vil bruke lang tid er grønlandshval, som lever i over 200 år og kun får unger hvert 4. år.

Noen arter er viktigere for økosystemet som helhet enn andre. Dersom store deler av bestanden til disse forsvinner vil hele økosystemet kunne bli påvirket. For eksempel er polartorsk en art som er viktig for en rekke organismer på høyere trofiske nivåer. Et fall i bestanden av polartorsk vil kunne skape kaskadeeffekter gjennom hele systemet fordi mange andre arter da får redusert tilgang på sitt viktigste næringsgrunnlag.

For å kunne gjøre vurderinger av sårbarhet kreves mye kunnskap om alle aktuelle påvirkningsfaktorer og effektene av dem. Ikke bare om enkeltarter, men deres levesteder, vandringsmønster og følsomhet i forskjellige livsfaser. I tillegg kommer det større sårbarhetsvurderinger av hele naturtyper og økosystemer.

4.3.2.2 Generelt om påvirkningsfaktorer

Beskrivelsene av de ulike aktivitetene og påvirkningsfaktorer er skrevet basert på informasjon funnet i Miljøverndepartementet (2009), Miljøverndepartementet (2011), Klima- og miljødepartementet (2015), Sakshaug et al. (2009), von Quillfeldt (2010), Norsk Polarinstitut (2014) og Vongraven (2014). Vurdering av påvirkning og sårbarhet i forbindelse med oljevirkosomhet er basert på Rusten (2014) og Miljødirektoratet (u.å.).

Klimaendringer

Effekter av menneskeskapt klimaendring er en av de største utfordringer vi står overfor i nyere tid. Som følge av utslippene av klimagasser er det blant annet forventet at temperaturen på jorda vil stige, og mulige konsekvenser av dette inkluderer økt havnivå, forandringer i havstrømmer, og endret isdekke og saltinnhold. Videre vil klimaendringene føre med seg værforandringer i form av endringer i nedbør, vind, sol og UV-stråling. Dette kan få store biologiske konsekvenser og på sikt føre til endringer i hele økosystemer.

I tillegg til store, permanente påvirkninger forventes det en økning i frekvensen av ekstremvær. Disse tingene er vanskeligere å modellere enn langtidseffekter av klimaendringene, og kan også være med på å maskere de store langtidseffektene som utvikler seg parallelt.

Sammen vil alle disse faktorene føre til omveltninger i det fysiske miljøet, og samvirkningene vil høyst sannsynlig bli større enn enkeltvirkningene av hver faktor.

Klimaendringene er raskere merkbare på nordlige breddegrader: i Arktis foregår oppvarmingen dobbelt så raskt som verdensgjennomsnittet. Smelting av is og oppvarming av havvannet har en selvforsterkende effekt etter hvert som mer og mer is smelter. Den lyse overflaten til isen reflekterer sollys – kalt albedo-effekten -, og økt smelting vil redusere denne reflekterende effekten i takt med at isdekket reduseres. Dermed vil dette etter hvert føre til økt smelting av is og oppvarming av havvannet. Når overflatevannet blir oppvarmet kan prosessen der kaldt arktisk vann synker til dypet også bli redusert. Denne prosessen utgjør en viktig del av den globale havsirkulasjonen, og slike endringer kan i verste fall resultere i mindre varmt Atlanterhavsvann til Norskehavet, noe som igjen vil påvirke hele marine systemer. Klimaendringene og effektene av dem kan resultere i permanente endringer i marine økosystemer i løpet av kort tid, men det er vanskelig å forutsi hvor raskt disse endringene vil påvirke havmiljøet merkbart.

Biologiske endringer som følge av klimaendringene kan være mange og varierte. Økt temperatur og mindre is kan noen steder føre til økt produksjon av planteplankton. I kontrast til dette kan ismelting også resultere i en større lagdeling i vannsøylen som «fanger» det næringsrike dypvannet og hindrer det i å nå de lagene der primærproduksjonen foregår. Dermed kan dette resultere i mindre produksjon som følge av næringsmangel. Mindre is vil også kunne føre til en reduksjon i

biomassen til de algene som lever i isen og i iskantsonen. Dette vil i sin tur påvirke bentiske organismer som lever av biologisk materiale som synker til bunn i iskantsonen. Når det gjelder dyreplankton vil et varmere klima sannsynligvis føre til at flere sørligere arter trekker nordover. I noen tilfeller kan disse komme til å erstatte de mer næringsrike nordlige artene, og dette vil kunne påvirke arter som lever av dyreplankton, blant annet fisk og sjøfugl. For sistnevnte, som eventuelt kan komme til å endre utbredelse for å unngå å miste næringsgrunnlaget sitt, vil det blant annet kunne bli en utfordring å finne nye egnede hekkeplasser. Flere artsgrupper er i ferd med å trekke nordover i takt med at det blir varmere. Nye arter sørfra kan også føre med seg sykdommer, sykdomsbærere og parasitter som de arktiske artene ikke har noe forsvar mot, og dermed er svært sårbare for. Fiskearter som trekker nordover er bl.a. torsk, hyse, makrell og lodde (Haug et al. 2017). Videre er det også svært sannsynlig at bentiske arter sørfra vil trekke nordover og kunne kolonisere havbunnen. Bunnfunn vil også bli påvirket av generelt mindre vinteris og nordligere isgrense ved at de mister næring fra produksjonen i iskantsonen. Snøkrabbe kan også vandre inn i iskantsonen østfra – uavhengig av klimaendringer. Isavhengige fugler og pattedyr er spesielt utsatte ved reduksjon av havisen, for eksempel isbjørn, flere selarter, spekkhugger, og ismåke.

Flere systemer og arter har ukjente «tipping points», en terskel som markerer et skille mellom der en endring er reversibel og der den blir irreversibel. Denne terskelen er vanskelig å forutsi hvor går, og vil i tillegg variere mellom arter og habitater. Blikker man over på andre siden av skillet, vil arter kunne være tapt for alltid.

Havforsuring

Den økende havforsuringen har de siste årene fått økt nasjonal og internasjonal oppmerksomhet. Overflatevannet i verdenshavene har blitt 30 % surere enn for 200 år siden. Grunnen til denne forsuringen er at økt mengde CO₂ i atmosfæren fra menneskelige utslipp også fører til økt opptak av gassen i havet når CO₂ reagerer med vann og danner karbonsyre. Dette vil senke pH-en i vannet og føre til havforsuring. CO₂ tas lettere opp i kaldt vann, og effekten av havforsuring vil dermed bli større i områder langt nord. Prognoser viser at vi kan forvente en videre reduksjon på 0,45 av pH-en i norske havområder i løpet av dette århundret. Det er vanskelig å spå effekten av en slik havforsuring, men flere arter som er utsatte er nøkkelarter i marine økosystemer, med andre ord effekter på en art kan få konsekvenser for større deler av økosystemet.

Redusert pH medfører økt løselighet av kalk, og dette kan påvirke viktige marine arter som er avhengige av kalk til å bygge skjelett eller skall og ofte utgjør viktig føde for dyreplankton som igjen danner næringsgrunnlaget for andre arter på høyere trofiske nivåer. En forsuring kan dermed føre til økologiske skadevirkninger dersom den negative effekten på disse kalkavhengige artene blir for stor.

De mest utsatte artene er avhengige av en viss overmetning av kalsiumkarbonat i havvannet, og er sjelden å finne på dype områder da dypvannet er undermettet på kalk fra et par tusen meters dyp og nedover. Viktige grupper som lager kalsiumkarbonatskjell er noen arter av plankton, koraller og skjell.

Også arter som ikke er fysisk avhengige av kalk er følsomme for redusert pH over lange perioder. Eksempler på dette er kopepoder, f.eks. den sentrale arten raudåte (*Calanus finmarchicus*). Havforsuring vil dermed kunne påvirke både deres fysiologi og deres reproduksjon. Også bunndyr og fisk i tidlige utviklingsstadier vil være sårbare for redusert pH, mens voksen fisk trolig vil forbli upåvirket.

På kort sikt anses det som umulig å reversere den nåværende havforsuringen ved hjelp av kortsiktige tiltak. Globale reduksjoner i menneskelige utslipp av CO₂ vil på lang sikt være viktige, men effekten bruker lang tid på å nå havet.

Skipstrafikk

I iskantsonen vil effekter av skipstrafikk kunne påvirke flora og fauna både gjennom forurensing fra vanlig bruk, og i verste fall fra potensielle ulykker. Undersjøisk støy fra skipstrafikk kan både påvirke dyrs hørselsorganer, overdøve kommunikasjon individer imellom og skape generelt økt stress hos dyr.

Økende cruiseturisme i Arktis fører med seg flere potensielle trusler mot sårbare områder. Oljeforurensning fra selve skipene kan f.eks. skade dyr ved å ødelegge isolerende fjærdrakter eller pels eller føre til gifteffekter ved at individer får i seg oljen. En annen påvirkning er økt undervannsstøy som kan forstyrre arter som er sensitive for dette og i verste fall føre til endringer i migrasjonsmønstre hos vandrende arter. Innføringen av fremmede arter som sitter fast på skrog eller i ballastvannet er også en mulig effekt. Dette kan føre til endringer i hele systemet ved at det kommer inn arter som deler økologisk nisje med viktige arktiske arter og potensielt utkonkurrerer disse. Dermed kan den naturlige sammensetningen av arter i området bli endret.

Påvirkninger fra skipstrafikk og petroleumsvirksomhet er foreløpig antatt å være små, men dette kan endre seg med økende aktivitet fra disse sektorene. Fiskerier og skipstrafikk, i tillegg til petroleumsvirksomhet, er de viktigste aktivitetene som foregår i Barentshavet. Aktuell skipstrafikk rundt Svalbard er hovedsakelig cruisebåter (oversjøisk og kystcruisetraffikk), godstrafikk, forskningsfartøy, samt fiskeri. Utenom fiskeri, er cruisetraffikken som har hatt størst aktivitet de siste årene, i takt med økningen i turismen på Svalbard. I motsetning til forurensing fra petroleumsvirksomhet, er skipsfart mindre stedbunden, og en eventuell hendelse med akutt utslipp kan skje hvor som helst.

Petroleumsvirksomhet

Petroleumsvirksomhet kan ha påvirkning på flere måter i forskjellige stadier av virksomheten: støy fra seismikkundersøkelser i forkant av oljevirkosomhet, selve utbyggingen og driften, samt båttrafikk i forbindelse med frakt til og fra oljeriggen. En mer utfyllende tekst om sårbarhet for oljeutslipp kan leses i eget delkapittel under.

Mange arter av fisk, marine pattedyr og noen evertebrater bruker lyd til å kommunisere, finne partnere, jakte, unngå å bli jaktet på, og til navigering. Økt undersjøisk støy fra oljevirkosomhet og skipstrafikk kan både påvirke dyrs hørselsorganer, overdøve kommunikasjon individer imellom og skape generelt økt stress hos dyr (OSPAR 2009). Svømmeaktiviteten hos flere fiskearter har f.eks. blitt påvist å ha økt rundt seismikkområder, noe som kan være stressreaksjoner fra dyrene på støyet.

Utslipp som følge av et uhell og små tillatte lokale utslipp i forbindelse med seismiske undersøkelser er de mest sannsynlige fysiske påvirkningene som følge av petroleumsvirksomhet i et område. Miljørisikoen, dvs. sannsynligheten for og omfanget av miljøskader ved utslipp vil variere mellom forskjellige arter og miljøer. For fisk er det de tidligste livsstadiene som er de mest sårbare, men dette varierer også mellom arter og bestander. Utslipp i iskantsonen kan få betydelige konsekvenser, da det er stor sannsynlighet for at flere arter rammes samtidig. Sjøfugl kan bli både direkte og indirekte påvirkede av oljeutslipp. Om de er i direkte kontakt, vil oljen klistre seg til fjærdrakten så den mister isolasjonsevnen og fuglen kan fryse i hjel. Av sjøpattedyr er kvitunger av grønlandssel og

ringsel svært utsatte for skadevirkninger av oljeutslipp. Eldre sel kan få øyeinfeksjoner (St. Aubin 1990). Når det gjelder andre sjøpattedyr blir de generelt oppfattet som mindre sårbare, men fortsatt ikke upåvirkede. Isbjørn kan for eksempel bli påvirket ved at de slikker av seg oljesøl i egen pels og dermed kan få i seg skadelige giftstoffer.

Olje og sårbarhet: fisk, sjøfugl, marine pattedyr, istilknyttet fauna

Det Norske Veritas Germanischer Lloyd (DNV GL) og Havmiljø.no har gjort vurderinger av sårbarhet for forskjellige aspekter ved oljevirkosomhet. Mens DNV GL har fokusert på sårbarhet for potensielle oljeutslipp (Rusten 2014), har Havmiljø også lagt vekt på sårbarhet for fysiske påvirkninger som følge av oljevirkosomhet, også i anleggsfaser. Kort oppsummert kan olje påvirke både som ytre skader på fjærdrakt og pels, føre til gifteffekter og skader på organer ved inntak. I tillegg til påvirkning av direkte oljeutslipp vil også faste installasjoner og lyder i forbindelse med konstruksjon og drift kunne ha negative påvirkninger på flere arter i iskantsonen. Sårbarheten for slike effekter av olje varierer mellom dyregruppe, livsstadie og årstid: tidlige stadier av de fleste artsgrupper er generelt mer sårbare enn fullvoksne individer, men noen effekter – for eksempel opphopning av miljøgifter – blir større med alderen.

Nedenfor følger en oppsummering av de to sårbarhetsvurderingene.

DNV GL (Rusten 2014)

Effekter av olje i is

Organismer kan bli eksponert for olje på tre forskjellige måter: gjennom direkte kontakt med overflaten, svelging eller inhalering.

Olje som havner under isen får ikke mulighet til å fordampe, og enkelte komponenter vil istedenfor løses opp og bli giftige for marin flora og fauna. I kalde årstider vil oljen også kunne fryses inn i selve isen og bevege seg gjennom isen i saltvannskanalene. Størsteparten av komponentene i olje er hydrokarboner. Ettersom de fleste hydrokarboner fra olje er lipofile, vil oljen ved inntak av organismer bli oppløst og lagret i fett i organismene. Mange dyr som er assosiert med iskantsonen er derfor spesielt utsatte for oljesøl. Mange av disse er også avhengige av å lagre fett for å klare seg gjennom vinteren.

Gifteffekter

Olje er en blanding av flere organiske stoffer med forskjellige fysiologiske, kjemiske og toksikologiske egenskaper. Disse kan føre med seg ulike effekter på forskjellige organismer, og toksisiteten vil også avhenge av sammensetningen av selve oljen, eksponeringstid, -mengde og -måte (inhalering, svelging, opptak via gjeller, hud eller fjær), samt hver enkelt organismes biologiske forutsetninger.

I rapporten til Rusten (2014) blir det fokusert hovedsakelig på effekter på fugl, fisk og marine pattedyr. Disse vil som oftest være utsatt for vannløselige oljekomponenter gjennom overflatemembraner, gjeller eller mage. En annen mulighet er inhalering av lettflyktige petroleumforbindelser som blir liggende rett over vannflaten, hvilket gjør pustende pattedyr som hvaler ekstra utsatte (Schwacke et al. 2013). Disse forbindelsene blir ofte liggende i lengre tid i kalde områder enn i varme. I et lengre perspektiv enn den akutte fasen etter et utslipp, vil fugl, fisk og pattedyr også være utsatt gjennom bioakkumulering gjennom næringskjeden. Selunger er de mest utsatte pattedyrene for gifteffekter da de kan få i seg store mengder miljøgifter via den fettrike morsmelken, og dette kan føre til økt dødelighet blant unger. Både hval og isbjørn kan også få i seg

gift fra olje gjennom maten, i tillegg til at isbjørn kan finne på å vaske vekk olje fra pelsen sin ved å slikke det av (Øritsland et al. 1981), og kan på denne måten få i seg større mengder olje.

Larve- og eggstadier hos enkelte fiske- og fuglearter er også svært utsatte for gifteffekter fra olje. Dette er fordi individer i disse stadiene gjennomgår komplekse fysiologiske og biokjemiske forandringer som er svært sårbare for mange kjemikalier. Oljepåvirkning i disse stadiene kan blant annet føre til redusert vekst eller død.

Ikke-giftige skadelige effekter

Sjøfugl: Den største faren for fugl i kontakt med oljesøl er forurensning av fjærdrakten, som fører til tap av livsviktige termoregulerende egenskaper og flyteeenskaper. En slik fjærforurensning vil ofte føre til drukning eller ihjelfrysing. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere hvor mange fugler som kan dø under et oljeutslipp, da døde fugler på sjøen vil synke, og dermed ikke bli funnet. Derfor er antallet fugl som dør under oljeutslipp høyst sannsynlig underestimert.

Hvaler: Ettersom hvaler er avhengige av å komme opp til vannoverflaten for å puste, er de svært utsatte for direkte kontakt med oljesøl. Dette kan føre til at de blir mer eller mindre dekket av olje, noe som kan påvirke dyrenes svømmeegenskaper. Bardehvaler som filtrerer overflatevann vil være spesielt utsatte for oljesøl, da olje vil skade bardene og dermed filtreringsegenskapene til disse i tillegg til at olje kan bli svelget sammen med maten. I iskantsonen er grønlandshval den viktigste bardehvalen. Det er også et mye brukt habitat for tannhvaler som narhval og hvithval, hvor mye avhenger av tid på året. Det er også et faktum at miljøgifter finnes i høyere konsentrasjoner i de høyere trofiske nivåene, hvilket kan føre til fysiologisk stress og økt følsomhet for ytterligere forurensning. Dette gjelder spesielt for tannhvaler (Andersen et al. 2006, Wolkers et al. 2006). På samme måte som med sjøfugl er det vanskelig å estimere antall hvaler som dør som konsekvens av et oljeutslipp ettersom kadaverne vil synke til bunnen.

Isbjørn og sel: Isbjørnen er det eneste marine pattedyret i Arktis som er avhengig av pels for isolasjon hele livet. I tillegg gjelder dette for kvitunger av ringsel og grønlandssel. Oljesøl på pelsen reduserer pelsens isolasjonskapasitet og fører til energitap som følge av økt metabolisme for å holde varmen (Hurst & Øritsland 1982, Hurst et al. 1991). Voksne seler er ikke like avhengige av pelsens isolasjon som isbjørnen, og er i større grad utsatt for gifteffekter av oljeutslipp (se over).

Sårbarhet

Metode for vurdering av sårbarhet

I DNV-rapporten har det blitt opprettet sårbarhetsverdier for å bedre kunne vurdere sårbarheten til ressursene i et område. Disse har blitt samlet i en sårbarhetstabell der hver ressurs har blitt gitt en sårbarhetsverdi på månedlig basis. Denne verdien er basert på den fysiske sårbarheten, samt adferdsfaktorer som også kan påvirke sårbarheten for giftige og andre effekter av olje. Sårbarhetsverdiene går fra 1 som laveste til 3 som høyeste. I sårbarhetstabellen kan verdien også bli «0», noe som betyr at ressursen enten ikke er tilstede den måneden, eller at oljeeksponering er høyst usannsynlig. Verdien blir gitt på grunnlag av individuell fysiologisk sårbarhet for oljeforurensning som beskrevet i forrige avsnitt. I tillegg spiller også til sårbarhetsfaktorer på populasjonsnivå, som for eksempel sjeldenhet, adferdsmønstre som gjør det mindre sannsynlig at populasjonen blir utsatt for oljeforurensning, eller hvorvidt populasjonen vil bruke lang tid på å gjenoppbygge seg.

Sjøfugl: Når det gjelder sjøfugl blir de i sårbarhetsvurderingen delt opp i to grupper: de som dykker etter mat, og de som finner maten sin på overflaten. Dykkere bruker også overflaten til å komme seg

etter dykk, hvile seg og fordøye mat. Bortsett fra under storskala migrasjoner og hekking oppholder dykkerne seg stort sett på havoverflaten mesteparten av livet. Alle arter som inngår i denne gruppen har derfor en sårbarhetsverdi på 3 gjennom alle måneder. Av de sjøisassosierte artene tilhører polarlomvi og alkekonge denne gruppen. Overflatefugler enten svømmer, flyr eller svever over overflaten når de finner mat, og bruker vanligvis enten land eller isen til å hvile seg. Selv om all sjøfugl har en relativt høy risiko for å bli eksponert for oljesøl på vannflaten vil forskjellige tilpasninger til mating og hvile gjøre at det varierer noe mellom arter. Hvahest, krykkje, ismåke og polarmåke tilhører denne gruppen. Overflatefugler har vanligvis lavere sårbarhet for oljesøl i enkelte- eller alle måneder. Hekkeperioden regnes som en sårbar periode for alle fugler.

Selv om all sjøfugl har en relativt høy risiko for å bli eksponert for oljesøl på vannflaten vil forskjellige tilpasninger til furasjering og hvile gjøre at det varierer noe mellom arter. Overflatefugler har vanligvis lavere sårbarhet for oljesøl i enkelte- eller alle måneder. Hekkeperioden regnes som en sårbar periode for alle fugler.

Marine pattedyr: På nåværende tidspunkt er det flere kunnskapshull hva gjelder store migrasjonsmønstre, habitatkrav, fordeling og antall hos marine pattedyr. Grunnen til dette er delvis fordi feltarbeid og overvåking hovedsakelig foregår på sommeren, og mange arter har globale migrasjonsmønstre. I tillegg har flere arter blitt jaktet hardt på tidligere, og kunnskap om hvor fort gjenoppbyggingen av populasjonen går er mangelfull. Riktignok har forbedret overvåkingsutstyr og økt skipstrafikk gjort at det stadig blir gjort flere observasjoner av marine pattedyr.

I iskantsonener de vanligste selartene grønlandssel, klappmyss, ringsel, storkobbe og hvalross. De vanligste hvalartene er narhval, hvithval (beluga) og grønlandshval. I tillegg er blåhval, finnhval, knølhval, vågehval og spekkhogger vanlige sommergjester i iskantsonen.

Av pattedyrene anses isbjørnene som ekstremt sårbare hele året. Hvaler er gjennomgående noe sårbare, mens steinkobbe er veldig sårbare i juni og juli.

Isfauna: Isøkosystem består av dyr som hvert fall i perioder lever i den undersjøiske havisen (Lønne & Gulliksen 1991). Dette inkluderer blant annet flere krepsdyr, f.eks. *Gammarus wilkitzkii* og *Apherusa glacialis*, samt polartorsk. I rapporten til DNV understrekes det at det trengs mer data for å avgjøre mengden av oljeassosierte gifter som får dødelige konsekvenser for de forskjellige artene.

Havmiljø.no

Kriterier og metode

Ved vurdering av arts- og miljøårsaker, har kriteriesettet for Spesielt Miljøfølsomme Områder blitt benyttet. I tillegg har det blitt sett på hva slags kriterier International Panel on Climate Change (IPCC) har brukt i sin vurdering av sårbarhet for klimaendringer.

Når det gjelder kriterier for artssårbarhet er det brukt tre hovedkriterier: sannsynlighet for eksponering, sannsynlighet for skade gitt eksponering og skadenivå/konsekvens på overlevelse og reproduksjon. Hvert av disse kriteriene vurderes både på individ- og bestandsnivå. En samlet sårbarhetsvurdering er deretter laget, hvor bestandssårbarhet vektet dobbelt så mye som individsårbarhet fordi den anses som viktigere i forvaltningssammenheng. Maksimal sårbarhetsverdi er 100 % for individ, bestand og totalverdi, men i praksis vil man aldri oppnå en samlet verdi på 100 % fordi det alltid er en viss sannsynlighet for immigrasjon hos de vurderte artene. For flere arter er

det også gjort separate sårbarhetsvurderinger for spesifikke deler av året eller spesifikke habitater for arter som vandrer.

Langs iskanten er det moderat miljøfølsomhet for akutt oljeforurensing gjennom hele året, men spesielt sårbare perioder er mars, april og juli i Grønlandshavet, og juli, august, september og oktober flere steder langs kysten av Svalbard. For fisk er det moderat sårbarhet for akutt oljeforurensing langs østkysten av Svalbard i januar, februar og mars. Fra april øker den nordover fra Norskehavet, og august-desember er den stabilt moderat rundt sør-, vest- og nordkysten av Svalbard. I iskantsonen er sjøfugl mest sårbare for akutt oljeforurensing i april, mai, juni, juli, august, september, oktober og november.

Nedenfor følger en generell oppsummering av de artene i iskantsonen som er vurdert som mest sårbare innenfor forskjellige artsgrupper og naturtyper ved ulike påvirkninger i forbindelse med oljeutvinning.

Sårbarhetsvurderinger

Samlet sårbarhet for akutt forurensing: En rekke arter sjøfugl er ekstremt sårbare for akutt oljeforurensing de mest utsatte artene i iskantsonen er polarlomvi (88 %) og alkekonge (82 %). Blant sjøpattedyrene er det også mange sårbare arter, de mest sårbare er grønlandssel og hvalross, begge med samlet sårbarhet på 85 %. Av fiskearter er det relativt lave sårbarhetstall for artene som befinner seg i iskantsonen, da de fleste kun bruker området som beiteområde, og ikke som gyte- og oppvekstsområde. Gytebestanden av polartorsk har en sårbarhet på 40 %, mens loddebestanden utenfor gyting har en sårbarhet på 34 %.

Fysiske påvirkninger som følge av faste installasjoner i forbindelse med oljeutvinning kan føre til endringer i lysforhold (for eksempel ved skyggelegging eller opplysning), strømforhold (hastighet eller større endringer som kan påvirke sjikting), nye fysiske barrierer, tap av areal eller endringer i substrat, fare for kollisjoner mellom organismer (primært fugl, fisk og marine pattedyr) og installasjoner som oljeplattformer, vindmøller eller offshore oppdrettsanlegg. Fysiske barrierer kan føre til at arters naturlige bevegelsesmønstre blir påvirket og kan i verste fall hindre forflytning i forbindelse med hvileområder, forplantning og næringsinntak. Også arters regionale og globale forflytning kan bli påvirket.

For fisk er det polartorsk under gyting som har høyest sårbarhet (28 %). Blant sjøfugl er det polarlomvi (63 %) og krykkje (60 %) på åpent hav i april-september som er mest sårbare for oljeforurensing. Av naturtyper er det korallskog (78 %) og korallrev (67 %) som er mest sårbare for fysiske påvirkninger. Sjøpattedyrs sårbarhet for faste fysiske installasjoner er størst for steinkobbe (66 %).

Undersjøisk støy: Påvirkning fra undersjøisk støy er relatert til en økning av lydeksponering (menneskeskapt) over bakgrunnsnivå (naturlige lyder). Gjennom lyd, trykk og vibrasjoner vil undersjøisk støy påvirke på forskjellig måte avhengig av art. Støypåvirkning er også avhengig av faktorer som lydtrykk, lydstyrke, eksponeringsnivå og frekvens. Enkelte arter er mest sensitive for selve lyden, mens andre kan bli påvirket av assosierte bevegelser i større grad. Lyd kan bevege seg over store avstander under vann, opptil flere titalls kilometer. Fysiske faktorer som dyp og bunntopografi er avgjørende når det gjelder hvor fort lyden blir redusert i vannet. Støy kan påvirke marin fauna ved å føre til hørselstap, ubehag og skade, reaksjon, maskering og deteksjon (Richardson et al. 1995). Det er hovedsakelig fugl og marine pattedyr som blir påvirket av undersjøisk støy. Dette

gjelder spesielt støy fra konstruksjonsaktivitet, som normalt er høyere enn lyd som stammer fra operasjonell virksomhet. I tillegg kan noen arter være mer sensitive for assosierte bevegelser enn for selve lydstyrken. Av fisk i iskantsonen er det polartorsk under gyting som har høyest sårbarhet (25 %). For fugler er alkekonge (57 %), krykkje (56 %) og polarlomvi (63 %). For sjøpattedyr er det ikke vurdert samlet sårbarhet i områdene ved Svalbard, men av de som er vurdert for norskekysten er det steinkobbe som har høyest samlet sårbarhet med 72 %. I tillegg har grønlandssel og klappmyss, 40 % i samlet sårbarhet.

Midlertidige fysiske påvirkninger kan være endringer i sedimentstruktur (f.eks. ved mudring eller tråling), sedimentering eller turbiditet (f.eks. ved rørlegging og konstruksjonsvirksomhet), og lokale fysiske forstyrrelser. Sjøfugl som polarlomvi (fisk og krepsdyr) vil i størst grad være sårbare for slike midlertidige fysiske påvirkninger. Dette gjelder all fugl som lever av fisk eller bunnlevende dyr som krepsdyr og muslinger.

Miljøgifter

Arktis er spesielt utsatt for miljøgifter fordi transport av miljøgifter fra sørligere breddegrader ender opp i Arktis i løpet av bare noen dager. De kommer som gasser, eller fester seg til partikler i lufta og blir på den måten fraktet via atmosfæren. Når de når Arktis vil stoffene vanligvis kondensere som effekt av de lave temperaturene, og avsatt bl.a. i havet. Miljøgifter kan også bli transportert oppover via havstrømmer, men denne prosessen kan ta flere år. Transport via havstrømmer ender enten opp i Barentshavet eller i Framstredet. Det er langtransporterte miljøgifter som er hovedkilden til forurensing i Arktis.

De vanligste miljøgiftene er enten tungmetaller som kvikksølv, eller persistente organiske forurensinger (Persistent Organic Pollutants – POPs), som er en samlebetegnelse for en rekke kjemiske stoffer som stammer fra forskjellige typer industri.

Generelt sett er det målt lave nivåer av miljøgifter og radioaktive stoffer i det arktiske miljøet siden 2006, med unntak av artene på de øverste trofiske nivåene som isbjørn, sjøfugl og sel, samt fisk som lever på store dyp og når høy alder. Tannhvaler kan også få høye nivåer av miljøgifter gjennom maten, og fordi de er dårlige til å bryte ned disse stoffene kan nivåene av mange forurensningsstoffer være høyere enn i arter som er høyere opp i næringskjeden, f.eks. isbjørn (St. Aubin 1990). Nivåene av POPs og kvikksølv i det marine miljø har vist seg å være høyere enn i det terrestriske miljø, sannsynligvis grunnet lengre marine næringskjeder som fører til økt biomagnifisering. Det er dyrene på de høyere trofiske nivåene som akkumulerer mest fettløselige miljøgifter. I Arktis er fettlag nemlig svært viktig både som opplagsnæring og som isolasjon mot kulda, og derfor er dyrene i disse kalde miljøene spesielt utsatt for fettløselige miljøgifter.

I iskantsonen er risikoen for skader fra forurensing høy. Dette kommer til dels av at miljøgifter som blir fraktet nordover med havstrømmer eller atmosfæren, deretter kan bli inkorporert i havisen i området. Dermed vil mange av disse miljøgiftene kunne ha hopet seg opp i isen, og blir frigitt under ismeltingen. De vil da kunne bli tatt opp i marine organismer, og bioakkumulert oppover i næringskjeden. I tillegg tar det lengre tid å bryte ned miljøgifter i arktiske strøk grunnet den kalde temperaturen. Mange av de spesielt utsatte organismene har livsstrategier som innebærer fasting gjennom deler av året. For disse vil de fettløselige miljøgiftene bli biologiske tilgjengelige når kroppen tærer på de oppsamlede fettlagene i dyret. Mange arter er ekstra sårbare i de periodene de oppholder seg i iskantsonen, ettersom de har et høyt inntak av næring i disse periodene, for eksempel unger som dier.

Sot

Utslipp av sot fra skip er en forurensing som kan ha stor påvirkning i Arktis, mest kjent som Black Carbon. Soten vil ved å dekke snø- og isdekte områder kunne redusere den reflekterende albedo-effekten i disse områdene. Mørk farge vil isteden føre til en større grad av absorbering av lysenergien, og dermed være med på å øke hastigheten på klimaeffekten ved økt oppvarming og ismelting i Arktis. En mer detaljert beskrivelse av ismelting som følge av redusert albedoeffekt finnes under beskrivelsen av sårbarhet for klimaendringer.

Plast

Plastforsøpling i havet har de siste årene blitt et stort globalt tema. Både større plastbiter, plastposer etc. og mikroplast kan føre til skade på individer og bestander.

Det er effekten av mikroplast som de siste årene har fått økende oppmerksomhet. Små, delvis nedbrutte partikler av plast – vanligvis mindre enn fem millimeter i diameter (Barnes et al. 2009) – har blitt et økende internasjonalt problem. Disse små partiklene blir ikke fanget opp av renseanlegg, men kan derimot bli tatt opp av marine organismer og kan påvirke både plankton, filtrerende bunndyr, fisk, bardehvaler og sjøfugl, enten direkte eller ved opphopning oppover i næringskjeden. Det er svært viktig å vite mer om disse interaksjonene og hvorvidt funnene vil representere en til nå ukjent risiko for trygg sjømat. Plast kan også ta opp miljøgifter, og plastforurensing kan dermed overføre giftige stoffer til organismene. I tillegg kan større plastobjekter som driver med havstrømmene frakte fremmede arter som sitter fast eller vokser på disse.

Også arter som finner mat på havoverflaten er svært sårbare for plastforsøpling. Dette skyldes at de kan komme til å svelge mye plast som stopper til mage- og tarmsystemene deres og til slutt fører til død ved ihjelsulting. Eksempler på slike utsatte arter er ismåke, krykkje og havhest, alle arter som kan forekomme i iskantsonen. Det konkrete omfanget av plastproblemer i Barentshavet og Arktis for øvrig er foreløpig lite kjent.

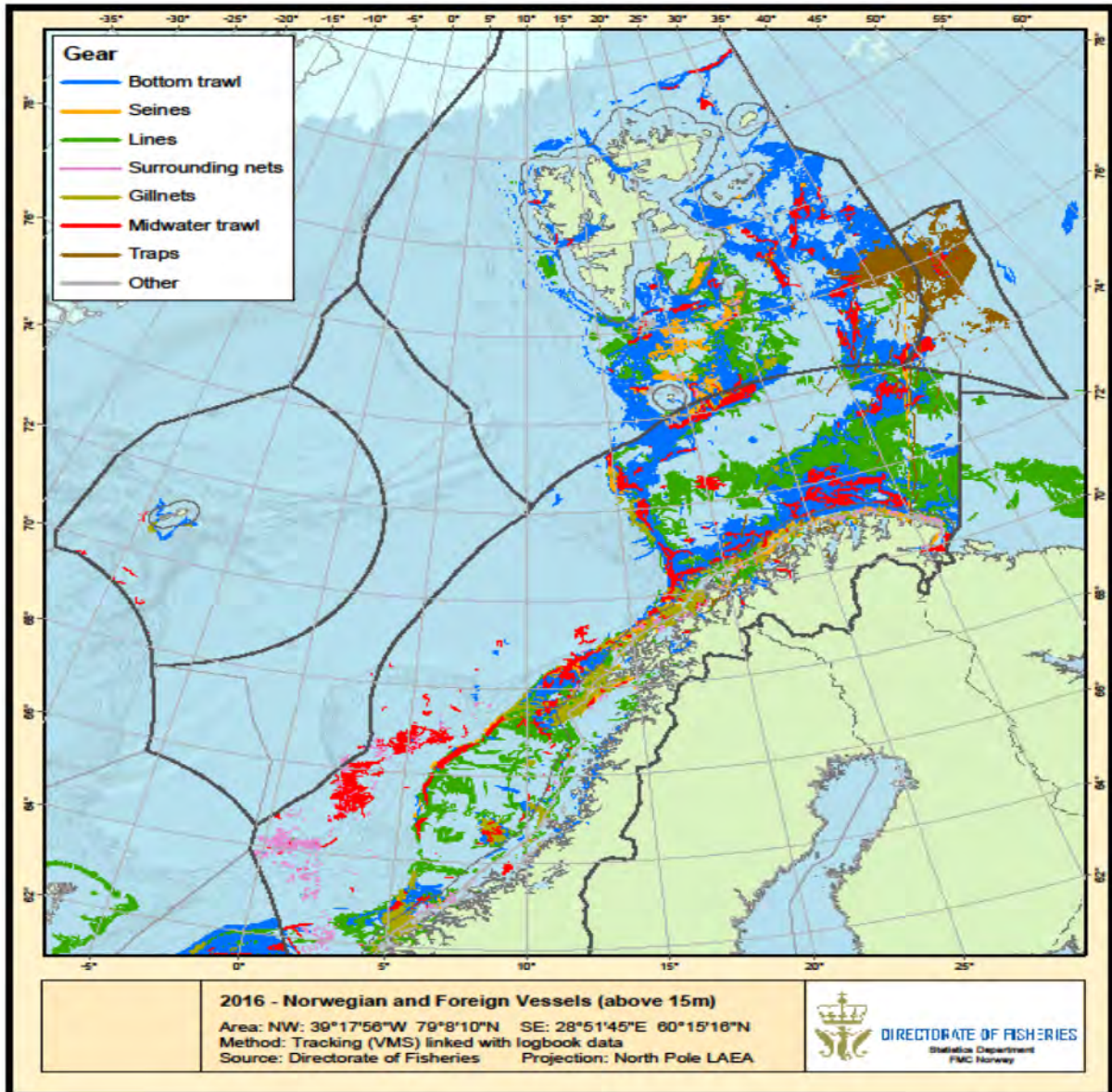
Plastforurensing er den mest veldokumenterte miljøforandringen de siste 20-30 år. Det er estimert at omtrent 12,7 millioner tonn plastiksøppel havner i havet hvert år (Jambeck et al. 2015).

Fiskeri

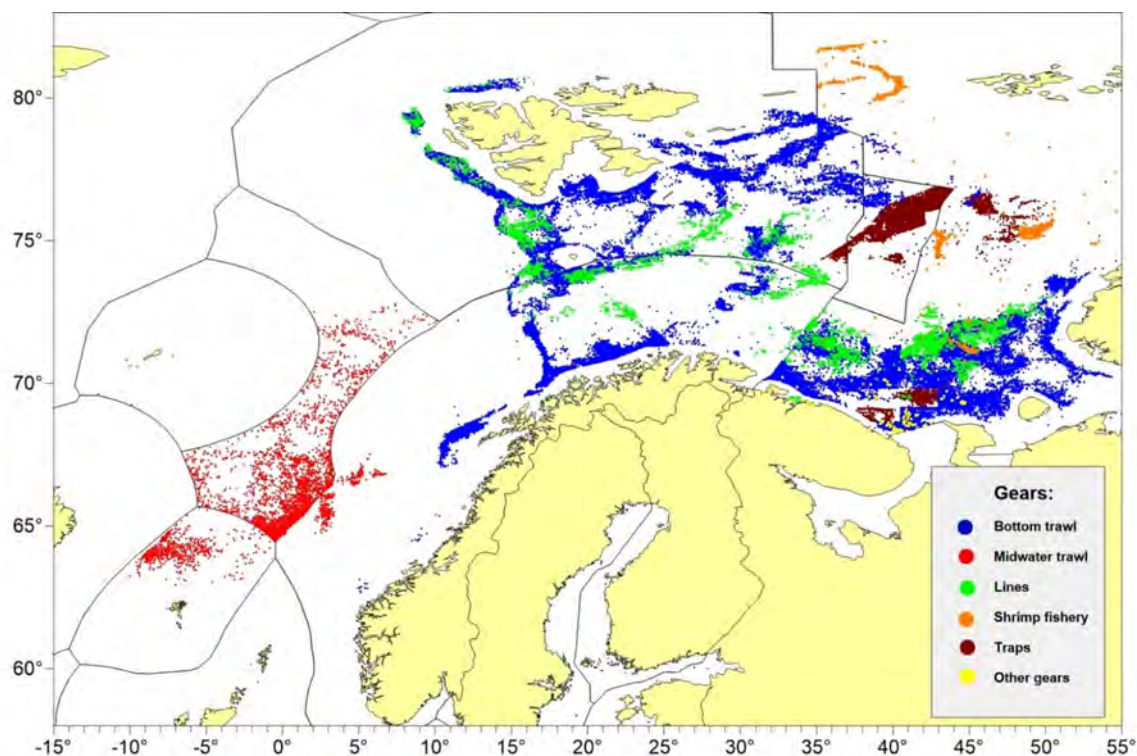
Det er ikke mye fiskeri i selve iskantsonen, men det kan være det i områder som også omfatter iskantsonen deler av året. I takt med klimaendringene i havet har flere arter begynt å migrere nordover, og fortsetter disse trendene vil fiskeriaktiviteten i nordligere områder høyst sannsynlig også øke i løpet av kort tid. Derfor har det i flere tilfeller blitt satt nullkvote på kommersielt fiske frem til bestanden har stabilisert seg. Et eksempel er loddebestanden i Barentshavet mellom 2004 og 2008, samt fra og med 2016.

Fiskeri er regulert både med kvoter og med tekniske reguleringer som stengte områder, minstemål og redskapsrestriksjoner. På grunn av naturlige svingninger i fiskepopulasjoner settes kvoter vanligvis årlig. I tillegg til fiskeri, påvirkes fiskebestander av bl.a. predasjon, klimaendringer, migrasjon og sykdommer. Bunntåling kan også ha skadelige effekter på bentiske samfunn, spesielt korallrev og svamptamfunn. Det jobbes stadig med å utvikle fiskeredskaper som er mer skånsomme mot disse habitatene. Både fugler og marine pattedyr kan i tillegg bli påvirket gjennom bifangst, forurensing og forsøpling. En siste potensiell påvirkning av fiske er forurensing i forbindelse med ulykker.

Mange reketrålfelt ligger slik til at fisket i perioder av året foregår nær iskantsonen. Også torskefiske foregår her. Figur 1 og 2 viser hvor ulike typer fiskeri foregikk i 2016.



Figur 1. Lokalisering av norsk og utenlandsk fiskeriaktivitet fra kommersiell flåte (båter større enn 15 m total lengde) og fiskefartøy brukt i forskningsøyemed i 2016, som rapportert (VMS) til norske myndigheter. VMS-data er koblet med loggbok-data. (Kilde: Fiskeridirektoratet).



Figur 2. Lokalisering av russisk og utenlandsk fiskeriaktivitet fra kommersiell flåte og fiskefartøy brukt i forskningsøyemed i 2016, som rapportert (VMS) til russiske myndigheter. VMS-data er koblet med loggbok-data (kilde: PINRO fiskeristatistikkdatabase).

Samlet belastning

Den samlede belastningen fra alle disse påvirkningsfaktorene vil kunne få større betydning for sårbare økosystemer enn hver faktor hver for seg. Arter som blir utsatt for større press på grunn av klimaendringer som tap av isdekke vil også bli mer sårbare for miljøgifter. Det finnes for lite kunnskap om den samlede effekten av flere miljøgifter, og miljøgifter i kombinasjon med havforsuring og/eller klimaendringer.

4.3.2.3 Lavere trofiske nivå

Reports on the effects of climate change and other anthropogenic stressors on Arctic marine ecosystems are scant, especially for lower trophic levels ranging from ice algae and phytoplankton to ice fauna and macrozooplankton (Wassmann et al. 2011). Furthermore the combined effects of a wide range of stressors (multiple stressors) at the species, population or community level can be additive, synergistic or antagonistic (Crain et al. 2008) limiting extrapolation from single-stressor studies. Given these limitations we have refrained from applying a scaling scheme to rank the vulnerability of lower trophic levels to environmental stressors and followed a more descriptive approach based on the available literature.

Climate change

One of the most prominent manifestations of climate change is the decline in Arctic sea ice extent (both in time and space) and thickness (shift from thick multi-year ice (MYI) to thinner first-year ice (FYI)). Most of the sea ice loss can be attributed to atmospheric warming but the increased inflow of warm Atlantic Water masses ("atlantification") into the eastern European Basin of the Arctic Ocean

seems to have an equally important role for the observed sea ice decline in the Barents Sea (Barber et al. 2015; Polyakov et al. 2017). This change in the Arctic “icescape” results in increased light availability for phytoplankton growth as a result of the larger and longer open water fraction (Barber et al. 2015), a thinner and more transparent ice cover (Nicolaus et al. 2013) and a subsequent increase in Arctic pelagic primary production (Arrigo & van Dijken 2015). The changes will be particularly pronounced in areas affected by the marginal ice zone (MIZ) and a shift in phytoplankton bloom initiation further into ice-covered waters seems likely to arise (see Figur 7 in Barber et al. 2015). In fact, substantial under-ice blooms have been recently documented under the first-year ice covered with melt ponds from the Chukchi Sea and the Canadian Arctic Archipelago (Arrigo et al. 2012; Mundy et al. 2009, 2014) and snow-covered sea ice with a high lead fraction north of Svalbard (Assmy et al. 2017). Modelling results show that light conditions conducive to under-ice phytoplankton blooms have significantly increased over the last 30 years (Horvat et al. 2017) suggesting that these phenomena might become increasingly important and that satellite-based Arctic annual primary production estimates may be significantly underestimated by not accounting for primary production below ice-covered areas of the Arctic Ocean. This positive response in phytoplankton production to climate change is however constrained by the limited nutrient inventory of the Arctic Ocean which might be further exaggerated by the observed freshening and thus stratification of the Arctic Ocean surface layer. Indeed, freshening of surface waters in the Canada Basin has resulted in nutrient impoverishment and a subsequent shift towards smallest algae (picophytoplankton <2 µm) with potentially negative effects on energy transfer to higher trophic levels (harvesting) and carbon burial in the deep ocean (sequestration) (Li et al. 2009). However, the opposite is likely true for the eastern European Basin because the observed “atlantification” will result in weakened stratification and increased vertical mixing, thus increased nutrient supply (Polyakov et al. 2017). This “atlantification” is also accompanied by range expansions of North Atlantic phytoplankton such as the coccolithophore *Emiliania huxleyi* and oceanic diatoms such as *Chaetoceros atlanticus* along the shelf break north of Svalbard (Hegseth & Sundfjord 2008), an increased frequency of coccolithophore blooms in the Barents Sea (Smyth et al. 2004), shifts in dominant copepods from Arctic (*Calanus glacialis*) towards more Atlantic (*C. finmarchicus* and smaller copepods such as *Oithona*) species with lower energy content (Hop et al. 2006; Weydmann et al. 2014), shifts in dominant amphipods from Arctic (*Themisto libellula*) towards more Atlantic (*Themisto abyssorum* and *Themisto compressa*) species (Kraft et al. 2013; Dalpadado et al. 2016) and significant increases in macrozooplankton stocks, in particular krill, in the Barents Sea since the 1990’s (Eriksen et al. 2017). Model runs suggest that increased warming may force the Arctic shelf copepod species, *C. glacialis*, out of the Barents Sea as well as the western Fram Strait (Slagstad et al. 2011). There seems to be a general increase in the importance of *Phaeocystis* in waters around Svalbard in recent years relative to diatoms (Lasternas & Agusti 2010; Lalande et al. 2013; Nöthig et al. 2015; Assmy et al. 2017) which could be related to the observed long-term decline in silicic acid concentrations, for which diatoms have an obligate demand, in the Barents Sea (Rey 2012) and the “atlantification” of the Barents Sea (Polyakov et al. 2017) since *Phaeocystis* is associated with Atlantic water masses (Metfies et al. 2016). Thus, any major shifts in phytoplankton spring bloom composition might have far reaching consequences for energy transfer in pelagic food webs and the strength of pelagic-benthic coupling. The species composition of under-ice phytoplankton blooms also differed depending on the prevailing light regime. Phytoplankton blooms observed under transparent sea ice with extensive melt pond coverage in the Chukchi Sea (Arrigo et al. 2012) and Canadian Arctic (Mundy et al. 2009) were dominated by diatoms while the bloom observed under snow-covered, opaque sea ice north of Svalbard was facilitated by extensive leads in the dynamic ice cover and dominated by *Phaeocystis pouchetii* (Assmy et al. 2017). Trans-Arctic invasion of the North Pacific pelagic diatom *Neodenticula seminae* into the Labrador Sea (Reid et al. 2007) and Nordic Seas

including Fram Strait (Miettinen et al. 2013) after a 800.000 year absence from the Atlantic sector of the Arctic Ocean is another sign of the recent episode of climate warming (Reid et al. 2008). Ballast water was deemed an unlikely source of this species into the Nordic Seas (Reid et al. 2007). Another aspect of the so called “atlantification” is the increased occurrence of phytoplankton autumn blooms in the Arctic Ocean as a direct consequence of enhanced vertical mixing resulting in a later sea ice freeze-up (Ardyna et al. 2014).

Advection of warm Atlantic Water into the southern and central Barents Sea and northwest of Svalbard will facilitate ice algal ablation and constrain the ice algal growth season and thereby limit the establishment of high algal biomass in the bottom of sea ice. This is corroborated by the generally lower ice-algal standing stocks in the Atlantic-influenced Barents Sea compared to the Canadian Arctic Archipelago and the Pacific sector of the Arctic Ocean (Barber et al. 2015). Further “atlantification” of the eastern European Arctic (Polyakov et al. 2017) will likely also have a negative effect on ice-algal standing stocks in the northern Barents Sea and northeast of Svalbard. Furthermore the loss of multi-year ice in the eastern European Arctic might compromise the seeding potential of some ice-algal species (Olsen et al. 2017) and some ice algae might be particularly negatively affected by advection of Atlantic water masses as intact cells of *Melosira arctica* were frequently observed in the northern Laptev Sea and in the Central Arctic but were nearly absent from the region north of Fram Strait (Lalande et al. 2014). Thus, changes in ice algal production and the deterioration of the sea ice habitat associated with the shift from MYI to FYI could have negative effects on higher trophic levels of the ice-associated ecosystem (Lange et al. 2017). Ice algal biomarkers suggest that the diet of ice-associated amphipods in the southern Nansen Basin north of Svalbard is largely dominated by ice algae (Brown et al. 2017) which likely explains the observed long-term decline in ice amphipod abundance north of Svalbard (Barber et al. 2015). In the new FYI regime in the MIZ of the northern Barents Sea pressure ridges will represent the most important structural habitat for ice-associated fauna, particularly during the summer melt season (Hop et al. 2000).

The recent thinning and earlier retreat of the ice cover may lead to shifts in the timing of ice-algal and phytoplankton blooms. The commencement of the bottom ice algal bloom (limited by insolation) is likely going to shift little in time while the phytoplankton bloom will likely shift towards an earlier timing (Ji et al. 2013) which is corroborated by the predicted increase and temporal advancement of under-ice blooms (Horvat et al. 2017). This differential response in bloom timing might result in a decreased time-lag between both bloom events (Ji et al. 2013), with potential consequences for the reproductive success of zooplankton that have geared their reproductive strategy to the timing of the two bloom events (Søreide et al. 2010).

Table 1. Vulnerability of lower trophic levels to decline in sea ice extent and thickness.

	Low vulnerability	Medium vulnerability	High vulnerability
Ice algae			X
Ice-associated amphipods			X
Zooplankton		X	
Phytoplankton	X		

Ocean acidification

The effects of ocean acidification are particularly pronounced in Arctic marine ecosystem due to the enhanced uptake of anthropogenic CO₂ in cold polar waters in combination with the reduced

buffering capacity of the relatively fresh surface waters of the Arctic Ocean. In particular calcifying organisms are prone to ocean acidification as their ability to form calcium carbonate shells is compromised in more corrosive waters. The pteropod *Limacina helicina* is especially vulnerable because it forms shells of aragonite, a form of calcium carbonate most sensitive to ocean acidification, and the seasonal minimum in aragonite saturation state in Kongsfjorden, Svalbard is already close to the critical threshold for aragonite-forming organisms (Fransson et al. 2016) as reflected in thinner or malformed shells. Further reduction in aragonite saturation state might compromise Arctic populations of *L. helicina* which is an important food item for higher trophic organisms in the Arctic Ocean (Karnovsky et al. 2008). Two other important groups of planktonic calcifiers potentially negatively affected by ocean acidification are the coccolithophores and foraminifera belonging to the phytoplankton and protozooplankton respectively. However, the observed increase in coccolithophore blooms in the Barent Sea (Smyth et al. 2004) seems to indicate that potentially negative effects of ocean acidification are compensated by the warming trend which seems to favor growth of these species. It needs to be noted that coccolithophores are not a prominent component of the phytoplankton assemblage in the MIZ and that blooms are restricted to the southern and central Barents Sea (Smyth et al. 2004) and Atlantic-influenced waters north of Svalbard (Hegseth & Sundfjord 2008). Ocean acidification effects are not restricted to calcifying organisms because metabolic processes and cell homeostasis can also be negatively affected by changes in CO₂. The dominant Arctic coastal diatoms seem to be quite “resilient” to warming and ocean acidification (Clara Hoppe personal communication). The large genotypic plasticity of these species seems to entail some buffering capacity within the population across a range of environmental conditions (Clara Hoppe personal communication). On the other hand mesocosm experiments in Kongsfjorden, Svalbard have shown a shift towards smaller phytoplankton under higher CO₂ treatments (Brussard et al. 2013) which could have indirect negative effects on e.g. copepod grazers which are not efficient in feeding on picoplankton. The large *Calanus* copepods themselves show only minor responses to high CO₂ conditions, with early life stages of *Calanus glacialis* (Bailey et al. 2016) as well as late copepodite stages and females of *C. glacialis* and *Calanus hyperboreus* (Hildebrandt et al. 2014) unaffected by extended exposure to future high levels of CO₂. It has, however, been shown that metabolic costs for growth in young copepodites of *C. glacialis* seems to be significantly increased under high pCO₂ scenarios in short term experiments (Thor et al. 2016) which might compromise individual fitness of the organisms. Differences in susceptibility to ocean acidification between *C. glacialis* populations in different parts of the Arctic might indicate an ability to gain tolerance to low pH over time as well as act as a “buffer” for the species’ population as a whole (Thor et al. in revision). The resilience of large *Calanus* species to ocean acidification may arise because these species experience a large gradient in CO₂ during their daily and seasonal vertical migrations, while smaller copepods which remain in surface waters, such as *Oithona*, have been found to be more sensitive to high CO₂ levels (Lewis et al. 2013).

Table 2. Vulnerability of lower trophic levels to ocean acidification.

	Low vulnerability	Medium vulnerability	High vulnerability
Pteropods			X
Coccolithophores		X	
Copepods	X		
Coastal diatoms	X		

Støy

Underwater noise is not of particular relevance for lower trophic levels.

Sot

The effect of soot on lower trophic levels is mainly indirect through changes in sea ice and snow albedo which alter light transmission through the ice cover and melt onset.

Plast

Marine plastic pollution is a problem of global dimension (Eriksen et al. 2014) and the Arctic Ocean acts as a dead end for floating plastic originating from the North Atlantic (Cozar et al. 2017). In particular the Barents Sea seems to be a hotspot for plastic accumulation (Cozar et al. 2017) which seems to conform with plastic ingestion by northern fulmars from Svalbard that have already been reported to exceed the recommendations for an acceptable ecological status (Trevail et al. 2015). Microplastic ingestion by zooplankton from lower latitudes has been shown to negatively impact zooplankton function and health (Cole et al. 2013) and impede feeding in copepods (Cole et al. 2015). To our knowledge there is no information on microplastic ingestion by lower trophic levels from the Arctic Ocean, but sea ice acts as a concentrating mechanism for microplastics (Obbard et al. 2014) and thus the MIZ of the Barents Sea might be a particularly vulnerable place for plastic pollution when ice-associated plastic is released into the water column during the melt season. The MIZ is an area of intense production and feeding activities and potentially an accumulation area for microplastics which could make the MIZ a hotspot for microplastic being channeled up the food web.

Concluding remarks

- The on-going “atlantification” of the Barents Sea and Arctic Ocean north of Svalbard accompanied by a decline in sea ice extent and thickness will likely result in reduced ice-algal standing stocks and area production with negative consequences for the entire ice-associated ecosystem.
- Increased advection and production of boreal species will likely result in increased pelagic production at the expense of Arctic species.
- Under-ice phytoplankton blooms are likely going to become more frequent under the thinner, more dynamic and more transparent ice regime with potential consequences for the marine food web and the carbon cycle.
- Vulnerability to ocean acidification varies considerably among groups of organisms, ranging from highly resilient to highly sensitive.

Knowledge gaps

- The Barents Sea is likely going to be a hot spot for plastic pollution but there is virtually nothing known about the effects of microplastic on Arctic marine lower trophic levels.
- In general, the record of climate change effects and other anthropogenic stressors on Arctic lower trophic levels is very scant.
- Important to invest on remote sensing research and techniques allowing for a higher resolution of sea ice concentration and ice and snow thickness data. Current satellite products have a coarse resolution (several km) and do not allow but a limited quantification of ice thickness (both temporarily and spatially).
- Need to develop autonomous platforms and remote sensing techniques for evaluation of sea-ice algal biomass and production as well as sub-ice phytoplankton production.
- Physical, chemical and biological data needed from the central Arctic Ocean basins, to provide longer time series for evaluation of temporal trends and validation of coupled physical-biogeochemical models. These data should cover abundances and biomasses of all trophic levels.
- Similar data needs from the main gateways to/from the Arctic Ocean, such as the Fram Strait, for proper model forcing.

- Need for an improved knowledge of the physiology, ecology and life cycle strategies of the dominant plankton taxa and sea ice biota.
- Need for better model parameterizations of biogeochemical processes based on properly designed ecophysiological experiments with Arctic species.
- Need to integrate higher trophic levels in coupled physical-biogeochemical models to properly quantify the effects of the trends discussed above on the whole ecosystem.
- Important to seek for innovative modeling approaches based on best available knowledge.

4.3.2.4 Bunndyr

Havforsuring

Det kan oppstå effekter av havforsuring på skallbærende arter, og en mulig endring av populasjoner. Sjøsneglene svarer med å bli en mindre versjon av seg selv når de utsettes for stress, for eksempel problemer med skalldannelsen på grunn av høye nivåer av CO₂ (Garilli et al. 2015).

Larver av kamskjell og blåskjell reagerer negativt på surere hav og flere studier viser at havforsuring har negativ effekt på koraller, kråkeboller og nakensnegler. Felles for alle disse dyrene er at de har et frittlevende larvestadium (Andersen et al. 2013).

Støy

Ingen relevans for benthos.

Petroleumsvirksomhet

Fjorten år etter Exxon Valdez Oljespillet i Alaska ble det stadig rapportert et uventet høyt gift nivå på kysten som fortsetter å påvirke populasjoner og reetablering (Peterson et al 2003). Hvordan oljesøl kan påvirke havbunnen i dyphavet er mer uvisst, men oljeforurensning reduserer hyppigheten og diversiteten av bunnsamfunn (Teal & Howard 1984), og reetableringsraten i dyphavet tar tiår om ikke mer (Montagna et al. 2013).

Miljøgifter (fra Oug (2013) og kilder deri)

Miljøgifter som foreligger i løst form vil lett kunne opptas i organismer, mens miljøgifter som er sterkt bundet til partikler i mindre grad opptas, dvs. at de har lav biotilgjengelighet. I sedimentene kan fordelingen av miljøgifter mellom sedimentpartikler og porevann uttrykkes ved såkalt likevektsfordeling. Forsøk har vist at målte konsentrasjoner av organiske miljøgifter i porevann (løst fraksjon) synes å være bedre relatert til akkumulering i flerbørstemark (*Hediste diversicolor*) og snegl (*Nassarius reticulatus*) enn totale konsentrasjoner i helt sediment. Visse typer av organisk karbon, som sot, kan binde miljøgifter sterkt (høye bindingskoeffisienter) som fører til lave konsentrasjoner i porevann og lavere tilgjengelighet for opptak i sedimentlevende organismer. To viktige parametere for biotilgjengeligheten av miljøgifter er frie oppløste porevannskonsentrasjoner og den "raskt desorberende fraksjon" av miljøgiftene i. I tillegg kan det være av betydning om organismene "spiser" sediment eller ikke. Et annet forhold av betydning er at miljøgifter kan opptas i organismer uten at dette har letale effekter og derved heller ikke fører til endringer i artssammensetning. Det er også mulig at organismer unnviker forurenset sediment og at det måles en lavere biologisk effekt enn det som predikeres ut fra totale sedimentkonsentrasjoner av miljøgifter. Dette betyr i praksis et misforhold mellom konsentrasjoner og de endringer som registreres i sammensetningen av organismesamfunnet. Det har ikke alltid kunnet bli påvist noe klart samsvar mellom sedimentkonsentrasjoner og opptak i organismer. Dette kan dels ha sin årsak i hvorvidt stoffene foreligger i en form som gjør at de kan bli tatt opp i organismer (biotilgjengelighet) og dels i hvilken

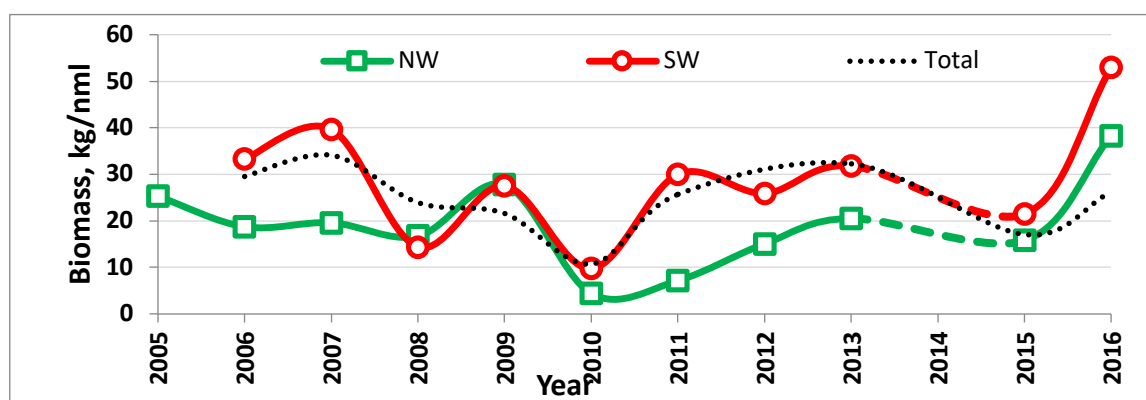
grad stoffene «hopes opp» i organismene (bioakkumulering). Med hensyn til opptak i organismer kan økt desorpsjon (og biotilgjengelighet) av forurensninger fra partikler på grunn av fordøyelsesvæsker i tarmen være viktig. For eksempel har fordøyelsesvæsker hos sedimentetende arter ('deposit feeders') forhøyet enzym-aktivitet, høyt innhold av organiske kolloider og sterke overflateaktive egenskaper som påvirker løseligheten av PAH.

Plast

Plast og annet søppel beveger seg fra land og kystsoner langs kontinentalsokler og ender opp på havets bunn (Pham et al. 2014). Plast på havbunnen kan skape nye habitater for bunndyr. Laborietorieforsøk har også påvist mikroplast i marine organismer, og virkningene har vært negative. Forsøk med blåskjell har vist at partiklene går inn i sirkulasjonssystemet og kan bli der i mer enn 48 timer. Dette induserte en sterk immunologisk respons.

Klimaendringer

Tidligere undersøkelser viser at artssammensetning og mengden av benthos er tilpasset meso-pelagiske prosesser (Ambrose & Renaud 1995, Piepenburg et al. 1997), og den pelagisk-bentiske koblingen i Arktis er derfor viktig for benthos. En reduksjon av havis kan derfor ha en dramatisk effekt på timing, omfang og romlig fordeling av stilleknyttet og pelagisk primær produksjon, og som et resultat av dette, tilgangen av denne fødekilde til de pelagiske og bentiske konsumentene (Carroll & Carroll 2003; Hansen et al. 2003; Grebmeier et al. 2006; Wassmann et al. 2006). Stor biomasse av benthos nord-øst for Svalbard blir forklart med fødetilgang av isalger (Søreide et al. 2013). Flerårsis kan danne tette matter av isalger på undersiden, som synker fort gjennom vannet og ender opp som aggregeringer på havbunnen. Her blir de tilgjengelig for benthos (McMahon et al. 2006). Når isen forsvinner vil dette ha en effekt på både de pelagiske og de bunnlevende samfunnene, og opportunistiske arter, som kan tilpasse seg en endring fra tilgang på fersk føde fra havisen til degradert pelagisk detritus, vil bli favorisert (Sun et al. 2009). Dette gjør at arktiske samfunn bli mer likt samfunn i Atlanterhavsvann (Wassmann et al. 2011), og benthos-biomasse på den arktiske sokkelen vil bli redusert (Carroll & Ambrose 2012; Søreide et al. 2013). Endringer i biomasse som følge av redusert havis, kan derfor være en mulig konsekvens for megabenthosamfunnet. Når området sør for 74°N (rød linje i figur 1) sammenlignes med området nord for (grønn linje i figur 1) perioden 2005-2016 er den gjennomsnittlige biomassen høyst i sør, og begge områdene ser ut til å øke synkront i biomasse. Det er derfor ikke mulig å si noen om sammenhengen mellom havis og biomasse basert på denne korte overvåkningsperioden.



Figur 1. Gjennomsnittlig biomassefluktasjoner i sørvest (SW, rød, alle svampefangster <1T er ekskludert) og i nordvest (NW, grønn) fra 2005-2016. Den prikkede linjen er gjennomsnittlig biomasse for hele Barentshavet. **NW**=74-80°N og 15-40°E, men alle stasjoner vest og nord for Svalbard er ekskludert, **SW**=65-74°N og 10-40°E. (Kilde: WGIBAR, ICES 2016).

Hvorvidt den totale biomassen (Figur 1, stiplet linje) vil endre seg i denne overgangen er vanskelig å predikere, da det er flere miljøforhold enn havis (for eksempel strøm og substrat) som gjør seg gjeldende for å få en aggregering av megabentisk biomasse.

I Barentshavet kan minkende havis muligens også påvirke de megabentiske grupperingene (ikke bare biomasse), hvor både type mat (bl.a. fra is eller ikke) og temperatur kan spille inn. Dette kan eventuelt føre til at de nordlige samfunn kan bli mer boreale og av samme type som samfunn i områder som aldri er isdekket. Dette kan forventes å skje i det geografiske området som skiller det boreale samfunnet (Rødt i figur 2, kap. 4.3.1.2) venstre) fra «overgangssamfunnene» (Gult og grønt i figur 2, kap. 4.3.1.2 venstre). Megabenthossamfunnets gjennomsnittlige temperaturpreferanse vil forventes å bli høyere og toleransen for variasjon bredere (Lysgrønt i figur 2, kap. 4.3.1.2 midt og høyre). Slike trender er observert i de sentrale delene av Barentshavet (Jørgensen et al. in prep.) og tyder på at en «borelisering» er på gang i dette område.

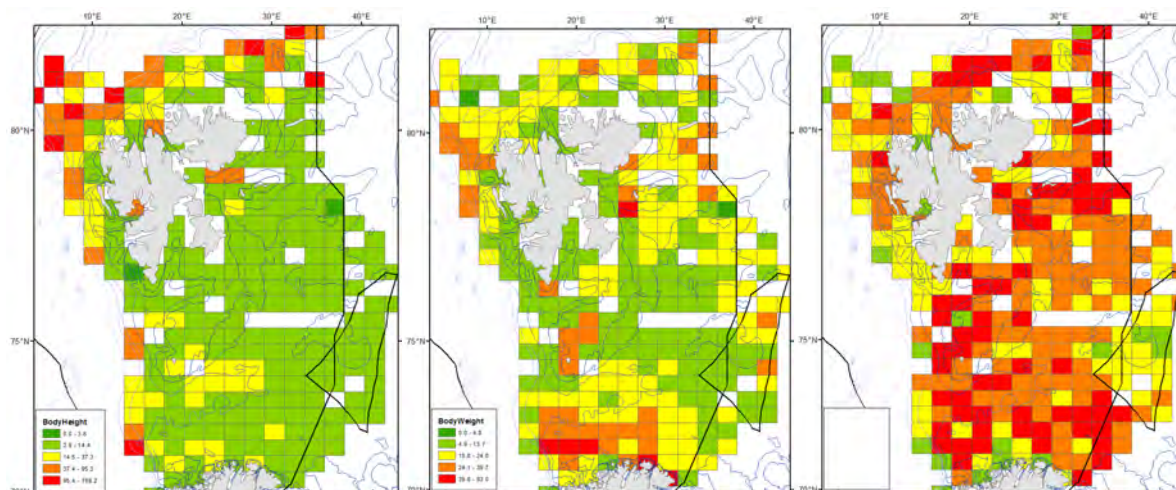
Temperaturøkningen i seg selv vil også føre til at mer boreale arter spre seg nord- og østover og mer arktiske samfunn «tynnes» ut med arter bedre tilpasset «Atlantiske» isfrie områder. Dvs at bunnsamfunnet som dekker havbunn med årlig isdekke vil over tid «borealiseres» og tilpasset en et miljø uten effekter fra iskantsonen.

Tabell 1. Bunndyrers sårbarhet overfor temperaturøkning.

	Lav sårbarhet	Middels sårbarhet	Høy sårbarhet
Dype samfunn			Lav toleranse overfor økt bunntemp.
Grunne samfunn	Tolerant overfor økt bunntemp.		

Fysisk slitasje

Bunnsamfunnets sårbarhet overfor tråling, ankerkjettinger fra oljeplattformer, boring i havbunnen, med mer, stiger med økt kompleksitet av biologisk habitat, dvs. høyere antall arter, større biomasse av bunndyr og flere individer (se figur 3 i kap. 4.3.1.2), men også som en konsekvens av den gjennomsnittlige høyde, vekt, og mobilitet blant artene som utgjør et samfunn (Figur 2). Dette betyr at de mest komplekse bunndyrssamfunn, som samtidig består av de største, mest stillestående og oppreiste artene er mer sårbare overfor fysisk slitasje enn samfunn hovedsakelig bestående av små, flate og krypende arter.



Figur 2. Bunndyrsamfunnets sårbarhet overfor bunntråling. Gjennomsnittlig høyde over sedimentet (midten), kroppsvekt (venstre), og mobilitet (høyre). Grønn = lav verdi, rød = høy verdi.

Tabell 2. Slik blir sårbarheten overfor tråling i iskantsonen i Barentshavet lav i Høpendypet, men høyere på de grunne bankene og på sidene av bankene i Barentshavet, samt vest for Svalbard.

	Lav sårbarhet	Middels sårbarhet	Høy sårbarhet
Banker i Barentshavet		Delvis dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter	
Høpendypet	Enkle samfunn med små arter		
Vest for Svalbard		Delvis dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter	
Nordvest for Svalbard, inkludert Yermackplatået			Dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter og flere sårbare arter
Nord og øst for Svalbard		Delvis dekket av komplekse samfunn med store oppreiste arter	

Samlet påvirkning

Klimaendringer fører til at havet varmes opp, isen trekker seg tilbake og kommersielle fiskearter kan trekke enda lengre nordover. Dette betyr at fiskeflåten kan bruke bunntrål i et større område. Studier viser at arter som oppholder seg i ytterkanten av sitt toleranseområde reagerer sterkere på miljøendringer når de allerede er påvirket av andre faktorer (Hewitt et al. 2016). Når bunnsamfunn opplever flere stressfaktorer samtidig (for eksempel både oppvarming og tråling) kan biodiversitet og struktur endres (Doney et al. 2012) med følgende tap av arter. Dette kan forårsake redusert motstandsdyktighet (resilience) (Hughes et al. 2003). Havbunnen langs den tilbaketrekende iskantsonen opplever press både fra oppvarming og tråling i områder som tidligere var utilgjengelige pga isdekke. Dette gjelder øst og nord for Svalbard og ute på Yermackplatået nordvest for Svalbard. Påvirkning av bunnsamfunn i disse områdene kan ytterligere forsterkes hvis nye predatorer (for

eksempel snøkrabbe) sprer seg in i disse nye områder, med effekt på biodiversitet og funksjon til et allerede stresset bunndyrssamfunn.

Hovedpunkter

- **Havforsuring** (effekter på skallbærende arter, og frittlevende larvestadium), **petroleumsvirksomhet** (påvirke populasjoner og reetablering, reduserer hyppigheten og diversiteten av bunnsamfunn), **miljøgifter og plast (bioakkumulering)**, **klimaendringer** (tilgang av istilknyttet og pelagisk primærproduksjon til de pelagiske og bentiske konsumentene), **fysisk slitasje slik som bunntråling og ankerkjettinger** (påvirke populasjoner og reetablering, reduserer hyppigheten og diversiteten av bunnsamfunn) **nye predatorer** (for eksempel snøkrabbebeiting) har effekt på bunndyrssamfunnene i Barentshavet.
- Når bunnsamfunn opplever flere stressfaktorer samtidig kan biodiversitet og struktur endres med følgende tap av arter. Dette kan forårsake redusert motstandsdyktighet (resilience).
- Havbunnen langs den tilbaketrekkende iskantsonen opplever press fra flere kilder. Dette gjelder spesielt øst og nord for Svalbard og ute på Yermachplatået nordvest for Svalbard.

Kunnskapsbehov

- Hvordan endres et bunnsamfunn når flere stressfaktorer fungerer samtidig.
- Hvordan blir motstandsdyktighet (resilience) påvirket.
- Hvilke områder vil vise størst effekt.

4.3.2.5 Fisk

Klimaendringer

Fossheim et al. (2015) har gjort en gjennomgang av hvordan klimaendringer kan påvirke fiskesamfunn i Arktis. Den økende forekomsten av boreale arter, for eksempel torsk i det nordlige Barentshavet om sommeren, medfører økt predasjonspress på små arktiske fiskearter og økende konkurranse for andre predatorer som grønlandssel, vågehval, blåkveite og isskate. Den totale mengden av fisk i det nordlige Barentshav om sommeren ble firedoblet fra 2004 til 2012, mens det ble observert en nedgang for flere arktiske arter. Denne nedgangen kan skyldes både predasjon, økt konkurranse og tap av habitat.

Langs vestkysten av Svalbard har man i de siste årene observert at den geografiske fordelingen av torsk og hyse også om vinteren strekker seg betydelig lenger nord enn tidligere kjent, noe som vil ha en tilsvarende effekt.

Disse endringene er det nærliggende å knytte til at området med passende temperatur for den enkelte art flytter seg nordover når temperaturen øker. Imidlertid kan dette også påvirkes indirekte av endringer i næringsnett og energiflyten. Høyere temperatur favoriserer atlantiske arter av dyreplankton over arktiske. Imidlertid er atlantiske arter mindre fett- og energirike enn arktiske arter, slik at et slikt skift kan være negativt for fisk som beiter på dyreplankton i iskantsonen. Likeledes vil mindre sjøis føre til mindre isalger og dermed mindre nedfall av slike alger på bunnen slik at den bentiske produksjonen blir mindre. Dette kan være negativt for arktiske fiskearter som har spesialisert seg på beiting på benthos, slik som knurrulker og ringbuker. Mindre sjøis vil også kunne påvirke istilknyttede arter som polartorsk negativt.

4.3.2.6 Sjøfugl

For sjøfugl er sammenhengen mellom påvirkningsfaktorer og respons ofte kompleks, og i mange tilfeller knyttet til indirekte trofiske interaksjoner. De viktigste endringene i de marine økosystemene, og som har betydning for nærings situasjonen for arter som opptrer i iskantsonen, er trolig klimaendringer, endringer i fiskeriene og fluktasjoner i de pelagiske fiskebestandene (Fauchald et al. 2015). De fleste av disse faktorene virker over et større geografisk område enn iskantsonen slik den er definert i denne rapporten.

Klimaendringer

Et varmere havklima har stor betydning for de marine økosystemene. De mest dramatiske forandringene ser man i det nordlige Barentshavet, hvor minkende isutbredelse og varmere hav fører til at et arktisk næringsnett, dominert av polartorsk og fettrike dyreplankton, erstattes av et subarktisk system dominert av krill, lodde og torsk. Denne forskyvningen har negative konsekvenser for mange arktiske arter, inkludert ismåke, polarlomvi og alkekonge. En omfattende reduksjon i isens utbredelse vil være spesielt dramatisk for spesialiserte arter som ismåke, men også for mindre spesialiserte arter som polarmåke, polarlomvi, teist og alkekonge. Noen arter benytter iskantsonen som næringsområde mest om vinteren og om våren, mens andre søker dit gjennom hele året. De artene som er avhengige av isen og iskanten i hekketiden vil kunne utnytte dette habitatet så lenge isen er innenfor akseptabel avstand fra hekkeområdene. Noen arter vil trolig kunne forskyve hekkeområdene nordover i takt med reduksjonen i isens utbredelse. Det er imidlertid mulig at isen reduseres så raskt at den om ganske få år ikke lenger kan utnyttes som næringsområde for sjøfugl om sommeren. Dette vil føre til kraftig bestandsnedgang og kanskje tilnærmet utdøing av enkelte arter, for eksempel ismåke (Anker-Nilssen & Strøm 2010). De store bestandene av polarlomvi går markant tilbake på Spitsbergen. En nærliggende forklaring til denne tilbakegangen kan være den pågående endringen fra et arktisk næringsnett, dominert av iskantfauna som polartorsk og *Themisto libellula*, til et mer borealt næringsnett dominert av lodde, torsk og krill (Fluhr et al. 2017).

Havforsuring

Se kap. 4.3.2.2 Kan være effekter på lavere trofisk nivå, som vil påvirke byttedyrs sammensetning og tilgang.

Støy

Trolig lite relevant for sjøfugl.

Petroleumsvirksomhet

Se kap. 4.3.2.2.

Miljøgifter

Miljøgifter som lagres i fuglenes fettvev er spesielt et problem for enkelte arter sjøfugl i arktiske områder. Bestander som opplever gode miljøforhold påvirkes i liten grad av selv høye nivåer av miljøgifter, men i perioder med dårlig næringstilgang tærer fuglene på fettlagrene, og miljøgiftene frigjøres fra kroppsfett til blod. De fysiologiske effektene av de frigjorte miljøgiftene kan bidra til redusert hekkesuksess og overlevelse, med påfølgende bestandsnedgang (Lucia et al. 2016). Dette er påvist for polarmåke, mens for ismåke er det påvist effekter på hekkeparametere (Miljeteig et al. 2012). Økt forekomst av miljøgifter i iskantsonen, for eksempel gjennom smelting og økt avrenning fra fastlandselver, vil kunne være alvorlig for arter som allerede har høye nivåer, slik som ismåke og polarmåke.

Sot

Se kap. 4.3.2.2 Viktigste effekt er økt issmelting.

Plast

Overflatebeitende arter som havhest, krykkje og polarmåke er potensielt utsatt for inntak av plast og plastkomponenter. Større mengder plast har vært påvist hos havhest, mens nivåene er lavere i krkkje. Polarmåke er ennå ikke undersøkt for dette. Se for øvrig kap. 4.3.2.2.

Fiskeri

Etter en periode på midten av 1900-tallet preget av overfiske og etterfølgende kollaps i mange viktige pelagiske fiskebestander, har det i løpet av de siste tretti årene vært en økning i flere store fiskebestander. De tre pelagiske fiskebestandene i Barentshavet (ungsild, lodde og polartorsk) viser store naturlige fluktusjoner. Disse svingningene er ofte knyttet til variasjon i rekruttering som følge av klimafluktusjoner koblet med trofiske interaksjoner. Mer bærekraftig fiske og store fiskebestander slår ikke alltid positivt ut for sjøfugl. For eksempel er høy rekruttering av sild knyttet til en stor sildestamme i Norskehavet, samt gode oppvekstbetingelser for sildelarvene langs Norskekysten. Ungsilda i Barentshavet beiter blant annet på loddelarver, og en stor bestand av ungsild har derfor konsekvenser for rekrutteringen av lodde. Lodda er et viktig byttedyr for mange av artene som beiter i iskantsonen. Lodda utnytter her oppblomstringen som skjer når isen smelter og trekker seg nordover. Dynamikken mellom sild og lodde gjør at disse artene sjelden opptrer i store mengder samtidig i Barentshavet. Sjøfugl i Barentshavet har imidlertid andre alternative pelagiske næringskilder, og da først og fremst tobis i sør og øst, fiskelarver i sør og vest og fettrike dyreplankton i nord. Når flere av disse næringselementene kollapse på en gang, kan det få fatale konsekvenser for bestandene av sjøfugl (Fauchald et al. 2015). Store bestander av torsk og andre fiskepisende fisk kan også ha en negativ innvirkning på lodde og andre fiskebestander lavere i næringskjeden.

Hovedpunkter

- Redusert isutbredelse som følge av et varmere klima utgjør den største trusselen for sjøfugl. Overgang fra et arktisk næringsnett til et subarktisk system vil ha negative konsekvenser for flere arktiske sjøfuglarter, inkludert ismåke, polarlomvi og alkekonge. Konsekvensene vil bli størst for spesialiserte arter som ismåke.
- At iskantsonen sommerstid vil befinne seg lengre og lengre unna Svalbard eller Jan Mayen, vil utgjøre et problem for flere arter i hekkesesongen. Størst vil trolig problemet være for østlige og nordlige populasjoner, som vi antar er de som i størst grad utnytter sjøisen som habitat gjennom sommeren. Noen arter vil trolig kunne forskyve hekkeområdene nordover i takt med reduksjonen i isens utbredelse. Imidlertid vil en iskantsone plassert langt nord for Svalbard sommerstid være vanskelig å utnytte på en fordelaktig måte for de fleste sjøfuglartene.
- Varmere vann og mindre is vil bidra til at boreale, mer varmekjære arter, vil utvide sitt utbredelsesområde nordover. Et eksempel her er havsule, som etablerte seg på Bjørnøya i 2011. Nye arter vil kunne føre til økt konkurranse og eksponering for nye sykdommer og parasitter
- Flere arktiske sjøfugler har allerede bekymringsverdig høye nivåer av miljøgifter. Eksempler er polarmåke og ismåke. Økte forurensingsnivåer vil kunne ha alvorlige effekter på reproduksjon og overlevelse hos allerede hardt belastede arter.

- Pelagiske fiskebestander i Barentshavet som er viktig for sjøfugl (ungsild, lodde og polartorsk) viser store naturlige fluktuasjoner. Disse svingningene er ofte knyttet til variasjon i rekruttering som følge av klimafluktuasjoner koblet med trofiske interaksjoner. Mer bærekraftig fiske og store fiskebestander slår ikke alltid positivt ut for sjøfugl. Store bestander av torsk og andre fiskespisende fisk kan ha en negativ innvirkning på lodde og andre fiskebestander lavere i næringskjeden.

Kunnskapsbehov

- Det er behov for studier som utnytter nye sporingsteknikker (lysloggere, GPS-loggere, satellittsendere) for å få en bedre forståelse av sjøfuglens sesongmessige utnyttelse av iskantsonen som habitat, og dens betydning for bestandsutvikling og demografi hos de aktuelle artene. Gjennom dette vil vi oppnå en bedre forståelse av bestandenes sårbarhet.
- Det er behov for styrket overvåking av de østlige og nordlige sjøfuglbestandene på Svalbard. Denne overvåkingen bør omfatte bestandsutvikling, demografi og næringsvalg.
- Overvåkingen av miljøgiftssituasjonen for arter knyttet til iskantsonen bør videreføres og styrkes. Studier som fokuserer på effekter av miljøgiftbelastningen på reproduksjon og overlevelse bør prioriteres.

4.3.2.7 *Marine pattedyr*

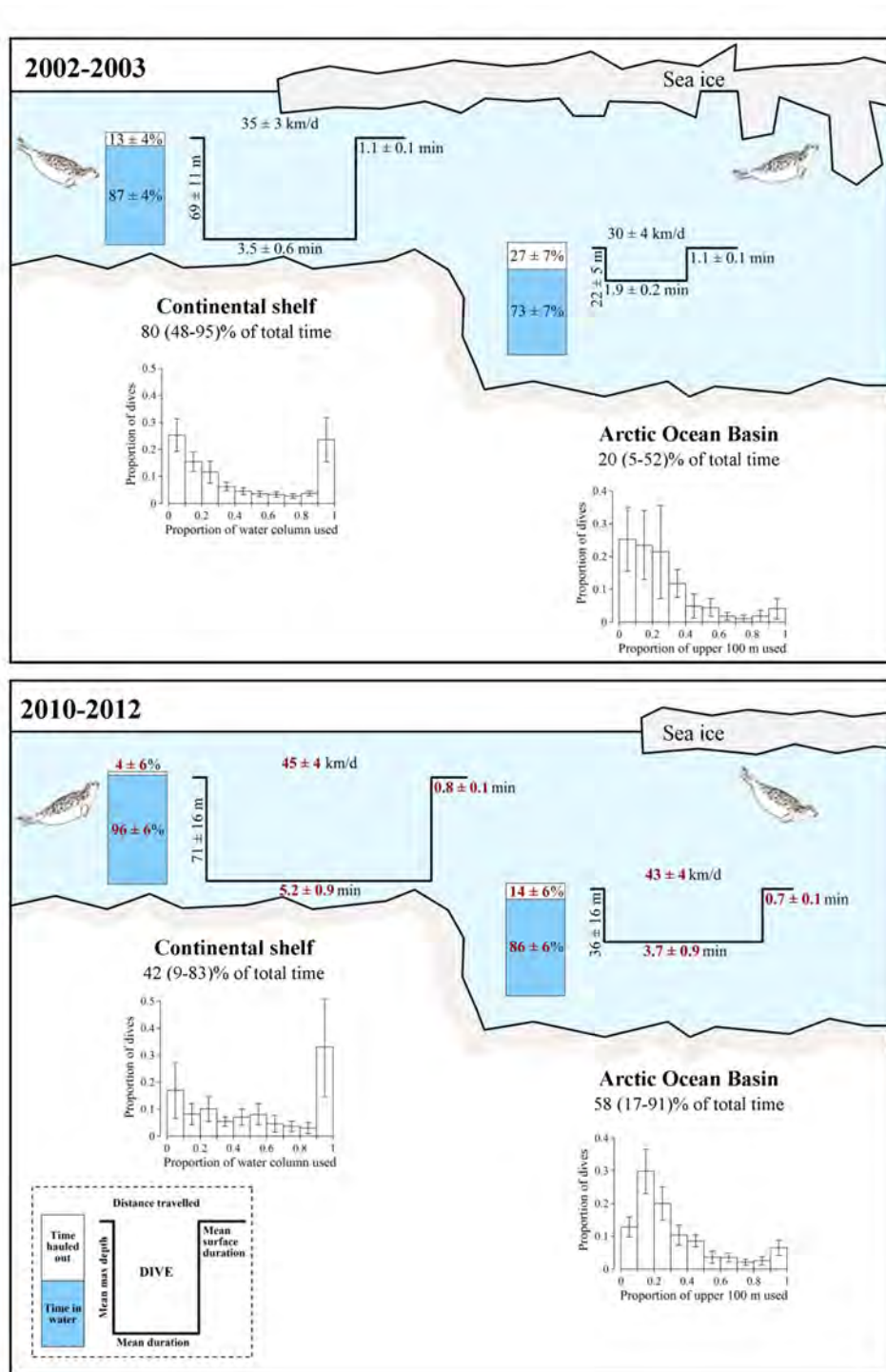
Klimaendringer

Ettersom det blir varmere i Arktis vil de stedfaste marine pattedyr-artene utsettes for ekstreme endringer i sine leveområder. Dette skyldes i første rekke endringer i isforholdene, men i tillegg vil økte hav- (og luft-)temperaturer bringe med seg nye byttedyrarter og potensielt reduksjon eller tap av de svært lipidrike byttedyrartene som de arktiske marine pattedyrene tradisjonelt spiser (Kovacs & Lydersen 2008; Kovacs et al. 2011). Sympagiske byttedyr vil per definisjon bli borte der isen forsvinner fra, samt at forholdet mellom årsis og flerårsis i iskantsonen også vil kunne endre sammensetningen av denne istilknyttede faunaen. De stedege sjøpattedyrene vil i tillegg oppleve konkurranse fra andre tradisjonelt sydligere sjøpattedyr og fiskebestander, økt predasjon fra f. eks. spekkhuggere når isforholdene og vanntemperaturene endres, økt eksponering for nye parasitter, sykdommer og forurensningsstoffer (Kovacs & Lydersen 2008; Kovacs et al. 2011; Bogstad et al. 2015). At isen gradvis forsvinner åpner nye tidligere utilgjengelige områder for menneskelige aktiviteter som turisme, fiskeri og oljerelatert industri. Sommerisdekket i Barentshav-regionen er det området i Arktis hvor isreduksjonen har vært mest dramatisk de senere år, med en isfri sesong som var over 20 uker lengre i 2013 sammenliknet med 1979 (Laidre et al. 2015).

En konsekvens av at iskanten trekker seg lengre nordover er at den om somrene i de senere årene har befunnet seg over det dype Nordishavet i steder for over grunnere områder i nordlige Barentshavet. Dette har vist seg å ha konsekvenser blant annet for ringselene på Svalbard. Disse har to strategier med hensyn til hva de foretar seg etter at parrings- og hårfellingsperiodene er over tidlig på sommeren. Noen forblir lokalt og oppholder seg mye foran brefronter, mens andre vandrer opp til iskanten i nord (Freitas et al. 2008a). Begge disse strategiene gjør at selene kommer til områder med ansamlinger av mat, samt plattformer å hvile på enten i form av sjøis (i nord) eller breis (langs kysten av Svalbard). Det er hovedsakelig unge dyr som vandrer nord, mens voksne individer holder seg lokalt (Freitas et al. 2008a; Hamilton et al. 2015b). Satellittsporing av vandringer til ringsel i perioden hvor sommer-isen lå over sokkelen er blitt sammenliknet med tilsvarende vandringer med

sommer-isen slik den er i dag som er nord for egga-kanten og over det dype Nordishavet. Resultatene av disse sporingene viser at ringsel i dagens situasjon svømmer lenger, dykker lenger, er mindre tid i overflaten mellom dykk, hviler mindre oppe på isen hver dag og generelt har en mindre romlig begrenset furasjeringsaktivitet (Hamilton et al. 2015b; figur 1). Dette viser klart at selene må jobbe mere for å finne mat og da at energikostnadene forbundet med denne aktiviteten har øket. Dette vil potensielt ha effekter for vekst, alder ved kjønnsmodning, reproduksjon og overlevelse (Hamilton et al. 2015b). Det er også gjort studier som tyder på at hvis iskanten befinner seg lengre enn 6-700 km nord for Svalbard så vil det ikke være energimessig fornuftig å vandre så langt, under forutsetning av at de ikke spiser på veien og skal tilbake igjen til Svalbards kyster om høsten slik selene gjør i dagens situasjon (Freitas et al. 2008b).

Ringsel som oppholder seg i iskantsonen er vist å foretrekke iskonsentrasjoner på 40-80 % (Freitas et al. 2008a; Hamilton et al. 2015b). Denne iskonsentrasjonen foretrekker, kanskje ikke overraskende, også isbjørnene som oppholder seg i iskantsonen (Lone et al. 2017). Hvis ringselene, som er hovedbyttedyret for isbjørnen i området, ligger mindre oppe og hviler vil dette da også kunne ha konsekvenser for jakt suksess til isbjørnene som oppholder seg her (Hamilton et al. 2015b). Hvis iskantsonen ligger langt nord for Svalbard vil isbjørnen som oppholder seg der få problemer med å nå land som er yngleområdet for Svalbards isbjørner. Det er f. eks. vist at hvis ikke sjøisen ligger inn mot Hopen eller Kongsøya før en gang i november fører dette til en stor reduksjon i antall registrerte hi i disse to områdene (Derocher et al. 2011; Aars 2013). På samme måte vil isforholdene når binnene kommer ut av hi være avgjørende for om disse kan komme til iskantsonen for å jakte. Isbjørn er svært dyktige svømmere og er registrert å kunne svømme kontinuerlig i dagevis (Pilford et al. 2017), men de små årsungene vil ikke kunne tåle å svømme i lengre perioder i det kalde Arktiske vannet (Aars & Plumb 2010).



Figur 1. Endringer i atferd hos ringsel i iskantsonen mellom periodene 2002-03 (hvor iskanten var over sokkelen i Barentshavet) og i 2010-12 (hvor iskanten var over det dype Nordishavet). Røde tall indikerer signifikante forskjeller mellom de to periodene. Det stiplede rektangelet forklarer hvilke parametre som er sammenliknet (Kilde: Hamilton et al. 2015b).

Storkobber foretrekker grunne områder hvor de finner maten sin nær, på eller i bunnen (Hjelset et al. 1999; Krafft et al. 2000). Så lenge iskanten finnes over sokkelen i Barentshavet eller sokkelen nord for Svalbard er dette storkobb habitat. Både for kasting i mai (Kovacs et al. 1996), hårfelling deretter og furasjering året rundt. Når iskanten etter hvert trekker seg over det dype Nordishavet er ikke iskantsonen lenger noe foretrukket habitat for denne selarten. De er da også mer og mer observert å

bruke land og isbrekalvinger som hvileplattform i kystnære farvann på Svalbard (Lydersen et al. 2014). En annen faktor som kan være av betydning i denne sammenheng er at hvis isen blir borte vil dette kunne føre til en reduksjon i mattilbudet for denne selarten da mangel på sympagisk produksjon som synker til bunns og nyttiggjøres av disse organismene vil bli redusert eller opphøre.

Både grønlandssel og klappmyss yngler i iskantsonen. For dyrene som yngler i Vestisen har denne kommet nærmere og nærmere kysten av Grønland og eksponert dyrene for en større grad av predasjon fra isbjørn, samt at isforholdene er så dårlige med mye vann i mellom flakene slik at også spekkhuggere kan nå inn hit (Øigård et al. 2014). Dårlige isforhold gjør også at flakene ungene kastes på er mye mer eksponert for vær, vind og bølger, noe som kan føre til at mange unger faller av isflakene og dør som følge av drukning, utmattelse, eller fryser ihjel som er vist i vestligere bestander av grønlandssel (Stenson & Hammill 2014). For denne arten er det i disse områdene også påvist reduksjon i reproduksjonsrater antakelig som følge av endringer i byttedyrfaunaen som resulterer i at dyrene er i dårligere kondisjon (Stenson et al. 2016). Tilsvarende effekter må forventes å også finne sted for disse artene i iskantsonen i våre farvann.



Figur 2. Døde grønlandsselunger som følge av dårlig is i kasteområdet som er blitt brutt opp av vær og vind mens ungene fortsatt er i dieperioden. Fra kanadiske farvann (foto: Garry Stenson).

Hvalross yngler dypt inne i iskantsonen om våren som per idag er å finne over sokkelområdene i Barentshavet (Freitas et al. 2009; Lowther et al. 2015). Isen her inne er rolig og ikke særlig påvirket av vær og vind, som gjør at de har stabile yngle- og die-plattformer, det er grunt nok til at mødrene kan finne mat på bunnen og de er beskyttet fra eventuell predasjon fra spekkhuggere. Hvis vinterisen trekker seg nord for sokkelen vil det være for dypt til at mødrene vil kunne finne mat i denne perioden og de vil da antakelig måtte yngle på land. Konsekvenser av dette vet vi ikke, men en større sjanse for ungene til å bli knust når det er uro i flokkene er rimelig å anta, sett i perspektiv av hva som er beskrevet fra store liggeplasser på land fra Stillehavshvalross (Jay et al. 2011). En annen følge for hvalrossene av fremtidig mangel på is i disse områdene vil være, som nevnt over for storkobber, en potensiell reduksjon av bentiske byttedyr som følge av mangel på sympagisk produksjon som synker til bunns og nyttiggjøres av disse organismene.

Et varmere klima vil også for de tre stedeagne hvalartene kunne medføre endringer i de lipidrike byttedyrene, som kan være potensielt kritisk for grønlandshval som i dag er avhengig av svært lipidrike arktiske kopepoder og amfipoder. Isens beskyttende effekt med hensyn til predasjon fra spekkhuggere vil kunne bli redusert eller falle bort, noe som har blitt påvist i andre steder av Arktis (Ferguson et al. 2010). Som nevnt innledningsvis vil konkurranse fra sørligere arter samt eksponering for nye sykdommer og parasitter potensielt kunne være et problem for de stedeagne hvalartene, og hvis mer utslipp av ulike forurensningsstoffer som følge av klimaendringer lengre sør når iskantsonen vil dette være alvorlig for narhval og hvithval som allerede har ekstremt høye konsentrasjoner av ulike forurensningsstoffer i seg (Andersen et al. 2001, 2006; Wolkers et al. 2006). Dette, samt andre faktorer som potensielle effekter av at klimaendringene åpner for mer menneskelige aktiviteter behandles separat senere i dette dokumentet.

Havforsuring

Se kap. 4.3.2.2 Kan være effekt via affekter på lavere trofiske nivåer - dvs. endring i byttedyrs sammensetning og mengde.

Støy (fra skipstrafikk, seismikk, turisme)

Menneskeskapt støy er allerede ansett som en stor forurensningskilde i verdenshavene. De stedefaste sel og hvalartene som oppholder seg i iskantsonen bruker alle lyd i en eller annen form til å kommunisere, navigere eller finne mat. Arktiske områder er fortsatt betraktet som områder relativt frie for slikt støy da isdekket tradisjonelt har forhindret kommersielle aktiviteter i disse områdene. Den største støykilden i iskantsonen er per i dag isen selv (Ahonen et al. 2017), men dette er i ferd med å endre seg, og støy fra skip og seismikk er blitt mer og mer vanlig i iskantsonen i våre farvann. En lyttebøye som har vært plassert på en oseanografisk rigg midt i Framstredet mot sokkelen på Grønland på ca. 79°N har gitt oss ny kunnskap om dette. Den har stått ut mer eller mindre kontinuerlig siden 2008 i et område som nesten hele året ligger inne i iskantsonen. Her høres grønlandshval og narhval nesten året rundt (Stafford et al. 2012; Ahonen et al. 2017), men også støy fra seismikk. Denne støyen er særlig registrert i perioden april til september, men også i mindre grad om vinteren (Moore et al. 2012; Ahonen et al. 2017). Det er også mer og mer vanlig at turistskip kjører opp til iskantsonen for å se denne, samt at det foregår noe fiskeri og hvalfangst lang iskantsonen. Disse aktivitetene er per i dag i relativt smått omfang. I tillegg vil havforsuring føre til mindre absorpsjon av lavfrekvent lyd (Ilyina et al. 2010). Generelt vil menneskeskapt støy kunne maskere disse dyrenes evne til å finne mat, orientere seg og kommunisere (Kvadsheim et al. 2017). Kraftige lydimpulser fra f. eks. seismikk vil potensielt kunne påføre dyrene direkte skade og atferdsendringer (Kvadsheim et al. 2017). Vi vet lite om langtidseffekter av menneskeskapt støy på disse marine pattedyrene.

Petroleumsvirksomhet

Se kapittel 4.3.2.2

Miljøgifter

Alt som fører til høyere nivåer av forurensningsstoffer i næringskjeden i iskantsonen (økte utslipp fra elver i Russland som transporteres nordover f. eks.) vil være dramatisk for tre arter som finnes her og som allerede har svært høye nivåer av ulike forurensningsstoffer. Det gjelder isbjørn som hovedsakelig lever av selspekk og topper næringskjeden (Derocher et al. 2003). Tannhvaler er generelt dårlige til å metabolisere ulike forurensningsstoffer og følgelig er både hvithval og narhval i Svalbardområdet svært forurensede (Andersen et al. 2001, 2006; Wolkers et al. 2006) og har for

mange forbindelser høyere konsentrasjoner enn hva man finner i isbjørn selv om disse hvalene er lavere i næringskjeden.

Sot

Se kapittel 4.3.2.2 og faktorer som akselerer ismelting.

Plast

Grønlandshval som filtrerer vannmasser med barder vil få i seg dette. Også potensielle effekter på marine pattedyr som lever av filtrerende invertebrate (= muslinger) som hvalross og storkobbe.

Fiskeri

Ikke i dag noe stort problem; men indirekte via f.eks. utslipp av olje, støy osv.

Hovedpunkter

- Største utfordring er endringer i isforholdene som følge av et varmere klima. Det er allerede vist at dagens ringsel må jobbe mye hardere for å finne mat fordi sommeriskanten nå befinner seg over det dype Nordishavet i stedet for før når den lå over grunne sokkelområder. Ringselene ligger også mindre oppe på isen og hviler i dagens situasjon; noe som gjør det vanskeligere for isbjørnene å jakte på dem.
- At iskanten befinner seg lengre og lengre bort fra Svalbards kyster er også et problem for binner med årssunger som helst skal ut på denne for å jakte den første sommeren i ungenes liv. Hvis avstanden fra land til iskant blir for stor- vil ungene ha problemer med å kunne svømme til denne på grunn da de ennå ikke er fullt utviklet termoregulatorisk sett.
- Dårlige isforhold gjør at kasteområdene til grønlandssel og klappmyss er mye mer ustabile, og ungene mere utsatt for å havne i sjøen og komme bort fra mora i dieperioden under dårlige værforhold (mye bølger). Isen, og dermed kasteområdene for disse to selartene, befinner seg nå mye nærmere kysten av Grønland enn før noe som eksponerer de mer for predasjon fra isbjørn.
- Varmere vann og mindre is vil gjøre at vi får økt konkurranse fra mere varmekjære arter samt eksponering for nye sykdommer og parasitter. Endringer i diett fordi de lipidrike klassiske arktiske byttedyrartene blir erstattet med mere Atlanterhavsarter med mindre energiinnhold vil kunne påvirke kondisjon og dermed reproduksjon hos de stedegne marine pattedyrene.
- En hovedgrunn til at grønlandshval og narhval oppholder seg inne i isen er antatt å være for å unngå predasjon fra spekkhuggere. Dårligere isforhold vil da eksponere disse to hvalartene for mer predasjon fra spekkhuggere - noe som allerede er påvist andre steder i Arktis.
- Økende støy fra menneskelige aktiviteter vil kunne ha effekter på sel og hval som oppholder seg i iskantsonen, da alle bruker lyd i en eller annen form til å kommunisere, navigere eller finne mat.
- Økte forurensningsnivåer vil kunne ha store effekter på isbjørn, hvithval og narhval som alle per i dag har ekstremt høye nivåer av slike.

Kunnskapsbehov

- Fortsette studier av nivåer og effekter av ulike forurensingsstoffer hos isbjørn, hvithval og narhval.

4.4 Modul 4 Fremtidige endringer av iskantsonens utbredelse og fysiske egenskaper og økologiske implikasjoner som følge av dette

4.4.1 Mulig temperaturutvikling i atmosfære og hav, og resulterende endringer i isdekke
Innstrømningen av varmt og salt atlantisk vann til Barentshavet, og tilhørende varmeutveksling mellom hav og atmosfære i dette havområdet, er av avgjørende betydning for det regionale klimaet og produksjon av biomasse. Varmetransporten i havet er også et ledd i den atlantiske meridionale omveltningen (AMOC) der varmt og salt vann transporteres nordover nær overflaten, avkjøles, for deretter å synke ned og strømme sørover i dypet. Barentshavets beliggenhet er helt sentral for denne varmeutvekslingen og dypvannsdannelsen, og en økning i overflatetemperaturen som følge av global oppvarming og redusert saltholdighet som følge av ismelting og økt nedbør vil sannsynligvis gjøre at AMOC blir enda svakere i løpet av det 21. århundret.

I mange år har overflatetemperaturen i Arktis økt dobbelt så mye som det globale gjennomsnittet. Dette skyldes hovedsakelig at sjøisdekket har blitt mindre som følge av global oppvarming, og at det mørke havvannet absorberer mer energi fra solen nå enn det den lyse isen gjorde før. På toppen av denne trenden kommer naturlig variabilitet. Rekorder relatert til vær og klima er som regel et resultat av at naturlig variabilitet, og menneskeskapt global oppvarming trekker i samme retning. Naturlig variabilitet har alltid gitt endringer i klimaet, men med et stadig bidrag fra de menneskeskapte klimaendringene på toppen av de naturlige, så står rekordene for fall oftere nå enn før. Slik naturlig variabilitet kan da medføre at man om få år vil få en svak avkjøling i deler av Barentshavet, før temperaturene stiger til verdier man før ikke har observert i dette havområdet.

I denne rapporten er modellresultatene for lufttemperatur hentet fra den norske jordsystemmodellen NorESM, mens overflatetemperatur i havet er nedskalert fra NorESM med den regionale havmodellen ROMS. Utslippsscenariet som er brukt for fremtidig utslipp av klimagasser er RCP4.5. Tallet 4.5 refererer til et anslått klimapådriv i år 2100 i forhold til år 1765. Ved slutten av vårt århundre vil RCP4.5 scenarioet bety en ekstra varmetilførsel på 4,5 W/m² til jord-atmosfæresystemet. RCP4.5 innebærer at klimagasskonsentrasjonene i atmosfæren vil øke noe frem mot 2060, men at de stabiliseres ved slutten av århundret. Modellkjøringene som er brukt her slutter i 2070. Det er derfor ikke mulig å si noe om hvordan utviklingen blir etter dette, men på generelt grunnlag kan man anta at temperaturene vil fortsette å stige noe. I denne rapporten har vi sett på fremtidsendringer i to perioder, 2026-2035 og 2060-2069, i forhold til dagens klima i perioden 2010-2019.

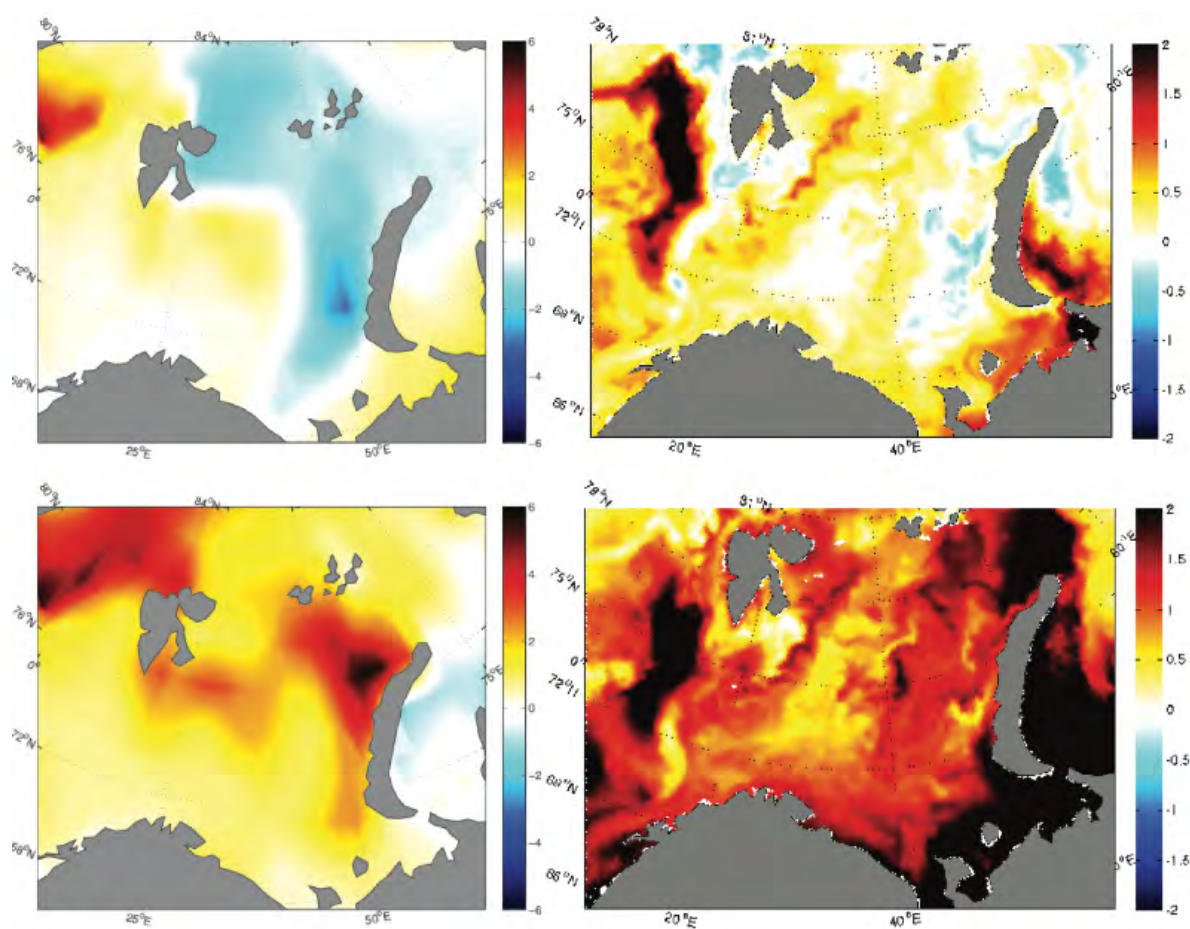
Resultatene viser at lufttemperaturen i Barentshavet om vinteren går ned med 1-2 grader i det meste av det nordlige og østlige Barentshavet frem mot midten av 2030-årene, noen steder litt mer. Dette er sammenfallende med områder der sjøtemperaturen går ned og iskonsentrasjonen og -tykkelsen går opp. Dette skyldes som nevnt mest sannsynlig naturlig variabilitet, og da spesielt Den atlantiske multidekadske oscillasjon (AMO), en indeks som representerer storskala temperaturvariasjoner i Atlanterhavet med en periode på 60-70 år. I 2060-årene er situasjonen helt motsatt, med en temperaturøkning på opp mot seks grader i den nordøstlige delen. Om sommeren ser man en økning på opp til to grader, noe mer i den siste perioden enn i den første. Den største endringen finner nå sted nord for Barentshavet.

I havet er endringene om vinteren generelt preget av en oppvarming på rundt 0.5 grader, med unntak av noen områder med tilsvarende avkjøling vest for Novaja Semlja i den første perioden. I den andre perioden har oppvarmingen økt med ytterligere 0,5 grader og enda mer i den nordøstlige delen. Om sommeren er temperaturøkningene noe mindre. Den største økningen på 1-1,5 grader finner

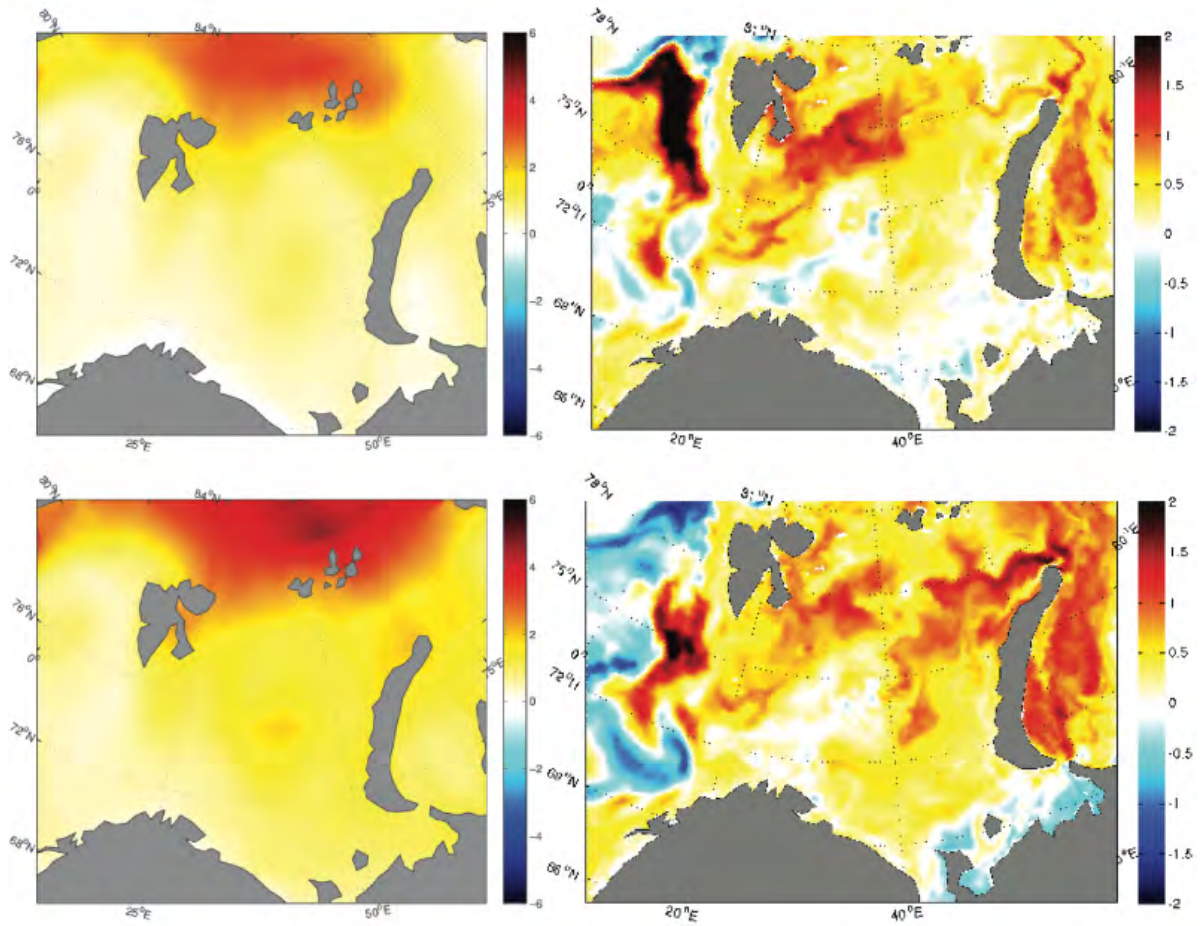
sted i den nordligste halvparten av Barentshavet, mens den i sør ligger på rundt 0,5 grader. Det er noe større økning i den siste perioden enn i den første.

Endringer i iskonsentrasjon og -tykkelse reflekterer i stor grad endringene i overflatetemperaturen i havet som igjen er relatert til endringene i atmosfæretemperaturen. På denne måten er iskonsentrasjonen noe større rundt nordspissen av Novaja Semlja i den første perioden, mens den ellers er noe redusert i den nordlige delen av Barentshavet. For den siste perioden ser man ingen slik økning i konsentrasjonen, men derimot en relativt sterk reduksjon mellom Frans Josef Land og Novaja Semlja, og en noe svakere reduksjon på hele den nordlige og østlige randen av Barentshavet. Utviklingen i istykkelse viser tilsvarende mønster.

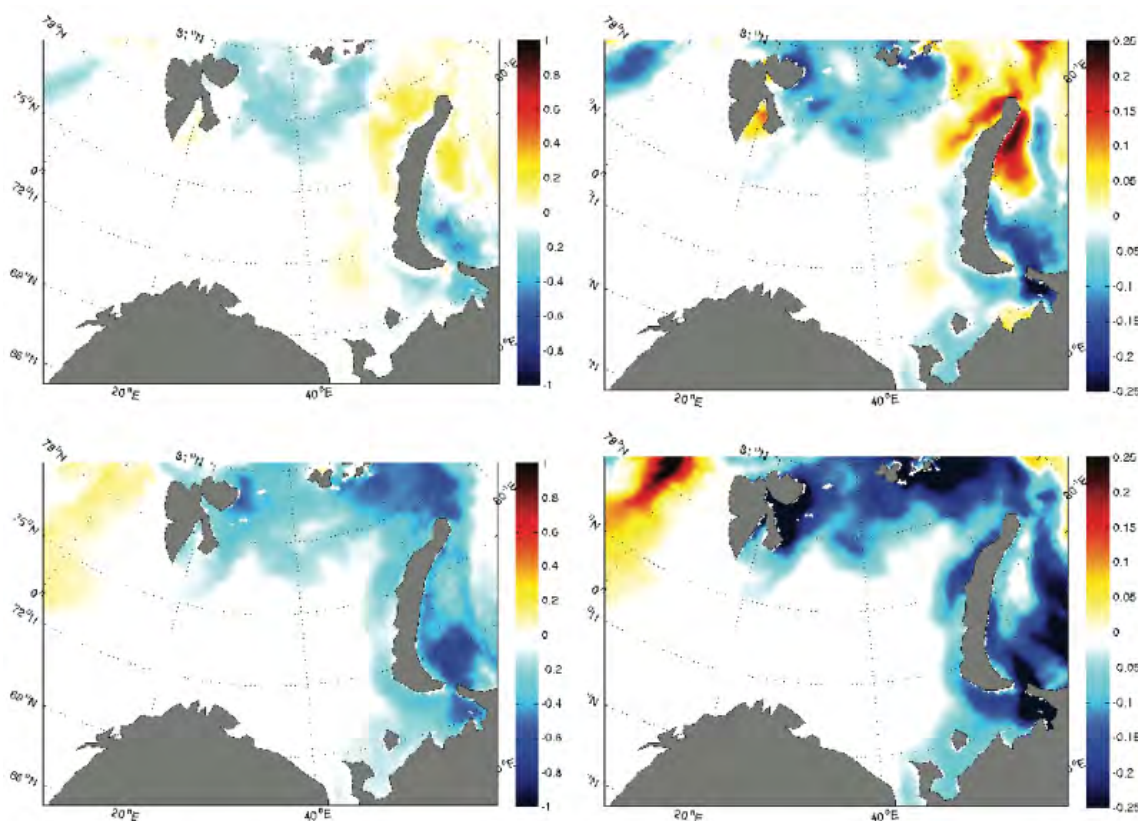
På grunn av drivhusgassenes lange levetid i atmosfæren og havets store varmekapasitet, forventes det at den globale middeltemperaturen for RCP4.5-scenariet kommer til å fortsette å stige noe også etter 2070.



Figur 1. Endringer i mars atmosfæretemperatur (venstre) og overflatetemperatur i havet (høyre) fra 2010-2019 til 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst).



Figur 2. Endringer i september atmosfæreteperatur (venstre) og overflatetemperatur i havet (høyre) fra 2010-2019 til 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst).



Figur 3. Endringer i mars iskonsentrasjon (venstre) og istykkelse (høyre) fra 2010-2019 til 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst).

4.4.2 Low trophic levels

Climate change is the expected main driver of change in the Arctic Ocean. One of the limitations to identify ecological impacts of climate change is the lack of baseline information. This shortcoming is especially important for the central Arctic Basin and the Russian shelves where the difficult access limits data acquisition. Furthermore, the physical environment of the Arctic Ocean is under the influence of multi-annual to decadal oscillatory atmospheric processes, which may confound the interpretation of changes (Wassmann et al. 2011). This limitation will be mitigated as more and longer time-series become available.

Despite the low number of well documented changes in Arctic planktonic systems there is growing empirical evidence for an increase in phytoplankton biomass and production, as a result of changes in the sea ice regime. Furthermore, an increase in the abundance of small copepods and jellyfish, a decline in ice-associated amphipods and a change in community composition of pelagic amphipods, as a result of warming and changes in water circulation, is also documented (Wassmann et al. 2011; table 1 and references therein). Changes in the Arctic icescape have and will continue to impact primary and secondary production and the geographical distribution of several species, as suggested by empirical and modeling studies (Slagstad et al. 2011, 2015; Jin et al. 2012; Ji et al. 2013; Vancoppenolle et al. 2013; Ardyna et al. 2014; Arrigo & van Dijken 2015). Future trends in production for the Arctic Ocean depend on the interplay between an expected decrease in light limitation - following the reduction of sea ice extent and thickness - and trends in nutrient limitation - depending on changes in upper ocean stratification and mixing and inputs from land (Popova et al. 2012; Vancoppenolle et al. 2013; Slagstad et al. 2015). The expected increase in phytoplankton biomass and production could however be compromised by a likely shift towards smaller, less nutritious

phytoplankton and a potential risk of harmful algal blooms with increasing sea surface temperatures (CAFF 2017).

Documented past changes, as well as conceptual and mathematical models are the tools that may be used to predict the ecological evolution of the MIZ. The southern portions of today's MIZ will be exposed to more thermal stratification while its northern portions are expected to expand to cover the entire Arctic Ocean (Wassmann & Reigstad, 2011). It is therefore anticipated that the northward expanding MIZ will play a determining role in the outcome of the climate change process in the Arctic Ocean. This northward shift will increase primary production due to more light availability (Wassmann and Reigstad 2011), with phytoplankton possibly utilizing "unused" nutrient stocks in formerly ice and snow covered waters. Such a prediction is supported by a study conducted by Arrigo & van Dijken (2011) based on satellite data, and reporting a 20 % increase in open water Arctic Ocean net primary production (NPP) between 1998 and 2009 (range = 441–585 Tg C yr⁻¹), due mainly to increases in both the extent of open water (+27 %) and the duration of the open water season (+45 days). Changes in NPP were largest in the eastern Arctic Ocean, most notably in the Kara (+70 %) and Siberian (+135 %) sectors. A modeling study conducted by Jin et al. (2012) also showed a 14 % increase in open water primary production for the period 1998-2007.

The result of the increase in exposure to thermal stratification of the southern regions predicted by Wassmann & Reigstad (2011) will depend to a great extent on the wind regime. If stratification becomes more intense in the southern portions of today's MIZ, this may lead to a reduction in primary production, as suggested by those authors, or to an earlier spring bloom without necessarily a decrease in primary production. In fact, Slagstad et al. (2011) predicted an increase in primary production in an ice-free Arctic Ocean in summer with a coupled physical-biogeochemical model. However, according to these authors, primary production increases in the Arctic Basin and Eurasian shelves but it should remain stable in the Barents Sea, i.e. south of the MIZ. Moreover, Barber et al. (2015) presented evidence for enhanced energy flux through the ocean-atmosphere interface, along with the later freeze-up onset and earlier ice retreat that could mitigate increased thermal stratification along the southern portions of the MIZ, mixing deep nutrient rich waters into the euphotic zone and supporting relatively high production rates.

Earlier blooms of phytoplankton and ice algae are expected with the northward migration of the MIZ. These phenological changes in primary production may have consequences for higher trophic levels, particularly for the zooplankton grazers, whose main food source is composed of the dually pulsed algae production (ice algae and phytoplankton) of the Arctic (Søreide et al. 2010; Leu et al. 2011; Ji et al. 2013). However, at least part of these organisms shows some plasticity in coping with shifts in bloom timing (Daase et al. 2013; Barber et al. 2015; Feng et al. 2016). Not much is known about present and future trends in zooplankton secondary production in the Arctic Ocean and/or the MIZ. Model results by Slagstad et al. (2011) suggest possible increases in some areas (Arctic Basin and Eurasian shelf) and decreases in other areas (Barents Sea), depending on the changes in air temperature along the next decades. According to Dalpadado et al. (2012) and Eriksen et al. (2017) there was an increase in biomass of lipid-rich euphausiids in recent years in the Barents Sea, that may provide good feeding and growth conditions for capelin and young cod. There was a reduction in Arctic zooplankton with possibly negative implications for polar cod and other zooplankton predators associated with the Arctic food web. The Barents Sea at present seems to maintain relatively stable levels of boreal zooplankton biomass and production.

Another important trend that has been observed in recent years is the extension of the zone of biological production into the pack ice interior (Mundy et al. 2009; Arrigo et al. 2012; Assmy et al. 2017; Horvat et al. 2017). Arrigo et al. (2012) described massive summer (July) phytoplankton blooms dominated by diatoms under first year ice, after release from light limitation, due to snow melt and a high surface melt pond fraction (25 to 50 %). Horvat et al. (2017) used a model to test the *critical*

pond hypothesis, stating that light-limited phytoplankton blooms are triggered annually by a sustained increase in melt pond fraction. They concluded that the fraction of the Arctic supporting sub-ice blooms in each year increases 5 % and 7 % per decade in June and July, respectively. Assmy et al. (2017) present a unique time-series of a phytoplankton bloom observed beneath snow-covered Arctic pack ice between the 25th of May and the 22nd of June 2015. Leads in the dynamic ice cover provided added sunlight necessary to initiate and sustain the bloom that was dominated by *Phaeocystis pouchetii*. This species seems capable of coping very well with both very low and very high light, according to physiological results presented by Cota et al. (1994).

The trends described above for primary producers are consistent with the decrease in sea ice concentration, and the increase of photosynthetically active radiation at the sea-ice surface in large parts of the Arctic domain during Spring-Summer, including regions in the north and north-east of the Barents Sea and Svalbard (Barber et al. 2015).

Melnikov et al. (2002) compared physical-chemical characteristics and sea-ice communities between the 1970s and those observed in 1997-98, during the SHEBA ice camp drift in the Canada Basin of the Arctic Ocean. They found out major differences between these two periods. There was an order of magnitude reduction of silicic acid concentrations in MYI and FYI. The species diversity of pennate diatoms declined 2-fold and the diatoms had weakly silicified frustules. Ten species of interstitial fauna were described from samples collected in the 1970s, whereas there was a complete absence of these organisms within the ice interior in the 1997-98 samples. Sub-ice algal communities also used to be more common in the Barents Sea (Syvertsen 1991; von Quillfeldt et al. 2009) than today. Obtained results suggest a general reduction in sea-ice biodiversity between those two periods. These findings are supported by a comprehensive assimilation and integration of sea ice biota data indicating that sea ice algal community structure has possibly changed in the central Arctic between the 1980s and 2010s (CAFF 2017). However, it needs to be noted that identified shifts in community structure are confounded by shifts in sampling region and effort over the decadal time series. These changes may be expected in the light of the ecological theory and the strategy of ecosystem development (Odum 1969). Ecological succession is a complex process that begins with the colonization of a new biotope and leads to the establishment and evolution of an ecosystem. As ecosystems mature from the colonization to the climax stage they change both in structure and function increasing biodiversity, complexity in terms of species interactions, biomass and recycling capacity. Their production/biomass ratios tend to decrease whereas areal production tends to increase as a result of more investment on structure. Environmental stresses may invert these trends. The changes in the icescape of the Arctic Ocean are consistent with an inversion of the ecological succession. The increasing frequency of FYI and young ice shows that most of the ice habitats are ephemeral, preventing the development of complex communities. As ice becomes younger and biologically “simpler”, its potential as a seed bank of young ice decreases further (Olsen et al. 2017), enhancing the impoverishment of ice associated communities. Sea-ice empirical and model results (Duarte et al. 2017) based on N-ICE2015 (Granskog et al. 2016) data, suggest that there may be important differences between pack ice with a thick snow cover and young ice in what concerns ice algal bloom dynamics. In the former, blooms have the following characteristics: (i) sustained for a longer period due to a higher nutrient “buffer” and a strong light limitation; (ii) possibly seeded from overwintering ice algae at the upper ice layers; (iii) with possibly several chl *a* maxima along the ice column, likely resulting from algal motion as a function of limiting factor gradients; (iv) higher areal net primary production (NPP) as a result of larger standing stocks of ice algae. In the latter, blooms are characterized by: (i) rapid nutrient exhaustion, as a result of fast non-light limited algal growth; (ii) total dependence on recruitment from the water column; (iii) only one chl *a* maximum located at bottom ice to overcome nutrient limitation. These differences are consistent with those between a more and a less mature ecosystem and, combined with the expected increasing trend in the frequency of young ice and refrozen leads may negatively impact

Arctic Ocean areal ice algal production with possible effects on the ice-associated food web and carbon sequestration.

Over the last decades there has been an increase in drift speeds and sea-ice deformation implying stronger fracturing and more lead opening (Rampal et al. 2009; Kwok et al. 2013). If these trends continue, it is likely that the frequency of refrozen leads will increase, impacting Arctic Ocean ecology. Phytoplankton blooms beneath snow-covered ice might become more frequent and widespread in the future Arctic Ocean with more lead formation due to thinner and more dynamic ice cover (Assmy et al. 2017). Higher maximal ice algal growth rates in thin ice lead to more pronounced blooms (sharper bloom peak) but also earlier nutrient exhaustion in the high-biomass ice bottom layer (shorter blooms), which may result in a reduction in ice algal vertically integrated NPP and standing stocks (per m²) in thin ice relative to what is observed in thicker ice, with an overwintering standing stock of ice algae (Duarte et al. 2017).

Based on what has been discussed above we attempt here a synthesis of predictable trends in the Arctic Ocean and along the MIZ, building on previous conceptual models (e.g. Wassmann & Reigstad 2011; Barber et al. 2015) and the growing evidence that sub-ice primary production may be of some significance and that this significance may increase with the changing ice regime (Mundy et al. 2009; Arrigo et al. 2012; Assmy et al. 2017; Horvat et al. 2017). These trends or footprints (following Wassmann et al. 2011) may be classified as: (i) increases in phytoplankton production hotspots under the pack ice; (ii) earlier ice algae and phytoplankton blooms; (iii) occurrence of autumn phytoplankton blooms related to a delayed freeze-up (Ardyna et al. 2014); (iv) decreases in ice algae areal production and standing stocks along the MIZ; (v) diversification of zooplankton strategies to cope with mismatches between algal blooms and zooplankton life cycles; (vi) replacement of Arctic species by boreal species in increasingly larger areas north of the MIZ; (vii) reduction of sea-ice biodiversity in young ice due to recruitment “bottlenecks”. Figure 4 synthesizes some of the footprints detailed above. The presence of light conduits such as ridges with limited snow cover and open areas that may lead to the formation of transparent thin ice, allow the passage of light and possibly the occurrence of under-ice phytoplankton blooms. Ice algae may begin blooming earlier than in areas located further north with thick ice and snow (upper scheme) and attaining lower standing stocks due to a larger proportion of young ice where ice algal build up may be recruitment limited (Olsen et al. 2017). As spring progresses, snow and ice melting terminate the ice algal bloom earlier than under the thick ice. Phytoplankton ice edge blooms are represented in both the middle and the upper schemes but with a time delay in the latter due to later melting. Also, in the middle scheme a phytoplankton autumn bloom is represented as a result of enhanced mixing and late freeze-up. The mixed layer depth near the ice edge may be deeper than under the ice due to: weaker stratification, in the absence of the less saline water resulting from ice melting; the effect of wind that may produce upwelling, depending on its direction in relation to the ice edge, and; baroclinic instabilities due to horizontal water density gradients across the MIZ.

Table 1. Reports of changes in Arctic plankton in response to climate change (adapted from Wassmann et al. 2011).

	Regions	Drivers	Footprints	References
Primary production	Arctic Ocean, Beaufort Sea	Sea ice changes	Increase	Arrigo et al. (2008), Pabi et al. (2008), Mundy et al. (2009), Arrigo & van Dijken (2011)
Under-ice phytoplankton blooms	Chukchi Sea, Canadian Arctic, Barents Sea	Sea ice changes	Increase	Mundy et al. (2009), Arrigo et al. (2012), Assmy et al. (2017)
Zooplankton abundance and compositions	West Greenland	Warming and altered circulation	Change in composition	Pedersen & Rice (2002)
	Kongsfjorden and Fram Strait	Warming and altered circulation	Increase	Hop et al. (2006)

Jellyfish	Bering Sea	Warming and altered circulation	Increase	Brodeur et al. (1999)
Pelagic amphipods	Kongsfjord, Svalbard	Altered circulation	Change in composition	Hop et al. (2006), Dalpadado et al. (2016)
Ice-associated amphipods	Arctic Ocean north of Svalbard	Sea ice changes	Decline	Barber et al. (2015)
Krill	Barents Sea	Altered circulation	Increase	Dalpadado et al. (2012), Eriksen et al. (2017)

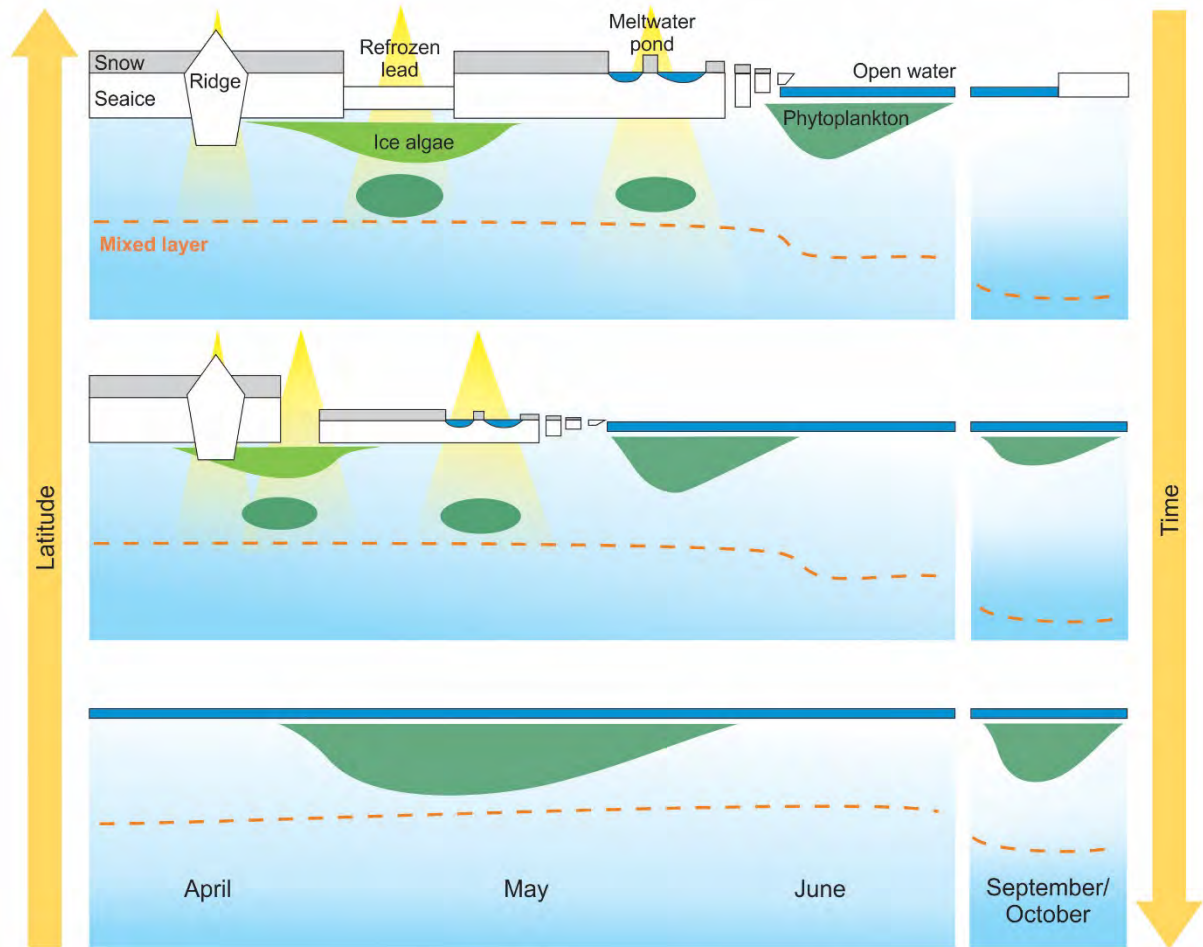


Figure 1. Conceptual model of spatial and temporal trends of ice algal and phytoplankton blooms in the Arctic Ocean. The lower scheme represents open water areas south of the MIZ with one spring and one autumn phytoplankton bloom. Also shown the mixed layer depth decreasing from early spring to summer and increasing in autumn. The middle and upper schemes show the situation at progressively higher latitudes with ice and snow (see left arrow). However, the same three figures may be used to represent a temporal gradient, evolving from the top to the bottom schemes (see right arrow). In the middle scheme thin ice and snow facilitate light transmission. Phytoplankton blooms represented by the green areas under open water (dark blue) and the green patches under sea ice. Ice algal blooms represented by the green areas adjacent to sea ice. Darker green represents higher chlorophyll standing stocks. RL stands for refrozen lead (see text). Ill.: P. Duarte/M. Daase.

4.4.3 Benthos

The benthic fauna, an integral component of the Arctic marine food web, has been associated with the overlying primary productivity regime (Tremblay et al. 2011) with observed benthic-pelagic

faunal relationships in ice-influenced areas in the Barents Sea (Wassmann et al. 2006a; Cochrane et al. 2009; Anisimova et al. 2011). Higher megabenthic secondary production was found in the seasonally ice-covered regions of the Barents Sea than in the permanently ice-free areas (Degen et al. 2016). Ongoing decrease of winter sea ice extent and the associated poleward movement of the seasonal ice edge point towards a distinct decline of benthic secondary production in the northern Barents Sea in the future. A significant portion of the energy flow in Arctic Ocean continental shelf communities may pass through the epibenthos (Piepenburg et al. 1995; Piepenburg & Schmid 1996). An example is echinoderms, often predominant on Arctic continental shelves, which play an important role in the redistribution and re-mineralisation of the organic carbon that reaches the seabed (Bluhm et al. 2009; Blicher & Sejv 2011). These organisms contribute significantly to the overall benthic biomass of the Arctic shelves despite their patchy distribution (Ambrose et al. 2001) and are reported as prey for demersal fish (Planque et al. 2014). A shift from an ice-influenced, tightly coupled, pelagic-benthic system to a less-coupled, ice-free system can be expected to result from future reductions in sea-ice cover. This shift would affect the distribution and production of benthic organisms in the Barents Sea, that most probably would also result in a northward shift in biogeographic boundaries (Kiyko & Pogrebov 1997; Galkin 1998; Wassmann et al. 2006a; Denisenko 2007). The snow crab (*Chionoecetes opilio*), a commercial fishing resource, is a non-native species (Alvsvåg et al. 2009) currently spreading westward from Russian to Norwegian waters (Jørgensen et al. 2015a) as far north as Svalbard. As the snow crab is a benthic predator (Squires & Dawe 2003), it might compete with other bottom feeding fish and benthic species. One important question asked is whether benthic consumers, especially the fish, would shift their diet from nutrient-rich benthic prey, capturing zooplankton organisms in the productive waters in the Arctic ice-melting zone (especially brittle stars and crustaceans), to nutrient poor prey organisms adapted to suspension-feeding and filtering microbial particles in less productive waters (bristle worms and bivalves). If benthic prey become less nutrient rich, benthic consumers might change prey, foraging areas, or become less abundant. Changes in benthic prey distribution should therefore be monitored regularly together with fish health (growth rate, condition factor), diet analyses and stomach fullness, parallel to isotopic values and fatty acid measures of prey and predator.

4.4.4 Fisk

Haug et al. (2017) diskuterte muligheter og begrensninger for framtidig høsting av fisk og andre marine ressurser i Polhavet. De betraktningene som er gjort der er også i stor grad relevante for fremtidig utvikling i iskantsonen, og teksten under bygger derfor i stor grad på denne artikkelen og referansene i den.

Mens beiteområdene for fisk ofte endres (utvides/krymper/flytter seg), er gyteområdene og vandringsmønsteret mellom gyte-, beite- og overvintringsområder mere stabile. For mange arter utgjøres vandringsmønsteret blant annet av en motstrøms gytevandring, passiv drift av egg og larver tilbake til oppvekstområdet samt vandringer mellom oppvekst-, beite- og overvintringsområder. Så langt virker det ikke som utvidelsen av beiteområder nordover har hatt nevneverdig påvirkning på gyteområdene for fisk, selv om man kan tenke seg at avstanden mellom beite og gyteområder er en begrensende faktor for vandringsmønsteret.

Dersom økte temperaturer i nåværende gyteområder får arter til å forlate disse områdene, vil artens fortsatte eksistens i området være avhengig av om den kan etablere nye og mer nordlige eller østlige gyteområder og nye oppvekst-, beite og overvintringsområder. Om dette er mulig, avhenger både av topografiske og hydrografiske forhold, havstrømmer og bunnforhold for arter som lodde som gyter på bunnen). Det finnes historisk informasjon om at arter som torsk og lodde har hatt spredt gyting i

mer nordlige og østlige områder enn dagens områder langs kysten av Norge (og kysten av Russland for lodde).

Utbredelsen av torsk og hyse antar man er begrenset mot Polhavet av dybdeforhold, siden disse bunntilknyttede artene vanligvis ikke går dypere enn rundt 500 meter. Ingvaldsen et al. (2017) fant likevel at små mengder torsk oppholder seg pelagisk på dyp ned til 500 meter også i dypere områder (500-2000 meter) nord og vest for Svalbard.

Lodda har ikke flyttet seg nordover i de siste årene, men kan utvide utbredelsen nordover dersom produksjonen og dermed mattilgangen er tilstrekkelig i nordlige områder. For en så pass liten fisk som lodde vil avstanden til gyteområdene være mer begrensende enn for større fisk som for eksempel torsk.

Blåkveite, uer og reker finnes i dag i skråningen mot dyphavet vest og nord for Svalbard, i tillegg til på grunnere vann inne i Barentshavet. Reke har det siste tiåret forflyttet seg østover i Barentshavet, og denne tendensen kan bli forsterket ved økende temperatur. Oppvekstområdet for blåkveite strekker seg allerede i dag øst til det nordlige Karahav og området nord for Frans Josef Land, men kan neppe strekke seg stort lenger nordover enn i dag. Således vil en nordoverflytting av iskantsonen kunne gjøre at blåkveite blir en viktigere art i iskantsonen enn den er i dag. Uer er mindre bunntilknyttet og vil kunne flytte seg inn i Polhavet.

De store pelagiske og planktonspisende bestandene som i dag finnes sør for iskantsonen (ungsild, ung kolmule, eventuelt også makrell dersom den vandrer inn i Barentshavet) vil trolig fortsette å være sør for iskantsonen på grunn av temperaturpreferansene. En betydelig del av dyreplanktonet i Barentshavet blir advektert inn fra sørligere områder. Beitingen på dyreplankton fra disse pelagiske bestandene kan øke dersom de dekker en større del av Barentshavet enn før, og dette vil igjen kunne påvirke for eksempel mattilbudet for lodde negativt.

4.4.5 Sjøfugl

Et varmere hav vil føre til at et arktisk næringsnett, dominert av polartorsk og fettrike dyreplankton, erstattes av et subarktisk system dominert av krill, lodde og torsk. Denne forskyvningen vil ha negative konsekvenser for flere arktiske sjøfuglarter. En omfattende reduksjon i isens utbredelse vil være spesielt dramatisk for spesialiserte arter som ismåke, men også for mindre spesialiserte arter som polarmåke, polarlomvi og alkekonge.

Noen arter benytter iskantsonen som næringsområde mest om høsten og våren, mens andre søker dit gjennom hele året. De artene som er avhengige av isen og iskanten i hekketiden vil kunne utnytte dette habitatet så lenge isen er innenfor akseptabel avstand fra hekkeområdene. Noen arter vil trolig kunne forskyve hekkeområdene nordover i takt med reduksjonen i isens utbredelse. Det er imidlertid mulig at isen reduseres så raskt at den om ganske få år ikke lenger kan utnyttes som næringsområde for sjøfugl om sommeren. Dette vil føre til kraftig bestandsnedgang og kanskje utdøing av enkelte arter, for eksempel ismåke (Anker-Nilssen & Strøm 2010).

Storskala endringer i byttedyrenes vandringer i tid og rom kan få alvorlige følger for sjøfuglene. I de mest kritiske periodene er god timing med forekomstene av byttedyr en forutsetning for suksess. Sjøfuglene er i utgangspunktet mobile organismer som kan søke næring over store områder, men i hekkesesongen er de avhengige av en sikker forekomst av næring i akseptabel avstand fra koloniene. På lang sikt kan bortfall av byttedyr som følge av økt temperatur i noen grad oppveies av at nye,

sørlige arter kommer inn som erstatning, men det er grunn til å forvente betydelige endring i sjøfuglsamfunnene. Jo raskere endringene er, jo større problemer vil sjøfuglene ha for å tilpasse seg.

Endringer i artenes utbredelse vil som regel først gjøre seg gjeldene i kanten av deres utbredelsesområde. Nordlige arter vil forskyves nordover, og bli erstattet av sørlige arter. Endringer i hekketidspunkt og trekkperioder er trolig noen av de første responser vi vil se. Konkurransforhold vil kunne endre seg, og nye sykdommer kan gjøre seg gjeldende.

Sjøfuglene våre er i dag under press fra flere menneskeskapt faktorer. Endringer i klimaet, med påfølgende endringer i sjøfuglenes næringsgrunnlag og habitat, vil utgjøre et ytterligere stress for mange arter. Disse faktorene vil ofte ha større effekt når de virker sammen enn enkeltvis. Et godt eksempel er miljøgifter, hvor bestander som opplever gode miljøforhold i liten grad påvirkes av selv høye nivåer, mens i perioder med dårlig næringstilgang tærer fuglene på fettlagrene og miljøgiftene frigjøres fra kroppsfett til blod. De fysiologiske effektene av de frigjorte miljøgiftene kan bidra til redusert hekkesuksess og overlevelse, med påfølgende bestandsnedgang.

4.4.6 Marine pattedyr

Ettersom det blir varmere i Arktis vil de stedfaste marine pattedyrartene utsettes for ekstreme endringer i sine leveområder. Dette skyldes da i første rekke endringer i isforholdene, men i tillegg vil økte hav (og luft) temperaturer bringe med seg nye byttedyrarter og potensielt reduksjon eller tap av de svært lipidrike byttedyrartene som de arktiske marine pattedyrene tradisjonelt spiser (Kovacs & Lydersen 2008; Kovacs et al. 2011). Sympagiske byttedyr vil per definisjon bli borte der isen forsvinner fra, samt at forholdet mellom årsis og flerårsis i iskantsonen også vil kunne endre sammensetningen av denne istilknyttede faunaen. De stedege sjøpattedyrene vil i tillegg oppleve konkurranse fra andre tradisjonelt sydlige sjøpattedyr og fiskebestander, økt predasjon fra f. eks. spekkhuggere når isforholdene og vanntemperaturene endres, økt eksponering for nye parasitter, sykdommer og forurensningsstoffer (Kovacs & Lydersen 2008; Kovacs et al. 2011; Bogstad et al. 2015). At isen gradvis forsvinner åpner nye tidligere utilgjengelige områder for menneskelige aktiviteter som turisme, fiskeri og oljerelatert industri.

En konsekvens av at iskantsonen trekker seg lengre nordover er at den etter hvert vil befinne seg over det dype Nordishavet i steder for over grunnere områder i nordlige Barentshavet. Dette har allerede vist seg å ha konsekvenser blant annet for ringselene på Svalbard. Satellittsporing av vandringene til ringsel i perioden hvor sommer-isen lå over sokkelen er blitt sammenliknet med tilsvarende vandring med sommerisen slik den er i dag som er nord for eggakanten og over det dype Nordishavet. Resultatene av disse sporingene viser at ringsel i dagens situasjon svømmer lenger, dykker lenger, er mindre tid i overflaten mellom dykk, hviler mindre oppe på isen hver dag og generelt har en mindre romlig begrenset forårsjæringsaktivitet (Hamilton et al. 2015b; figur 1). Dette viser klart at selene må jobbe mere for å finne mat og da at energikostnadene forbundet med denne aktiviteten har øket. Dette vil potensielt ha effekter for vekst, alder ved kjønnsmodning, reproduksjon og overlevelse (Hamilton et al. 2015b). Det er også gjort studier som tyder på at hvis iskantsonen befinner seg lengre enn 6-700 km nord for Svalbard så vil det ikke være energimessig fornuftig å vandre så langt, under forutsetning av at de ikke spiser på veien og skal tilbake igjen til Svalbards kyster om høsten slik selene gjør i dagens situasjon (Freitas et al. 2008b).

Ringsel som oppholder seg i iskantsonen er vist å foretrekke iskonsentrasjoner på 40-80 % (Freitas et al. 2008a; Hamilton et al. 2015b). Denne iskonsentrasjonen foretrekker, kanskje ikke overraskende, også isbjørnene som oppholder seg i iskantsonen (Lone et al. 2017). Hvis ringselene, som er hovedbyttedyret for isbjørnen i området, ligger mindre oppe og hviler vil dette da også kunne ha konsekvenser for jaktsuksess til isbjørnene som oppholder seg her (Hamilton et al. 2015b). Hvis

iskantsonen ligger langt nord for Svalbard vil isbjørnen som oppholder seg der få problemer med å nå land som er yngleområdet for Svalbards isbjørner. Det er f. eks. vist at hvis ikke sjøisen ligger inn mot Hopen eller Kongsøya før en gang i november fører dette til en stor reduksjon i antall registrerte hi i disse to områdene (Derocher et al. 2011; Aars 2013). På samme måte vil isforholdene når binnene kommer ut av hi være avgjørende for om disse kan komme til iskantsonen å jakte. Isbjørn er svært dyktige svømmere og er registrert å kunne svømme kontinuerlig i dagevis (Pilford et al. 2017), men de små årsungene vil ikke kunne tåle å svømme i lengre perioder i det kalde Arktiske vannet (Aars & Plumb 2010).

Storkobber foretrekker grunne områder hvor de finner maten sin nær, på eller i bunnen (Hjelset et al. 1999; Krafft et al. 2000). Så lenge iskanten finnes over sokkelen i Barentshavet eller sokkelen nord for Svalbard er dette storkobbehabitat. Både for kasting i mai (Kovacs et al. 1996), hårfelling deretter og furasjering året rundt. Når iskanten etter hvert trekker seg over det dype Nordishavet er ikke iskantsonen lenger noe foretrukket habitat for denne selarten. De er da også mer og mer observert å bruke land og isbrekalvinger som hvileplattform i kystnære farvann på Svalbard (Lydersen et al. 2014). En annen faktor som kan være av betydning i denne sammenheng er at hvis isen blir borte vil dette kunne føre til en reduksjon i mattilbudet for denne selarten da mangel på sympagisk produksjon som synker til bunns og nyttiggjøres av disse organismene vil bli redusert eller opphøre.

Både grønlandssel og klappmyss yngler i iskantsonen. For dyrene som yngler i Vestisen har denne kommet nærmere og nærmere kysten av Grønland og eksponert dyrene for en større grad av predasjon fra isbjørn, samt at isforholdene er så dårlige med mye vann i mellom flakene slik at også spekkhuggere kan nå inn hit (Øigård et al. 2014). Dårlige isforhold gjør også at flakene ungene kastes på er mye mer eksponert for vær, vind og bølger, noe som kan føre til at mange unger faller av isflakene og dør som følge av drukning, utmattelse, eller fryser ihjel som er vist i vestligere bestander av grønlandssel (Stenson & Hammill 2014). For denne arten er det i disse områdene også påvist reduksjon i reproduksjonsrater antakelig som følge av endringer i byttedyrfaunaen som resulterer i at dyrene er i dårligere kondisjon (Stenson et al. 2016). Tilsvarende effekter må forventes å også finne sted for disse artene i iskantsonen i våre farvann.

Hvalross yngler dypt inne i iskantsonen om våren som per idag er å finne over sokkelområdene i Barentshavet (Freitas et al. 2009; Lowther et al. 2015). Isen her inne er rolig og ikke særlig påvirket av vær og vind, som gjør at de har stabile yngle- og die-plattformer, det er grunt nok til at mødrene kan finne mat på bunnen og de er beskyttet fra eventuell predasjon fra spekkhuggere. Hvis vinterisen trekker seg nord for sokkelen vil det være for dypt til at mødrene vil kunne finne mat i denne perioden og de vil da antakelig måtte yngle på land. Konsekvenser av dette vet vi ikke, men en større sjanse for ungene til å bli knust når det er uro i flokkene er rimelig å anta, sett i perspektiv av hva som er beskrevet fra store liggeplasser på land fra stillehavshvalross (Jay et al. 2011). En annen følge for hvalrossene av fremtidig mangel på is i disse områdene vil være, som nevnt over for storkobber, en potensiell reduksjon av bentiske byttedyr som følge av mangel på sympagisk produksjon som synker til bunns og nyttiggjøres av disse organismene.

Et varmere klima vil også for de tre stedegne hvalartene kunne medføre endringer i de lipidrike byttedyrene, som kan være potensielt kritisk for grønlandshval som i dag er avhengig av svært lipidrike arktiske kopepoder og amfipoder. Isens beskyttende effekt med hensyn til predasjon fra spekkhuggere vil kunne bli redusert eller falle bort, noe som har blitt påvist i andre steder av Arktis (Ferguson et al. 2010). Som nevnt innledningsvis vil konkurranse fra sørligere arter samt eksponering for nye sykdommer og parasitter potensielt kunne være et problem for de stedegne hvalartene, og hvis mer utslipp av ulike forurensningsstoffer som følge av klimaendringer lengre sør når iskantsonen

vil dette være alvorlig for narhval og hvithval som allerede har ekstremt høye konsentrasjoner av ulike forurensningsstoffer i seg (Andersen et al. 2001, 2006; Wolkers et al. 2006).

4.5 Referanser modul 2, 3 og 4

- Aars J. 2013. Variation in detection probability of polar bear maternity dens. *Polar Biology* 36, 1089-1096.
- Aars J., Marques T.A, Lone K., Anderson M., Wiig Ø., Fløystad I.M.B., Hagen S.B. & Buckland S.T. 2017. The number and distribution of polar bears in the western Barents Sea. *Polar Research* 36, (1), 1374125.
- Aars J. & Plumb A. 2010. Polar bear cubs may reduce chilling from icy water by sitting on mother's back. *Polar Biology* 33, 557-559.
- Ahonen H., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2017. The soundscape where Spitsbergen's critically endangered bowhead whales breed. *Research notes - Fram Forum* 2017, 72-75.
- Alvsvåg J., Agnalt A.L., & Jørstad K. 2009. Evidence for a permanent establishment of the snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the Barents Sea. *Biol. Invasion* 11, 587-595.
- Ambrose Jr W.G. & Renaud P.E. 1995. Benthic response to water column productivity patterns: evidence for benthic pelagic coupling in the Northeast Water Polynya. *Journal of Geophysical Research Oceans* 100, 4411-4421.
- Ambrose Jr. W.G., Clough L., Tilney P. & Beer L. 2001. Role of echinoderms in benthic remineralization in the Chukchi Sea. *Mar. Biol.* 139, 937-949.
- Anisimova N.A., Jørgensen L.L., Lubin P. & Manushin I. 2010. Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Results of the joint Russian Norwegian Benthic Vulnerability of megabenthic species to trawling in the Barents Sea Benthic Program 2006-2008. *IMR/PINRO Joint Report Series 2009(1)*. 114 pp.
- Anisimova N.A., Jørgensen L.L., Lubin P. & Manushin I. 2011. Benthos. Pp. 121-159 in Jakobsen T., Ozhigin V.K. (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, Resources, Management. Half a Century of Russian-Norwegian Cooperation*. Tapir Academic Press, Trondheim.
- Andersen E.S., Grefsrud S. & Harboe T. 2013. Effect of increased pCO₂ level on early shell development in great scallop (*Pecten maximus* Lamarck) larvae. *Biogeosciences* 10, 6161-6184, doi:10.5194/bg-10-6161-2013
- Andersen G., Foreid S., Skaare J.U., Jenssen B.M., Lydersen C. & Kovacs, K.M. 2006. Levels of toxaphene congeners in white whales (*Delphinapterus leucas*) from Svalbard, Norway. *Sci. Total Environ.* 357, 128-137.
- Andersen G., Kovacs K.M., Lydersen C., Skaare J.U., Gjert I. & Jenssen B.M. 2001. Concentrations and patterns of organochlorine contaminants in white whales (*Delphinapterus leucas*) from Svalbard, Norway. *Sci. Total Environ.* 264, 267-281.
- Andersen L.W., Lydersen C., Frie A.K., Rosing-Asvid A., Hauksson E. & Kovacs K.M. 2011. A population on the edge: genetic diversity and population structure of the world's northernmost harbour seals (*Phoca vitulina*). *Biol. J. Linn. Soc.* 102, 420-439.
- Anderson L.G., E. Falck E., Jones E.P., Jutterstrom S. & Swift J.H. 2004. Enhanced uptake of atmospheric CO₂ during freezing of seawater: A field study in Storfjorden, Svalbard. *Journal of Geophysical Research* 109, C06004, doi:10.1029/2003JC002120
- Anderson L.G., Andersson P.S., Björk G, Jones E.P., Jutterström S. & Wåhlström I. 2013. Source and formation of the upper halocline of the Arctic Ocean. *J. Geophysical Research: Oceans Vol.* 118, 410-421, doi:10.1029/2012JC008291
- Anker-Nilssen T. & Strøm H. 2010. Nytt klima for sjøfugl. *Ottar* 283, 73-81.
- Ardyna M., Babin, M., Gosselin M, Devred E, Rainville L. & Tremblay J.-É. 2014. Recent Arctic Ocean sea ice loss triggers novel fall phytoplankton blooms. *Geophys. Res. Lett.* 41, doi:10.1002/2014GL061047
- Arrigo K.R., Perovich D.K., Pickart R.S., Brown Z.W., van Dijken G.L., Lowry K.E., Mills M.M., Palmer, M.A., Balch W.M., Bahr F., Bates N.R., Benitez-Nelson C., Bowler B., Brownlee E., Ehn J.K., Frey K.E., Garley R., Laney S.R., Lubelczy, L., Mathis J., Matsuoka A., Mitchell B.G., Moore G.W.K., Ortega-Retuerta E., Pal S., Polashenski C.M.,

- Reynolds R.A., Schieber B., Sosik H.M., Stephens M. & Swift J.H. 2012. Massive Phytoplankton Blooms Under Arctic Sea Ice. *Science* 336(6087), 1408-1408.
- Arrigo K.R., van Dijken G. & Pabi S. 2008. Impact of a shrinking Arctic ice cover on marine primary production. *Geophys. Res. Lett.* 35, 1–6.
- Arrigo K.R. & van Dijken G.L. 2011. Secular trends in Arctic Ocean net primary production. *J. Geophys. Res.* 116, C09011, doi:10.1029/2011JC007151
- Arrigo K.R. & van Dijken G.L. 2015. Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Progress in Oceanography* 136, 60-70.
- Assmy P., Ehn J.K., Fernandez-Mendez M., Hop H., Katlein C., Sundfjord A., Bluhm K., Daase M., Engel A., Fransson A., Granskog M.A., Hudson S.R., Kristiansen S., Nicolaus M., Peeken I., Renner A.H.H., Spreen G., Tatarek A., Wiktor J. 2013. Floating Ice-Algal Aggregates below Melting Arctic Sea Ice. *PLoS ONE* 8(10), e76599. doi:10.1371/journal.pone.0076599
- Assmy P., Fernández-Méndez M, Duarte P., Meyer A., Randelhoff A., Mundy C.J., Olsen L.M., Kauko, H.M., Bailey A., Chierici M., Cohen, L., Doulgeris A.P., Ehn J.K., Fransson A., Gerland S., Hop H., Hudson S.R., Hughes N., Itkin P., Johnsen G., King J.A., Koch, B.P., Koenig Z., Kwasniewski S., Laney S.R., Nicolaus M., Pavlov A.K., Polashenski C.M., Provost C., Rösel A., Sandbu M., Spreen G., Smedsrud L.H., Sundfjord A., Taskjelle T., Tatarek A., Wiktor J., Wagner P.M., Wold A, Steen H. & Granskog, M.A. 2017. Leads in Arctic pack ice enable early phytoplankton blooms below snow-covered sea ice. *Sci. Rep.* 7, 40850, doi:10.1038/srep40850
- Azevedo I.C., Bordalo A.A. & Duarte P. 2014. Influence of freshwater inflow variability on the Douro estuary primary productivity: a modelling study. *Ecol. Model.* 272, 1–15.
- Bailey A., Thor P., Browman H.I., Fields D.M., Runge J., Vermont A., Bjelland R., Thompson C., Shema S., Durif C.M.F. & Hop H. 2016. Early life stages of the Arctic copepod *Calanus glacialis* are unaffected by increased seawater pCO₂. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsw066.
- Bakken V. & Mehlum F. 1988. AKUP - Sluttrapport. Sjøfuglundersøkelser i Barentshavet Syd nord for N 74° /Bjørnøya. Norsk Polarinst. Rapp. Ser. nr. 44, 127 pp + Appendix
- Barber D.G., Hop H., Mundy C.J., Else B., Dmitrenko I.A., Tremblay J.-E., Ehn J.K., Assmy P., Daase M., Candlish L.M. & Rysgaard S. 2015. Selected physical, biological and biogeochemical implications of a rapidly changing Arctic Marginal Sea Ice Zone. *Progress in Oceanography* 139, 122-150.
- Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C. & Barlaz M.A. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364, 1985–98, doi:10.1098/rstb.2008.0205
- Blanchet M.-A., Lydersen C., Ims R.A., Lowther A.D. & Kovacs K.M. 2014. Harbour seal *Phoca vitulina* movement patterns in the high-Arctic archipelago of Svalbard, Norway. *Aquat. Biol.* 21, 167-181.
- Blanchet M.-A., Lydersen C., Ims R.A. & Kovacs K.M. 2015. Seasonal, oceanographic and atmospheric drivers of diving behaviour in a temperate seal species living in the high Arctic. *PLoS ONE* 10, 1-28.
- Blicher M.E. & Sejr M.K. 2011. Abundance, oxygen consumption and carbondemand of brittle stars in Young Sound and the NE Greenland shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 422, 139–144. Bluhm B.A., Iken K., Mincks H.S., Sirenko B.I., Holladay B.A. 2009. Communitystructure of epibenthic megafauna in the Chukchi Sea. *Aquat. Biol.* 7, 269–293.
- Boetius A., Albrecht S., Bakker K., Bienhold C., Felden J., Fernandez-Mendez M., Hendricks S., Katlein C., Lalande C., Krumpen T., Nicolaus M., Peeken I., Rabe B., Rogacheva A., Rybakova E., Somavilla R., Wenzhofer F. 2013. Export of algal biomass from the melting Arctic sea ice. *Science*, 339(6126), 1430-1432.
- Bogstad B., Gjørseter H., Haug T. & Lindstrøm U. 2015. A review of the battle for food in the Barents Sea: Cod vs. marine mammals. *Frontiers in Ecology and Evolution*, section Interdisciplinary Climate Studies. *Front. Ecol. Evol.* 3:29, doi:10.3389/fevo.2015.00029

- Brodeur R.D., Mills C.E., Overland J.E., Walters G.E. & Schumacher J.D. 1999. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fish. Oceanogr.* 8, 296–306.
- Brown T.A., Assmy P., Hop H., Wold A. & Belt S.T. (in revision) Transfer of ice algae carbon to ice-associated amphipods in the high-Arctic pack ice environment. *Journal of Plankton Research*.
- Brussaard C.P.D., Noordeloos A.A.M., Witte H., Collenteur M.C.J., Schulz K., Ludwig A. & Riebesell, U. 2013. Arctic microbial community dynamics influenced by elevated CO₂ levels. *Biogeosciences* 10, 719-731.
- CAFF. 2017. *State of the Arctic Marine Biodiversity Report*. Conservation of Arctic Flora and Fauna International Secretariat, Akureyri, Iceland. 978-9935-431-63-9
- Carlens H., Lydersen C., Krafft B.A. & Kovacs K.M. 2006. Spring haul-out behavior of ringed seals (*Pusa hispida*) in Kongsfjorden, Svalbard. *Mar. Mammal Sci.* 22(2), 379-393.
- Carroll M.L. & Carroll J. 2003. *The Arctic Seas*. Pp. 127-156 in Black K. & Shimmield G. (eds.) *Biogeochemistry of Marine Systems*, Blackwell Publ Ltd, Oxford.
- Carroll M.L. & Ambrose Jr W.G. 2012. Benthic infaunal community variability on the northern Svalbard shelf. *Polar Biology* 35, 1259_72.
- Cavaliere D.J., Parkinson C.L., Gloersen P. & Zwally H. 1996. Sea Ice Concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I-SSMIS Passive Microwave Data, Version 1.
https://nsidc.org/data/docs/daac/nsidc0051_gsfc_seaice.qd.html
- Chamnansinp A., Li Y., Lundholm N. & Moestrup Ø. 2013. Global diversity of two widespread, colony-forming diatoms of the marine plankton, *Chaetoceros socialis* (Syn. *C. radians*) and *Chaetoceros gelidus* sp. nov. *Journal of Phycology* 49, 1128-1141.
- Chierici M. & Fransson A. (2009). Calcium carbonate saturation in the surface water of the Arctic Ocean: undersaturation in freshwater influenced shelves. *Biogeoscience* 6, 2421-2432.
- Chierici M., Skjelvan I., Bellerby R., Norli M., Lunde Fonnes L., Lødemel Hodal H., Børsheim K.Y., Lauvset K.S., Johannessen T., Sørensen K. & Yakushev E. 2014a. Overvåking av havforsuring i norske farvann, *Miljødirektoratet, Report TA218-2014*.
- Chierici M., Fransson A., Granskog M.A., Dodd P., Hansen E. & Stedmon C. 2014b. Ocean Acidification state in Arctic exchange waters – teleconnectivity. *Oral presentation at the Marine Day in Norway-Japanese Science symposium*, 1-5th June, Tokyo, Japan, invited.
- Chierici M., Skjelvan I., Norli M., Børsheim K.Y., Lauvset S.K., Lødemel Hodal H., Sørensen K., King A.L., Kutti T., Renner A., Omar A. & Johannessen T. 2016. Havforsuringsovervåking i norske farvann i 2015 / Monitoring of ocean acidification in Norwegian seas in 2015. *Miljødirektoratet, Report M-573/2016*.
- Cochrane S.K.J., Denisenko S.G., Renaud P.E., Emblow C.S., Ambrose Jr. W.G., Ellingsen I.H. & Skardhamar J. 2009. Benthic macrofauna and productivity regimes in the Barents Sea – ecological implications in a changing Arctic. *J. SeaRes.* 61, 222–233.
- Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., Goodhead R., Moger, J. & Galloway T.S. 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology* 47, 6646–6655.
- Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C. & Galloway T.S. 2015. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science & Technology* 49, 1130–1137.
- Cota G.F., Smith W.O.Jr. & Mitchell B. 1994. Photosynthesis of *Phaeocystis* in the Greenland Sea. *Limnol. Oceanogr.* 39, 948-953.
- Crain C.M., Kroeker K. & Halpern B.S. 2008. Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters* 11, 1304-1315.

- Cozar A., Marti E., Duarte C.M., Garcia-de-Lomas J., van Sebille, E., Ballatore, T.J., Eguiluz V.M., Gonzalez-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarria F., Trouble R. & Irigoien X. 2017. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the thermohaline circulation. *Science Advances* 3, e1600582.
- Daase M., Falk-Petersen S., Varpe O., Darnis G., Soreide J.E., Wold A., Leu E., Berge J., Philippe B. & Fortier L. 2013. Timing of reproductive events in the marine copepod *Calanus glacialis*: a pan-Arctic perspective. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 70, 871–884, dx.doi.org/10.1139/cjfas-2012-0401
- Dalpadado P., Hop H., Rønning J., Pavlov V., Sperfeld E., Buchholz F., Rey A. & Wold A. 2016. Distribution and abundance of euphausiids and pelagic amphipods in Kongsfjorden, Isfjorden and Rijpfjorden (Svalbard) and changes in their relative importance as key prey in a warming marine ecosystem. *Polar Biology* 39, 1765–1784.
- Dalpadado P., Ingvaldsen R.B., Stige L.C., Bogstad B., Knutsen T., Ottersen G. & Ellertsen B. 2012. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics. *ICES J. Mar. Sci.* 69, 1303–1316, doi:10.1093/icesjms/fss063
- Deal C., Jin M.B., Elliott S., Hunke, E., Maltrud, M. & Jeffery, N. 2011. Large-scale modeling of primary production and ice algal biomass within Arctic sea ice in 1992. *Journal of Geophysical Research – Oceans* 116, C07004. <http://dx.doi.org/10.1029/2010jc006409>
- Degen R., Jørgensen L.L., Ljubin P., Ellingsen I.H., Pahlke H. & Brey T. 2016. Patterns and drivers of megabenthic secondary production on the Barents Seashelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 546, 1–16,
- Denisenko S.G. 2007. Zoobenthos of the Barents Sea in the conditions of the variable climate and anthropogenic influence. Pp. 418-511 in Tarasov V.G. (ed.), *Dynamics of Marine Ecosystem and Modern Problem of Conservation of Biological Resources of the Russian Seas*. Dalnauka, Vladivostok, In Russian.
- Descamps S., Aars J., Fuglei E., Kovacs K.M., Lydersen C., Pavlova O., Pedersen Å.Ø., Ravolainen V. & Strøm H. 2017. Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago - Svalbard, Norway. *Global Change Biol.* 23, 490-502.
- Descamps S., Strøm H. & Steen H. 2013. Decline of an arctic top predator: synchrony in colony size fluctuations, risk of extinction and the subpolar gyre. *Oecologia*, doi:10.1007/s00442-013-2701-0
- Degerlund M. & Ellertsen C.H. 2010. Main Species Characteristics of Phytoplankton Spring Blooms in NE Atlantic and Arctic Waters (68-80A degrees N). *Estuaries and Coasts* 33(2), 242-269.
- Derocher A.E., Andersen M., Wiig Ø., Aars J., Hansen E. & Biuw M. 2011. Sea ice and polar bear den ecology at Hopen Island, Svalbard. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 441, 273–279.
- Derocher A.E., Wolkers H., Colborn T., Schlabach M., Larsen T.S. & Wiig O. 2003. Contaminants in Svalbard polar bear samples archived since 1967 and possible population level effects. *Sci. Total Environ.* 301, 163-74.
- Dodd P.A., Rabe B., Hansen E., Falck E., Mackensen A., Rohling E., Stedmon C. & S. Kristiansen. 2012. The freshwater composition of the Fram Strait outflow derived from a decade of tracer measurements. *J. Geophys. Res.* 117, C11005, doi:10.1029/2012JC008011
- Doney S.C., Ruckelshaus M., Duffy J.E., Barry J.P., Chan F., English C.A., Galindo H.M., Grebmeier J.M., Hollowed A.B., Knowlton N., Polovina J., Rabalais N.N., Sydeman W.J. & Talley L.D. 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4, 11-37.
- Duarte P., Azevedo B., Guerreiro M., Ribeiro C., Bandeira R., Pereira A., Falcão M., Serpa D. & Reia J. 2008. Biogeochemical modelling of Ria Formosa (South Portugal). *Hydrobiologia* 611, 115–132.
- Duarte P., Assmy P., Hop H., Spreen G., Gerland S. & Hudson S.R. 2015. The importance of vertical resolution in sea ice algae production models. *J. Marine Syst.* 145, 69-90.
- Duarte P., Meyer A., Olsen L.M., Kauko H.M., Assmy P., Rösel A., Itkin P., Hudson S.R., Granskog M.A., Gerland S., Sundfjord A., Steen H., Hop H., Cohen L., Peterson A.K., Jeffery N., Elliot S.M., Hunke E.C. & Turner A.K. 2017. Sea-ice thermodynamics and biogeochemistry in the Arctic Ocean: empirical and model results. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2016JG003660

- Ellingsen I.H., Dalpadado P., Slagstad D. & Loeng H. 2008. Impact of climatic change on the biological production in the Barents Sea. *Climatic Change* 87 (1–2), 155–175, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-007-9369-6>
- Engelsen O., Hegseth E.N., Hop H., Hansen E. & Falk-Petersen S. 2002. Spatial variability of chlorophyll-a in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea, with relations to sea ice and oceanographic conditions. *Journal of Marine Systems* 35 (1–2), 79–97.
- Eriksen E., Skjoldal H.R., Gjørseter H. & Primicerio R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming. *Progress in Oceanography* 151, 206–226.
- Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Bornerro J.C., Galgani F., Ryan P.G. & Reisser J. 2014. Plastic pollution in the World's oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLOS ONE* 9, e111913.
- Falk-Petersen S., Hop H., Budgell W.P., Hegset, E.N., Korsnes R., Løyning T.B., Ørbæk, J.B., Kawamura T. & Shirasawa K. 2000. Physical and ecological processes in the Marginal Ice Zone of the northern Barents Sea during the summer melt period. *Journal of Marine Systems* 27, 131–159.
- Fauchald P. 2011. Sjøfugl i åpent hav. Utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder. *NINA Rapport 786*, 33 s.
- Fauchald P., Barrett R.T., Bustnes J.O., Erikstad K.E., Nøttestad L., Skern-Mauritzen M. & Vikebø F.B. 2015. Sjøfugl og marine økosystemer. Status for sjøfugl og sjøfuglenes næringsgrunnlag i Norge og på Svalbard. *NINA Rapport 1161*, 44 pp.
- Fauchald P., Ziryanov S.V., Borkin I.V., Strøm H. & Barrett R.T. 2011. Seabirds of the Barents Sea. Pp. 373–394 in Jakobsen T. & Ozhigin V.K. (eds.) *The Barents Sea. Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Tapir Academic Press, Trondheim.
- Feng Z., Ji R., Campbell R.G., Ashjian C.J. & Zhang J. 2016. Early ice retreat and ocean warming may induce copepod biogeographic boundary shifts in the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res. Oceans* 121, doi:10.1002/2016JC011784
- Ferguson S.H., Higdon J.W. & Chmelnitsky E.G. 2010. The rise of killer whales as a major arctic predator. Pp 117–136 in Ferguson S.H., Loseto L.L. & Mallory M.L. (eds.) *A little less Arctic. Top predators in the world's largest northern inland sea*. Hudson Bay. Springer, New York.
- Folkow L.P. & Blix A.S. 1999. Diving behaviour of hooded seals (*Cystophora cristata*) in the Greenland and Norwegian Seas. *Polar Biology* 22, 61–74.
- Folkow L.P., Nordøy E.S. & Blix A.S. 2010. Remarkable development of diving performance and migrations of hooded seals (*Cystophora cristata*) during their first year of life. *Polar Biology* 33, 433–441.
- Forsström S., Gerland S. & Pedersen C.A. 2011. Thickness and density of snow-covered sea ice and hydrostatic equilibrium assumption from in situ measurements in Fram Strait, the Barents Sea and the Svalbard coast. *Annals of Glaciology* 57 (52), 261–270.
- Fort J., Moe B., Strøm H., Gremillet D., Welcker J., Schultner J., Jerstad K., Johansen K.L., Phillips R.A. & Mosbech A. 2013. Multicolony tracking reveals potential threats to little auks wintering in the North Atlantic from marine pollution and shrinking sea ice cover. *Diversity and Distributions* 19, 1322–1332.
- Fossheim M., Primicerio R., Johannesen E., Ingvaldsen R.B., Aschan M.M. & Dolgov A.V. 2015. Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. *Nature Climate Change* 5, 673–677.
- Fransson A., Chierici M., Hop H., Findlay H.S., Kristiansen S. & Wold A. 2016. Late winter-to-summer change in ocean acidification state in Kongsfjorden, with implications for calcifying organisms. *Polar Biology* 39, 1841–1857.
- Freitas C., Kovacs K.M., Ims R.A., Fedak M.A. & Lydersen C. 2008a. Ringed seal post-moulting movement tactics and habitat selection. *Oecologia* 155, 193–204.

- Freitas C., Kovacs K.M., Ims R.A. & Lydersen, C. 2008b. Predicting habitat use by ringed seals (*Phoca hispida*) in a warming Arctic. *Ecol. Model.* 217, 19-32.
- Freitas C., Kovacs K.M., Ims R.A., Fedak M.A. & Lydersen C. 2009. Deep into the ice: over-wintering and habitat selection in male Atlantic walrus. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 375, 247-261.
- Fluhr J., Strøm H., Pradel R., Duriez O., Beaugrand G. & Descamps S. 2017. Weakening of the subpolar gyre as a key driver of North Atlantic seabird demography: a case study with Brünnich's guillemots in Svalbard. *Mar Ecol Prog Ser.* 563, 1–11.
- Galkin Y.I. 1998. Long-term changes in the distribution of mollusks in the Barents Sea related to the climate. *Ber. Polarforsch.* 287, 100–143.
- Garilli V., Rodolfo-Metalpa R., Scuderi D., Brusca L., Parrinello D., Rastrick S.P.S., Foggo A., Twitchett R.J., Hall-Spencer J.M. 2015. Physiological advantages of dwarfing in surviving extinctions in high CO₂ oceans. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/nclimate2616
- Gilg O., Istomina L., Heygster G., Strøm, H., Gavrilov M.V., Mallory M.L., Gilchrist G., Aebischer A., Sabard B., Huntemann M., Mosbech A. & Yannic G. 2016. Living on the edge of a shrinking habitat: the ivory gull, *Pagophila eburnea*, an endangered sea-ice specialist. *Biol. Lett.* 12, 20160277, doi:10.1098/rsbl.2016.0277
- Gilg O., Strøm H., Aebischer A., Gavrilov M., Volkov A., Miljeteig C. & Sabard B. 2010. Post-breeding movements of northeast Atlantic ivory gull *Pagophila eburnea* populations. *J. Avian Biol.* 41, 532-542.
- Gjertz I. 1991. The narwhal, *Monodon monoceros*, in the Norwegian high arctic. *Mar. Mammal Sci.* 7, 402-408.
- Glud R.N., Rysgaard S., Turner G., McGinnis D.F. & Leakey R.J.G. 2014. Biological and physical-induced oxygen dynamics in melting sea ice of the Fram Strait. *Limnology and Oceanography* 59, 1097–1111.
- Gradinger R. & Zhang Q. 1997. Vertical distribution of bacteria in Arctic sea ice from the Barents and Laptev seas. *Polar Biology* 17 (5), 448–454, <http://dx.doi.org/10.1007/s003000050139>
- Grebmeier J.M., Overland J.E., Moore S.E., Farley E.V., Carmack E.C., Cooper L.W., Frey K.E., Helle J.H., McLaughlin F.A. & McNutt L. 2006. A major ecosystem shift in the northern Bering Sea. *Science* 311, 1461-1464.
- Granskog M.A., Assmy P., Gerland S., Spreen G., Steen H. & Smedsrud L.H. 2016. Arctic research on thin ice: Consequences of Arctic sea ice loss, *Eos Trans. AGU*, 97, 22-26, doi:10.1029/2016EO044097
- Hagen D., Systad G.H., Eide N.E., Vistad O.I., Stien A., Erikstad L., Moe B., Svenning M. & Veiberg V. 2014. Sårbarhetsvurdering i polare strøk. Gjennomgang av begrep og metoder. – *NINA Rapport 1045*. 53 s.
- Hagen D., Eide N.E., Fangel K., Flyen A.C. & Vistad, O.I. 2012. Sårbarhetsvurdering og bruk av lokaliteter på Svalbard. Sluttrapport fra forskningsprosjektet "Miljøeffekter av ferdsel". *NINA Rapport 785*. 110 s + vedlegg.
- Hamilton C.D., Kovacs K.M., Ims R.A., Aars J., Strøm H. & Lydersen C. 2017. Spatial overlap among an Arctic predator, prey and scavenger in the marginal ice zone. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 573, 45-59.
- Hamilton C., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2015a. Year-round haul-out behaviour of male walrus (*Odobenus rosmarus*) in the Northern Barents Sea. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 519, 251-263.
- Hamilton C.D., Lydersen C., Ims R.A. & Kovacs K.M. 2014. Haul-out behaviour of the world's northernmost population of harbour seals (*Phoca vitulina*) throughout the year. *PLoS ONE* 9(1), e86055. 15 pp.
- Hamilton C.D., Lydersen C., Ims R.A. & Kovacs K.M. 2015b. Predictions replaced by facts: a keystone species' behavioural responses to declining arctic sea-ice. *Biol. Lett.* 11, art. no. 20150803, 6 pp.
- Hamilton C.D., Lydersen C., Ims R.A. & Kovacs K.M. 2016. Coastal habitat use by ringed seals *Pusa hispida* following a regional sea-ice collapse: importance of glacial refugia in a changing Arctic. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 545, 261-277.
- Hammill M.O., Lydersen C., Ryg M. & Smith T.G. 1991. Lactation in the ringed seal (*Phoca hispida*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 2471-2476.

- Hansen A.S., Nielsen T.G., Levinsen H., Madsen S.D., Thingstad T.F. & Hansen B.W. 2003. Impact of changing ice cover on pelagic productivity and food web structure in Disko Bay, West Greenland: A dynamic model approach. *Deep Sea Research I* 50, 171-87.
- Hansen B., Christiansen S. & Pedersen G. 1996. Plankton dynamics in the marginal ice zone of the central Barents Sea during spring: carbon flow and structure of the grazer food chain. *Polar Biology* 16 (2), 115–128.
- Hansen E., Gerland S., Granskog M.A., Pavlova O., Renner A.H.H., Haapala J., Løyning T.B., & Tschudi, M. 2013. Thinning of Arctic sea ice observed in Fram Strait: 1990-2011. *Journal of Geophysical Research – Oceans* 118, doi:10.1002/jgrc.20393
- Hansen E., Ekeberg O.C., Gerland S., Pavlova O., Spreen G., & Tschudi M. 2014. Variability in categories of Arctic sea ice in Fram Strait. *Journal of Geophysical Research – Oceans* 119(10), 7175–7189, doi:10.1002/2014JC010048
- Haug T., Nilssen, K.T. & Lindblom L. 2000. First independent feeding of harp seal (*Phoca groenlandica*) and hooded seal (*Cystophora cristata*) pups in the Greenland Sea. *NAMMCO Sci. Publ.* 2, 29-39.
- Haug T., Nilssen K.T. & Lindblom L. 2004. Feeding habits of harp and hooded seals in drift ice waters along the east coast of Greenland in summer and winter. *Polar Res.* 23, 35-42.
- Haug T., Nilssen K.T., Lindblom L. & Lindstrøm U. 2007. Diets of hooded seals (*Cystophora cristata*) in coastal waters and drift ice waters along the east coast of Greenland. *Mar. Biol. Res.* 3, 123-133.
- Haug T., Bogstad B., Chierici M., Gjørseter H., Hallfredsson E.H., Høines Å.S., Hoel A.H., Ingvaldsen R.B., Jørgensen L.L., Knutsen T., Loeng H., Naustvoll L.-J., Røttingen I. & Sunnanå K. 2017. Future harvest of living resources in the Arctic Ocean north of the Nordic and Barents Seas: a review of possibilities and constraints. *Fish. Res.* 188, 38-57.
- Hegseth E.N. 1992. Sub-ice algal assemblages of the Barents Sea – species composition, chemical composition, and growth rates. *Polar Biology* 12 (5), 485–496.
- Hegseth E.N. 1997. Phytoplankton of the Barents Sea – the end of a Growth Season. *Polar Biology* 17 (3), 235–241.
- Hegseth E.N. 1998. Primary production of the northern Barents Sea. *Polar Research* 17(2), 113-123.
- Hegseth E. N. & Sundfjord A. 2008. Intrusion and blooming of Atlantic phytoplankton species in the high Arctic. *Journal of Marine Systems* 74, 108-119.
- Hegseth E.N., Assmy P., Wiktor J.M., Wiktor Jr J.M., Kristiansen S., Leu E., Tverberg V., Gabrielsen T.M., Skogseth R. & Cottier F. in review. Phytoplankton seasonal dynamics in Kongsfjorden, Svalbard and the adjacent shelf. *Advances in Polar Ecology*.
- Heimdal B.R. 1983. Phytoplankton and nutrients in the waters north-west of Spitsbergen in the autumn of 1979. *Journal of Plankton Research* 5 (6), 901–918.
- Hewitt J.E., Ellis J.I. & Thrush S.F. 2016. Multiple stressors, nonlinear effects and the implications of climate change impacts on marine coastal ecosystems. *Global change biology*, 22(8), 2665-2675.
- Hildebrandt N., Niehoff B. & Sartoris F.J. 2014. Long-term effects of elevated CO₂ and temperature on the Arctic calanoid copepods *Calanus glacialis* and *C. hyperboreus*. *Marine Pollution Bulletin* 80, 59-70.
- Hjelset A.M., Andersen M., Gjertz I., Lydersen C. & Gulliksen B. 1999. Feeding habits of bearded seals (*Erignathus barbatus*) from the Svalbard area, Norway. *Polar Biology* 21, 186-193.
- Hodal H. & Kristiansen S. 2008. The importance of small-celled phytoplankton in spring blooms at the marginal ice zone in the northern Barents Sea. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 55 (20–21), 2176–2185, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.05.012>
- Hop H., Poltermann M., Lonne O.J., Falk-Petersen S., Korsnes R. & Budgell W.P. 2000. Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea. *Polar Biology* 23, 357-367.

- Hop H., Falk-Petersen S., Svendsen H., Kwasniewski S., Pavlov V., Pavlova O. & Soreide, J. E. 2006. Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden. *Progress in Oceanography* 71, 182-231.
- Horvat C., Jones D.R., Iams S., Schroeder D., Flocco D. & Feltham D. 2017. The frequency and extent of sub-ice phytoplankton blooms in the Arctic Ocean. *Science Advances* 3(3), e1601191 3 (3). ISSN 2375-2548 doi:10.1126/sciadv.1601191
- Hughes T.P., Baird A.H., Bellwood D.R., Card M., Connolly S.R., Folke C., Grosberg R., Hoeg-Guldberg O., Jackson J.B.C., Kleypas J., Lough M.J., Marshall P., Nyström M., Palumbi S.R., Pandolfi J.M., Rosen B. & Roughgarden J. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301, 929–933.
- Huntemann, M., Heygster, G., Kaleschke, L., Krumpfen, T., Mäkynen, M., & Drusch, M. 2014. Empirical sea ice thickness retrieval during the freeze-up period from SMOS high incident angle observations. *The Cryosphere*, 8, 439-451, doi:10.5194/tc-8-439-2014, 2014.
- Hurst R.J. & Øritsland N.A. 1982. Polar bear thermoregulation: effect of oil on the insulative properties of fur. *Journal of Thermal Biology* 7(4), 201-208.
- Hurst R.J., Watts P.D. & Oritsland N.A. 1991. Metabolic compensation in oil-exposed polar bears. *Journal of Thermal Biology* 16(1), 53-56.
- Ilyina T., Zeebe R.E. & Brewer P.G. 2010. Future ocean increasingly transparent to low-frequency sound owing to carbon dioxide emissions. *Nature Geoscience* 3, 18-22.
- Ingvaldsen R., Gjørseter H, Ona E. & Michalsen K. 2017. Atlantic cod (*Gadus morhua*) feeding over deep water in the high Arctic. *Polar Biology*, doi:10.1007/s00300-017-2115-2
- IPCC 2013. International Panel on Climate Change 5th Assessment Report, Working Group 1.
- Isachsen P.E., Sørli S.R., Mauritzen C., Lydersen C., Dodd P. & Kovacs K.M. 2014. Upper-ocean hydrography of the Nordic Seas during the International Polar Year (2007-2008) as observed by instrumented seals and Argo floats. *Deep-Sea Res. I* 93, 41-59.
- Ivanov B.V., Gerland S., Winther J.-G. & Goodwin H. 2003. Energy exchange processes in the marginal ice zone of the Barents Sea, Arctic Ocean, during spring 1999. *Journal of Glaciology* 49(166), 415-419.
- Jambeck J., Geyer R. & Wilcox C. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science (80-)* 347, 768–771.
- Jay C.V., Marcot B.G. & Douglas D.C. 2011. Projected status of the Pacific walrus (*Odobenus rosmarus divergens*) in the twenty-first century. *Polar Biol.* 34, 1065-1084.
- Ji R.B., Jin M.B. & Varpe Ø. 2013. Sea ice phenology and timing of primary production pulses in the Arctic Ocean. *Global Change Biology* 19(3), 734-741.
- Jin M., Deal C., Lee S.H., Elliot S., Hunke E., Maltrud M. & Jeffery N. 2012. Investigation of Arctic sea ice and ocean primary production for the period 1992–2007 using a 3-D global ice–ocean ecosystem model. *Deep-Sea Res. PT II* 81-84, 28-35.
- Johannesen E., Mørk H.L., Korsbrekke K., Wienerroither R., Eriksen E., Fossheim M., Wenneck T., Dolgov A.V., Prokhorova T. & Prozorkevitch D. 2017. Arctic fishes in the Barents Sea 2004-2015: Changes in abundance and distribution. *IMR-PINRO Joint Report Series 1/2017*, 46 pp.
- Jørgensen L.L, Ljubin P., Skjoldal H.R., Ingvaldsen R.B., Anisimova N. & Manushin I. 2015a. Distribution of benthic megafauna in the Barents Sea: baseline for an ecosystem approach to management. *ICES Journal of Marine Science*; 72 (2), 595-613.
- Jørgensen L.L., Planque B., Thangstad T.H. & Certain G. 2015b. Vulnerability of megabenthic species to trawling in the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsv107.

- Jørgensen L.L., Primicerio R, Ingvaldsen R.B, Fossheim M. Strelkova N., Thangstad T. Manuchin O. & Zakarov D. (in prep). Impact of multiple stressors on sea bed fauna in a warming Arctic.
- Kaleschke L., Tian-Kunze X., Maaß N., Beitsch A., Wernecke A., Miernecki M., Müller G., Fock B.H., Gierisch A.M., Schlünzen H.K., Pohlmann T., Dobrynin M., Hendricks S., Asseng J., Gerdes R., Jochmann P., Reimer N., Holfort J., Melsheimer C., Heygster G., Spreen G., Gerland S., King J., Skou N., Søbjaerg S.S., Haas C., Richter F. & T. Casal T. 2016. SMOS sea ice product: operational application and validation in the Barents Sea marginal ice zone. *Remote Sensing of Environment* 180, 264-273, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.009>
- Karnovsky N.J., Hobson K.A., Iverson S. & Hunt Jr. G.L. 2008. Seasonal changes in diets of seabirds in the North Water Polynya: a multiple-indicator approach. *Marine Ecology Progress Series* 357, 291-299.
- King J., Spreen G., Gerland S., Haas C., Hendricks S., Kaleschke L. & Wang C. 2017. Sea-Ice Thickness from field measurements in the north-western Barents Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(2), 1497-1512.
- Kiyko O.A. & Pogrebov V.B. 1997. Long-term benthic population changes (1920–1930s-present) in the Barents and Kara Sea. *Mar. Poll. Bull.* 35, 322–332.
- Klima- og miljødepartementet (2014–2015). Meld. St. 20. Oppdatering av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten med oppdatert beregning av iskanten. Melding til Stortinget.
- Kovacs K.M., Aars J. & Lydersen C. 2014. Walruses recovering after 60+ years of protection at Svalbard, Norway. *Polar Res.* 33, 26034, doi:10.3402/polar.v33.26034
- Kovacs, K.M. & Lydersen C. 2008. Climate change impacts on seals and whales in the North Atlantic Arctic and adjacent shelf seas. *Sci. Progr.* 91, 117-150.
- Kovacs K.M., Lydersen C. & Gjertz I. 1996. Birth-site characteristics and prenatal molting in bearded seals (*Erignathus barbatus*). *J. Mammal.* 77, 1085-1091.
- Kovacs K.M., Lydersen C., Overland J. E. & Moore S.E. 2011. Impacts of changing sea-ice conditions on Arctic marine mammals. *Mar. Biodiv.* 41, 181-194.
- Krafft B.A., Kovacs K.M., Andersen M., Aars J., Lydersen C. Ergon T. & Haug T. 2006. Abundance of ringed seals (*Pusa hispida*) in the fjords of Spitsbergen, Svalbard, during the peak molting period. *Mar. Mammal Sci.* 22, 394-412.
- Krafft B.A., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2007. Distribution of sex and age groups of ringed seals *Pusa hispida* in the fast-ice breeding habitat of Kongsfjorden, Svalbard. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 335, 199-206.
- Krafft B.A., Lydersen C., Kovacs K.M., Gjertz I. & Haug T. 2000. Diving behaviour of lactating bearded seals (*Erignathus barbatus*) in the Svalbard area. *Can. J. Zool.* 78, 1408-1418.
- Krafft A., Nöthig E.-M., Bauerfeind E., Wildish D.J., Pohle G.W., Bathmann U.V., Beszczynska-Möller A. & Klages M. 2013. First evidence of reproductive success in a southern invader indicates possible community shifts among Arctic zooplankton. *Marine Ecology Progress Series* 493, 291-296.
- Kristiansen S., Farbrod T. & Wheeler P.A. 1994. Nitrogen cycling in the Barents Sea – seasonal dynamics of new and regenerated production in the Marginal Ice Zone. *Limnology and Oceanography* 39 (7), 1630–1642.
- Krumpen T., Gerdes R., Haas C., Hendricks S., Herber A., Selyuzhenok V., Smedsrud L. & G. Spreen G. 2016. Recent summer sea ice thickness surveys in Fram Strait and associated ice volume fluxes. *The Cryosphere* 10, 523–534, 2016, doi:10.5194/tc-10-523-2016
- Kvadsheim P.H., Sivle L.D., Hansen, R. R. & Karlsen H.E. 2017. Effekter av menneskeskapt støy på havmiljø. *FFI rapport 17/00075*. 79 pp.
- Kværner J., Swensen G. & Erikstad L. 2006. Assessing environmental vulnerability in EIA—the content and context of the vulnerability concept in an alternative approach to standard EIA procedure. *Environmental Impact Assessment Review* 26(5), 511-527.

- Kwok R., Spreen G. & Pang S. 2013. Arctic sea ice circulation and drift speed: Decadal trends and ocean currents. *J. Geophys. Res. Oceans* 118, 2408–2425, doi:10.1002/jgrc.20191
- Laidre K.L., Stern H., Kovacs K.M., Lowry L., Moore S.E., Regehr E.V., Ferguson S.H., Wiig Ø., Boveng P., Angliss R.P., Born E.W., Litovka D., Quakenbush L., Lydersen C., Vongraven D. & Ugarte F. 2015. Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conserv. Biol.* 29, 724-737.
- Lalande C., Bauerfeind E., Nöthig E. M. & Beszczynska-Moller A. 2013. Impact of a warm anomaly on export fluxes of biogenic matter in the eastern Fram Strait. *Progress in Oceanography* 109, 70-77.
- Lalande C., Nöthig E.-M., Somavilla R., Bauerfeind E., Shevchenko V. & Okolodkov Y. 2014. Variability in under-ice export fluxes of biogenic matter in the Arctic Ocean. *Global Biogeochemical Cycles* 28, 571–583, doi:10.1002/2013GB004735.
- Lange B.A., Flores H., Michel C., Beckers J.F., Bublitz A., Casey J.A., Castellani G., Hatam I., Reppchen A., Rudolph S.A. & Haas C. 2017. Pan-Arctic sea ice-algal chl a biomass and suitable habitat are largely underestimated for multiyear ice. *Global Change Biology* 13742, 1-17.
- Lasternas S. & Agusti S. 2010. Phytoplankton community structure during the record Arctic ice-melting of summer 2007. *Polar Biology* 33(12), 1709-1717.
- Leu E., Wiktor J., Søreide J.E., Berge J. & Falk-Petersen S. 2010. Increased irradiance reduces food quality of sea ice algae. *Marine Ecology Progress Series* 411, 49–60.
- Leu E., Søreide J. E., Hessen D.O., Falk-Petersen S. & Berge J. 2011. Consequences of changing sea-ice cover for primary and secondary producers in the European Arctic shelf seas: Timing, quantity, and quality. *Progress in Oceanography* 90(1-4), 18-32.
- Leu E., Mundy C.J., Assmy P., Campbell K., Gabrielsen T.M., Gosselin M., Juul-Pedersen T. & Gradinger R. 2015. Arctic spring awakening – steering principles behind the phenology of vernal ice algae blooms. *Progress in Oceanography*, 139, 151-170.
- Lewis C.N., Brown K.A., Edwards L.A., Cooper G. & Findlay H. S. 2013. Sensitivity to ocean acidification parallels natural pCO₂ gradients experienced by Arctic copepods under winter sea ice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America* 110, E4960-E4967.
- Li W.K.W., McLaughlin F. A., Lovejoy C. & Carmack E. C. 2009. Smallest Algae Thrive As the Arctic Ocean Freshens. *Science* 326, 539-539.
- Lindstrøm U., Nilssen K.T., Pettersen L.M.S. & Haug, T. 2013. Harp seal foraging behavior during summer around Svalbard in the northern Barents Sea: diet composition and the selection of prey. *Polar Biol.* 36, 305-320.
- Lone K., Merkel B., Lydersen C., Kovacs K.M. & Aars J. 2017. Sea ice resource selection models for polar bears in the Barents Sea subpopulation. *Ecography*, doi:https://doi.org/10.1111/ecog.03020
- Lowther A.D., Kovacs K.M., Griffith, D. & Lydersen C. 2015. Identification of motivational state in adult male Atlantic walrus inferred from changes in movement and diving behavior. *Mar. Mammal Sci.* 31, 1291-1313.
- Lucia M., Strøm H., Bustamante P. & Gabrielsen G.W. 2016. Trace element accumulation in relation to the trophic behaviour of endangered ivory gulls (*Pagophila eburnea*) during their stay at a breeding site in Svalbard. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 71 (4), 518-529, doi:10.1007/s00244-016-0320-6
- Lydersen C. 1998. Status and biology of ringed seals (*Phoca hispida*) in Svalbard. Pp. 46-62 in Heide-Jørgensen M.P. & Lydersen C. (eds.) Ringed seals in the north Atlantic. *NAMMCO Sci. Publ.* 1.
- Lydersen C., Aars J. & Kovacs K.M. 2008. Estimating the number of walrus in Svalbard from aerial surveys and behavioural data from satellite telemetry. *Arctic* 61, 119-128.

- Lydersen C., Assmy P., Falk-Petersen S., Kohler J., Kovacs K.M., Reigstad M., Steen H., Strøm H., Sundfjord A., Varpe Ø., Walczowski W., Weslawski J.M. & Zajaczkowski M. 2014. The importance of tidewater glaciers for marine mammals and seabirds in Svalbard, Norway. *J. Mar. Syst.* 129, 452-471.
- Lydersen C., Freitas C., Wiig Ø., Bachmann L., Heide-Jørgensen M.P., Swift R. & Kovacs K.M. 2012. Lost highway not forgotten: satellite tracking of a bowhead whale (*Balaena mysticetus*) from the critically endangered Spitsbergen stock. *Arctic* 65, 76-86.
- Lydersen C. & Kovacs K.M. 2014. Walrus *Odobenus rosmarus* research in Svalbard, Norway, 2000-2010. *NAMMCO Sci. Publ.* 9, 175-190.
- Lydersen C, Martin A.R., Gjertz I. & Kovacs K.M. 2007. Satellite tracking and diving behaviour of sub-adult narwhals (*Monodon monoceros*) in Svalbard, Norway. *Polar Biology* 30, 437-442.
- Lydersen C., Martin A.R., Kovacs K.M. & Gjertz I. 2001. Summer and autumn movements of white whales *Delphinapterus leucas* in Svalbard, Norway. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 219, 265-274.
- Lydersen C., Nøst O.A., Lovell P., McConnell B.J., Gammelsrød T., Hunter C., Fedak M.A. & Kovacs K M. 2002. Salinity and temperature structure of a freezing Arctic fjord - monitored by white whales (*Delphinapterus leucas*). *Geophys. Res. Lett.* 29(23), art. no. 2119, doi:10.1029/2002GL015462
- Luchetta A., Lipizer M., Socal G. 2000. Temporal evolution of primary production in the central Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 27 (1-3), 177-193, [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-7963\(00\)00066-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-7963(00)00066-x)
- Lønne O.J. & Gulliksen B. 1991. Sympagic macro-fauna from multiyear sea-ice near Svalbard. *Polar Biology* 11(7), 471-477.
- McMahon K.W., Ambrose Jr W.G., Johnson B.J., Sun M.Y., Lopez G.R., Clough L.M. & Carroll M.L. 2006. Benthic community response to ice algae and phytoplankton in Ny Ålesund, Svalbard. *Marine Ecology Progress Series* 310, 1-14.
- McMinn A. & Hegseth E.N. 2007. Sea-ice primary productivity in the northern Barents Sea, spring 2004. *Polar Biology* 30 (3), 289-294, <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-006-0182-x>
- Meiners K., Gradinger R., Fehling J., Civitarese G. & Spindler M. 2003. Vertical distribution of exopolymer particles in sea ice of the Fram Strait (Arctic) during autumn. *Marine Ecology Progress Series* 248, 1-13.
- Melnikov I.A. 1997. *The Arctic sea ice ecosystem*. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- Melnikov I.A., Kolosova E.G., Welch H.E. & Zhitina L.S. 2002. Sea ice biological communities and nutrient dynamics in the Canada Basin of the Arctic Ocean. *Deep-Sea Res.* 49, 1623-1649.
- Merkel B., Lydersen C., Yoccoz N.G. & Kovacs K.M. 2013. The world's northernmost harbour seal population - how many are there? *PLoS ONE* 8(7), e67576.
- Metfies K., von Appen W.-J., Kilius E., Nicolaus A. & Nöthig E.-M. 2016. Biogeography and photosynthetic biomass of Arctic marine pico-eukaryotes during summer of the record sea ice minimum 2012. *PLoS ONE* 11, e0148512, doi:10.1371/journal.pone.0148512
- Miettinen A., Koc N. & Husum K. 2013. Appearance of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the northern Nordic Seas - An indication of changes in Arctic sea ice and ocean circulation. *Marine Micropaleontology* 99, 2-7.
- Miljeteig C., Gabrielsen G.W., Strøm H., Gavrilov M.V., Lie E. & Jensen B.M. 2012. Eggshell thinning and decreased concentrations of vitamin E are associated with contaminants in eggs of ivory gulls. *Science of the Total Environment* 431, 92-99.
- Miljødirektoratet (u.å.) *Miljøverdier i norske havområder*. Tilgjengelig fra < <http://havmiljo.no/> > [Lest 25.04.2017]
- Miljøverndepartementet 2009. St.meld. nr. 37 (2008-2009). *Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Norskehavet (forvaltningsplan)*. Melding til Stortinget.

- Miljøverndepartementet 2011. Meld. St. 10 (2010-2011). *Oppdatering av forvaltningsplanen for det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten*. Melding til Stortinget.
- Mock T. & Gradinger R. 1999. Determination of Arctic ice algal production with a new in situ incubation technique. *Marine Ecology Progress Series* 177, 15–26.
- Montagna P.A., Baguley J.G., Cooksey C., Hartwell I., Hyde L.J., Hyland J.L., Kalke R.D., Kracker L.M., Reuscher M. & Rhodes A.C. 2013. Deep-sea benthic footprint of the Deepwater Horizon blowout. *PLoS One* 8(8), e70540
- Moore S.E., Stafford K.M., Melling H., Berchok C., Wiig Ø., Kovacs K.M., Lydersen C. & Richter-Menge J. 2012. Comparing marine mammal acoustic habitats in Atlantic and Pacific sectors of the High Arctic: year-long records from Fram Strait and the Chukchi Plateau. *Polar Biology* 35, 475-480.
- Mundy C.J., Gosselin M., Ehn J., Gratton Y., Rossnagel A., Barber D., Tremblay J.-E., Palmer M., Arrigo K.R., Darnis G., Fortier L., Else B. & Papakyriakou T. 2009. Contribution of under-ice primary production to an ice-edge upwelling phytoplankton bloom in the Canadian Beaufort Sea. *Geophysical Research Letters* 36, doi:10.1029/2009GL038837
- Mundy C.J., Gosselin M., Gratton Y., Brown K., Galindo V., Campbell K., Levasseur M., Barber D., Papakyriakou T. & Belanger S. 2014. Role of environmental factors on phytoplankton bloom initiation under landfast sea ice in Resolute Passage, Canada. *Marine Ecology Progress Series* 497, doi:10.3354/meps10587
- Nguyen A.T., Menemenlis D. & Kwok R. 2011. Arctic ice–ocean simulation with optimized model parameters: approach and assessment. *J. Geophys. Res.* 116, C04025.
- Nguyen A.T., Kwok R. & Menemenlis D. 2012. Source and pathway of the Western Arctic Upper Halocline in a data-constrained coupled ocean and sea ice model. *J. Phys. Oceanogr.* 42, 802–823.
- Nghiem S.V., Van Woert M.L. & Neumann G. 2005. Rapid formation of a sea ice barrier east of Svalbard, *J. Geophys. Res.* 110, C11013, doi:10.1029/2004JC002654
- Nicolaus M., Arndt S., Katlein, C., Maslanik J., Hendricks S. 2013. Changes in Arctic sea ice result in increasing light transmittance and absorption. *Geophysical Research Letters* 40, 2699-2700.
- Nilssen K.T., Haug T. & Lindblom C. 2001. Diet of weaned pups and seasonal variation in body condition of juvenile Barents Sea harp seals *Phoca groenlandica*. *Mar. Mammal Sci.* 17, 926-936.
- Nordøy E.S., Folkow L.P., Potelov V., Prischemikhin V. & Blix A.S. 2008. Seasonal distribution and dive behaviour of harp seals (*Pagophilus groenlandicus*) of the White Sea- Barents Sea stock. *Polar Biology* 31, 1119-1135.
- Norsk Polarinstitutt 2014. *Iskant og iskantsone. Fremstilling av iskantsonen som sårbart areal*. Notat. <http://www.npolar.no/npcms/export/sites/np/no/fakta/iskant-ressurser/nedlastbart/iskant-og-iskantsone.pdf>.
- Nöthig E.-M., Bracher A., Engel A, Metfies K. Niehoff B., Peeken I., Bauerfeind E., Cherkasheva A., Gäbler-Schwarz S., Hardge K., Kiliyas E., Kraft A., Mebrahtom Kidane Y., Lalande C., Piontek J., Thomisch K. & Wurst, M. 2015. Summertime plankton in Fram Strait – a compilation of long- and short-term observations. *Polar Research* 34, 23349, doi:10.3402
- Obbard R.W., Sadri S., Wong Y.Q., Khitun A.A., Baker I. & Thompson R.C. 2014. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic sea ice. *Earth's Future* 2, 315-320.
- Odum E.P. 1969. The Strategy of Ecosystem Development. *Science, New Series*, 164, 262-270.
- Olsen L.M., Laney S.R., Duarte P., Kauko H.M., Fernández-Méndez M., Mundy C.J., Rösel A., Meyer A., Itkin P., Cohen L., Peeken I., Tatarek A., Wiktor J., Taskjelle T., Pavlov A.K., Hudson S.R., Granskog M.A., Hop H. & Assmy P. 2017. The role of multiyear ice in seeding ice algae blooms in Arctic pack ice. *J. Geophys. Res.* doi:10.1002/2016JG003626
- OSPAR, 2009. *Assessment of the environmental impact of underwater noise*. OSPAR Commission, London. Publication number 436/2009.
- Oug E. 2013. Klassifisering av miljøtilstand i industrifjorder. *Rapport Miljødirektoratet, M-75*.

- Overrein Ø. 2002. Virkninger av motorferdsel på fauna og vegetasjon: kunnskapsstatus med relevans for Svalbard. *Norsk Polarinstitutt rapportserie nr. 119*.
- Pabi S., van Dijken G.L. & Arrigo K.R. 2008. Primary production in the Arctic Ocean, 1998–2006. *J. Geophys. Res.* **113**, C08005, doi:10.1029/2007JC004578.
- Pavlova O., Pavlov V. & Gerland S. 2014. The impact of winds and sea surface temperatures on the Barents Sea ice extent, a statistical approach. *J. Mar. Systems* **130**. *Special issue "Subarctic fronts"*, 248–255.
- Pauly D. & Christensen V. 1994. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* **374**, 255 – 257, doi:10.1038/374255a0
- Pedersen S. & Rice J. 2002. Dynamics of fish larvae, zooplankton, and hydrographical characteristics in the West Greenland large marine ecosystem, 1950–1984. Pp 151–193 in Sherman K.S., Skjoldal H.R. (eds) *Large Marine Ecosystems of the North Atlantic: Changing States and Sustainability*. Elsevier, Amsterdam.
- Pereira A., Duarte P. & Norro A. 2006. Different modelling tools of aquatic ecosystems: A proposal for a unified approach. *Ecol. Inform.* **1**, 407–421.
- Peterson C.H., Rice S.D., Short J.W., Esler D., Bodkin J.L., Ballachey B.E., & Irons D B. 2003. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science* **302**(5653), 2082–2086.
- Pham C.K., Ramirez-Llodra E., Alt C.H.S., Amaro T. Bergmann M., Canals M., Company J.B., Davies J., Duineveld G., Galgani F., Howell K.L., Huvenne V.A.I., Isidro E., Jones D.O.B., Lastras G., Morato T., Gomes-Pereira J.N., Purser A., Stewart H., Tojeira I., Tubau X., Rooij D.V. & Tyler P.A., 2014. Marine litter distribution and density in European Seas, from the shelves to deep basins. *PLOS ONE journal*. doi:10.1371/journal.pone.0095839
- Pilford N.W., McCall A., Derocher A.E., Lunn N.J. & Richardson E. 2017. Migratory response of polar bears to sea ice loss: to swim or not to swim. *Ecography* **40**, 189–199.
- Piepenburg D. & Schmid M.K. 1996. Brittle star fauna (*Echinodermata Ophiuroidea*) of the Arctic northwestern Barents Sea: composition, abundance, biomass and spatial distribution. *Polar Biol.* **16**, 383–392.
- Piepenburg D., Ambrose Jr W.G., Brandt A., Renaud P.E., Ahrens M.J. & Jensen P. 1997. Benthic community patterns reflect water column processes in the Northeast Water polynya (Greenland). *Journal of Marine Systems* **10**: 467_82.
- Polyakov I.V., Pnyushkov A.V., Alkire M.B., Ashik I.M., Baumann T.M., Carmack E.C., Goszczko I., Guthrie J., Ivanov V.V., Kanzow T., Krishfield R., Kwok R., Sundfjord A., Morison J., Rember R. & Yulin A. 2017. Greater role for Atlantic inflows on the sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science*, 10.1126/science.aai8204.
- Popova E.E., Yool A., Coward A.C., Aksenov Y.K., Alderson S.G., de Cuevas B.A. & Anderson T.R. 2010. Control of primary production in the Arctic by nutrients and light: insights from a high resolution ocean general circulation model. *Biogeosciences* **7**, 3569–3591.
- Popova E.E., Yool A., Coward A.C., Dupont F., Deal C., Elliot S., Hunke E., Jin M., Steele M. & Zhang J. 2012. What controls primary production in the Arctic Ocean? Results from an intercomparison of five general circulation models with biogeochemistry. *J. Geophys. Res. Oceans* **117**. C00D12, doi:10.1029/2011JC007112.
- Rampal P., Weiss J. & Marsan D. 2009. Positive trend in the mean speed and deformation rate of Arctic sea ice, 1979–2007. *J. Geophys. Res.* **114**, C05013, doi:10.1029/2008JC005066
- Randelhoff A., Fer I. & Sundfjord A. 2017. Turbulent upper-ocean mixing affected by meltwater layers during Arctic summer. *Journal of Physical Oceanography*, doi:10.1175/JPO-D-16-0200.1
- Ray J.L., Skaar K.S., Simonelli P., Larsen A., Sazhin A., Jakobsen H.H., Nejstgaard J.C. & Troedsson C. 2016. Molecular gut content analysis demonstrates that *Calanus* grazing on *Phaeocystis pouchetii* and *Skeletonema marinoi* is sensitive to bloom phase but not prey density. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **542**, 63– 77.

- Reeves R.R., Ewins P.J., Agbayani S., Heide-Jørgensen M.P., Kovacs K.M., Lydersen C., Suydam R., Elliott W., Polet G., van Dijk Y. & Blijleven R. 2014. Distribution of endemic cetaceans in relation to hydrocarbon development and commercial shipping in a warming Arctic. *Marine Policy* 44, 375-389.
- Reid P. C., Johns D. G., Edwards M., Starr M., Poulin M. & Snoeijs P. 2007. A biological consequence of reducing Arctic ice cover: arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800,000 years. *Global Change Biology* 13, 1910-1921.
- Reid P.C., Edwards M. & Johns D.G. 2008. Trans-arctic invasion in modern times. *Science* 322, 528-529.
- Reigstad M., Carroll J., Slagstad D., Ellingsen I. & Wassmann P. 2011. Intra-regional comparison of productivity, carbon flux and ecosystem composition within the northern Barents Sea. *Progress in Oceanography* 90(1-4), 33-46.
- Reigstad M., Riser C.W., Wassmann P. & Ratkova T. 2008. Vertical export of particulate organic carbon: Attenuation, composition and loss rates in the northern Barents Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 55(20-21), 2308-2319.
- Reigstad M. & Wassmann P. 2007. Does Phaeocystis spp. contribute significantly to vertical export of organic carbon? *Biogeochemistry* 83(1-3), 217-234.
- Reigstad M., Wassmann P., Wexels Riser C., Øygarden S. & Rey F. 2002. Variations in hydrography, nutrients and chlorophyll a in the marginal ice-zone and the central Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 38 (1-2), 9-29.
- Renner A.H.H., Gerland S., Haas C., Spreen G., Beckers J.F., Hansen E., Nicolaus M. & Goodwin H. 2014. Evidence of Arctic sea ice thinning from direct observations. *Geophysical Research Letters* 41, 5029-5036, doi:10.1002/2014GL060369
- Rey F. 2012. Declining silicate concentrations in the Norwegian and Barents Seas. *ICES Journal of Marine Science* 69(2), 208-212.
- Rey F., Skjoldal H.R. & Slagstad D. 1987. Primary production in relation to climatic changes in the Barents Sea. Pp. 29-46 in Loeng, H. (ed.) *The Effect of Oceanographic Conditions on the Distribution and Population Dynamics of Commercial Fish Stocks in the Barents Sea*. Proceedings of the Third Soviet-Norwegian Symposium, Murmansk, 26-28 May 1986.
- Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I. & Thomson D.H. 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego, CA, 576 pp.
- Rignot E., Fenty I., Menemenlis D. & Xu Y. 2012. Spreading of warm ocean waters around Greenland as a possible cause for glacier acceleration. *Ann. Glaciol.* 53, 257-266.
- Rusten M. (red) 2014. Development of methodology for calculations of environmental risk for the marginal ice zone – a joint project between Akvaplan-niva and DNV GL. *Report No.: 2014-0545, Rev00*.
- Sakshaug E. 2004. Primary and secondary production in the Arctic Seas. 57-82 in Stein R. & Macdonald R.W. (Eds.) *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean*. Springer Verlag, Berlin.
- Sakshaug E., Johnsen G.H. & Kovacs K.M. *Ecosystem Barents Sea*. Tapir Academic Press, 2009.
- Schunemann H. & Werner I. 2005. Seasonal variations in distribution patterns of sympagic meiofauna in Arctic pack ice. *Marine Biology* 146, 1091-1102.
- Schwacke L. H., Smith C. R., Townsend F. I., Wells R. S., Hart L. B., Balmer B. C., Collier T. K., De Guise S., Fry M. M. & Guillette Jr L. J. 2013. Health of Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in Barataria Bay, Louisiana, Following the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environ.Sci.Technol.*
- Simonsen M., Hackett B., Bertino L., Røed L.P., Waagbø G.A. & Drivdal M. 2016. *Product user manual for Arctic Ocean physical and bio analysis and forecasting products*. Copernicus Marine Environmental Monitoring Service.

- Slagstad D., Ellingsen I. H., Wassmann P. 2011. Evaluating primary and secondary production in an Arctic Ocean void of summer sea ice: An experimental simulation approach. *Progress in Oceanography* 90, 117-131.
- Slagstad D., Wassman P. & Ellingsen I.H. 2015. Physical constrains and productivity in the future Arctic Ocean, Ocean. *Front.Mar.Sci.* 2, 85, doi:10.3389/fmars.2015.00085.
- Smyth T. J., Tyrrell T. & Tarrant B. 2004. Time series of coccolithophore activity in the Barents Sea, from twenty years of satellite imagery. *Geophysical Research Letters* 31, L11302
- Spencer N.C., Gilchrist G.H., Strøm H., Allard K.A. & Mallory M.L. 2016. Key winter habitat of the ivory gull *Pagophila eburnea* in the Canadian Arctic. *Endang. Species Res.* 31, 33–45, doi:10.3354/esr00747
- Squires H.J. & Dawe E.G. 2003. Stomach contents of snow crab (*Chionoecetes opilio*, decapoda, brachyura) from the northeast Newfoundland shelf. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 32, 27–38.
- St. Aubin D.J. 1990. Physiologic and toxic effects on pinnipeds. Pp. 103-127 in Geraci J.R. & St. Aubin D.J. (eds.) *Sea mammals and oil: confronting the risks*. Acad. Press.
- Stafford K.M., Moore S.E., Berchok C.L., Wiig Ø., Lydersen C., Hansen E., Kalmbach D. & Kovacs, K.M. 2012. Spitsbergen's endangered bowhead whales sing through the polar night. *Endang. Spec. Res.* 18, 95-103.
- Stenson G.B., Buren A.D. & Koen-Alonso M. 2016. The impact of changing climate and abundance on reproduction in an ice-dependent species, the Northwest Atlantic harp seal, *Pagophilus groenlandicus*. *ICES J. Mar. Sci.* 73, 250-262.
- Stenson G.B. & Hammill M.O. 2014. Can ice breeding seals adapt to habitat loss in a time of climate change? *ICES J. Mar. Sci.* 71, 1977-1986.
- Storrie L., Lydersen C., Wynn R., Andersen M. & Kovacs K.M. 2017. Determining the assemblage and habitat use of cetacean species in the Svalbard Archipelago, Norway, based on recorded observations from 2002-2014. *Polar Res.* almost submitted.
- Strong C. 2012. Atmospheric influence on Arctic marginal ice zone position and width in the Atlantic sector, February–April 1979–2010. *Clim. Dyn.* 39: 3091–3102, doi:10.1007/s00382-012-1356-6
- Strøm H. 2006. Svalbards fugler. Pp. 86-191 in Kovacs K.M & Lydersen C. (eds.) *Svalbards fugler og pattedyr Polarhåndbok Nr. 13*, Norsk Polarinstitutt.
- Strøm H., Gilg O. & Gavrilo M. 2015. Movements of three Arctic populations of ivory gulls revealed by satellite telemetry. Poster presented at the 2nd World Seabird Conference, October 26 – 30, Cape Town, South Africa.
- Sun M.Y., Clough L.M., Carroll M.L., Dai J.H., Ambrose Jr W.G. & Lopez G.R. 2009. Different responses of two common Arctic macrobenthic species (*Macoma balthica* and *Monoporeia affinis*) to phytoplankton and ice algae: Will climate change impacts be species specific? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 376, 110_21.
- Sundfjord A., Fer I., Kasajima Y. & Svendsen H. 2007. Observations of turbulent mixing and hydrography in the marginal ice zone of the Barents Sea. *J. Geophysical Res.* 112, C05008, doi:10.1029/2006JC003524
- Svetochev V.N., Kavtsevich N.N. & Svetocheva O. N. 2016. Satellite tagging and seasonal distribution of harp seal (juveniles) of the White Sea- Barents sea stock. *Czech Polar Rep.* 6, 31-43.
- Syvertsen, E.E. 1991. Ice algae in the Barents Sea: types of assemblages, origin, fate and role in the ice-edge phytoplankton bloom. *Polar Res.* 10(1), 277-288.

- Søreide J.E., Carroll M.L., Hop H., Ambrose Jr W.G., Hegseth E.N. & Falk-Petersen S. 2013. Sympagic-pelagic-benthic coupling in Arctic and Atlantic waters around Svalbard revealed by stable isotopic and fatty acid tracers. *Marine Biology Research* 9(9), 831-850.
- Søreide J.E., Leu E., Berge J., Graeve M., Falk-Petersen S. 2010. Timing in blooms, algal food quality and *Calanus glacialis* reproduction and growth in a changing Arctic. *Global Change Biology* 16, 3154–3163.
- Tamelander T., Reigstad M., Hop H., Carroll M.L., Wassmann P. 2008. Pelagic and sympagic contribution of organic matter to zooplankton and vertical export in the Barents Sea marginal ice zone. *Deep-Sea Research II*, 55, 2330–2339.
- Tamelander T., Reigstad M., Hop H. & Ratkova T. 2009. Ice algal assemblages and vertical export of organic matter from sea ice in the Barents Sea and Nansen Basin (Arctic Ocean). *Polar Biology* 32 (9), 1261–1273, dx.doi.org/10.1007/s00300-009-0622-5
- Teal J.M. & Howarth R.W. 1984. Oil spill studies: a review of ecological effects. *Environmental Management*, 8(1), 27-43.
- Thor P., Bailey A., Halsband C., Guscelli E., Gorokhova E. & Fransson A. 2016. Seawater pH predicted for the year 2100 affects the metabolic response to feeding in copepodites of the Arctic copepod *Calanus glacialis*. *PLoS ONE* 11, e0168735.
- Thor P., Bailey A., Dupont S., Calosi P., Søreide J., De Wit P., Guscelli E., Loubet-Sartrou L., Deichmann I., Candee M., Svensen C., King A.L. & Bellerby R.G.J. in review. Potential for rescue from future ocean acidification by extant physiological differences among distinct Arctic copepod populations. *Global Change Biology*.
- Tian-Kunze X., Kaleschke L., Maaß N., Mäkynen M., Serra N., Drusch M. & Krumpfen T. 2014. SMOS-derived thin sea ice thickness: algorithm baseline, product specifications and initial verification. *The Cryosphere* 8, 997–1018.
- Tremblay J.E., Belanger S., Barber D.G., Asplin M., Martin J., Darnis G., Fortier L., Gratton Y., Link Y., Archambault P., Sallon A., Michel C., Williams W.J., Philippe B. & Gosselin M. 2011. Climate forcing multiplies biological productivity in the coastal Arctic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 38, L18604,
- Treval A.M., Gabrielsen G.W., Kühn S. & Van Franeker J. A. 2015. Elevated levels of ingested plastic in a high Arctic seabird, the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*). *Polar Biology* 38, 975–981.
- Vacquié-Garcia J., Lydersen C., Marques T.A., Aars J., Ahonen H., Skern-Mauritzen M., Øien N., Kovacs K.M. 2017. Late summer distribution and abundance of ice-associated whales in the Norwegian High Arctic. *Endang. Spec. Res.* 32, 59-70.
- Vancoppenolle M., Bopp L., Madec G., Dunne J., Ilyina T., Halloran P.R. & Steiner N. 2013. Future Arctic Ocean primary productivity from CMIP5 simulations: Uncertain outcome, but consistent mechanisms. *Global Biogeochem. Cy.* 27, 1-15.
- Vedernikov V.I. & Gagarin V.I. 1998. Primary production and chlorophyll in the Barents Sea in September–October 1997. *Okeanologiya* 38 (5), 710–718.
- von Quillfeldt, C. H. 2000. Common diatom species in arctic spring blooms: Their distribution and abundance. *Botanica Marina* 43(6), 499-516.
- von Quillfeldt, C.H. (red.) 2010. Det faglige grunnlaget for oppdateringen av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten. *Fisken og havet, Særnummer 1a 2010*.
- von Quillfeldt C.H., Hegseth E.N., Johnsen G., Sakshaug E. & Syvertsen E.E. 2009. Ice algae. Pp. 285-302 in Sakshaug E., Johnsen G. & Kovacs K. (eds) *Ecosystem Barents Sea*. Tapir Academic Press, Trondheim, Norway.
- Vongraven, D (red). 2014. Kunnskapsgrunnlag for de store nasjonalparkene og fuglereservatene på Vest-Spitsbergen. *Norsk Polarinstitutt Kortrapport 028*.

- Wadhams P. 1986. The seasonal ice zone. Pp 825-991 in Untersteiner N. (ed.) *The geophysics of sea ice*. Springer USA.
- Wassmann P., Duarte C.M., Agusti S. & Sejr M.K. 2011. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biology* 17: 1235-49.
- Wassmann P., Ratkova T., Andreassen I., Vernet M., Pedersen C. & Rey, F. 1999. Spring bloom development in the marginal ice zone and the central Barents Sea. *Marine Ecology Pubblicazioni Della Stazione Zoologica Di Napoli I* 20 (3-4), 321-346.
- Wassmann P. & Reigstad M. 2011. Future Arctic Ocean seasonal ice zones and implications for pelagic-benthic coupling. *Oceanography* 24, 220-231. <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2011.74>
- Wassmann P. & Slagstad D. 1993. Seasonal and annual dynamics of particulate carbon flux in the Barents Sea – a model approach. *Polar Biology* 13 (6), 363-372.
- Wassmann P., Reigstad M., Haug T., Rudels B., Carroll M.L., Hop H., Gabrielsen G.W., Falk-Petersen S., Denisenko S.G., Arashkevich E., Slagstad D. & Pavlova O. 2006a. Food webs and carbon flux in the Barents Sea. *Progress in Oceanography* 71, 232-287.
- Wassmann P., Slagstad D., Riser C.W. & Reigstad M. 2006b. Modelling the ecosystem dynamics of the Barents Sea including the marginal ice zone II. Carbon flux and interannual variability. *Journal of Marine Systems* 59(1-2), 1-24.
- Weydmann A., Carstensen J., Goszczko I., Dmoch K., Olszewska A. & Kwasniewski S. 2014. Shift towards the dominance of boreal species in the Arctic: inter-annual and spatial zooplankton variability in the West Spitsbergen Current. *Marine Ecology Progress Series* 501, 41-52.
- Wienerroither R., Johannesen E., Dolgov A., Byrkjedal I., Bjelland O, Drevetnyak K., Eriksen K.B., Høines Å., Langhelle G., Langøy H., Prokhorova T., Prozorkevich D. & Wenneck T. 2011. Atlas of the Barents Sea Fishes. *IMR/PINRO Joint Report Series 1-2011*, ISSN 1502- 8828.
- Wiig Ø., Bachmann L., Janik V.M., Kovacs K.M. & Lydersen C. 2007. Spitsbergen bowhead whales revisited. *Mar. Mammal Sci.* 23, 688-693.
- Wiig Ø., Bachmann, L., Øien, N., Kovacs, K.M. & Lydersen C. 2010. Observations of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) in the Svalbard area 1940-2009. *Polar Biology* 33, 979-984.
- Wiig Ø., Derocher A.E. & Belikov S.E. 1999. Ringed seal (*Phoca hispida*) breeding in the drifting pack ice of the Barents Sea. *Mar. Mammal Sci.* 15: 595-598.
- Wolkers H., Lydersen C., Kovacs K. M., Burkow I. & Bavel B. van. 2006. Accumulation, metabolism, and food-chain transfer of chlorinated and brominated contaminants in subadult white whales (*Delphinapterus leucas*) and narwhals (*Monodon monoceros*) from Svalbard, Norway. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 50, 69-78.
- World Meteorological Organization 1989. *Sea Ice Nomenclature*. WMO/OMM No. 259 Suppl. No. 5.
- Øigård T.A., Haug T. & Nilssen K.T. 2014. Current status of hooded seals in the Greenland Sea. Victims of climate change and predation? *Biol. Conserv.* 172: 29-36.
- Øritsland N.A., Engelhardt F.R. & Juck F.A. 1981. *Effect of Crude Oil on Polar Bears. Indian and Northern Affairs, Canada*. ISBN: 0662118359, 9780662118350. 268s.

4.6 Forkortelser i rapporten

Under følger noen av de forkortelsene som er benyttet i rapporten.

AMAP - Arctic Monitoring and Assessment Program

AMO - Atlantic Multidecadal Oscillation

AMOC - Atlantic Meridional Overturning Circulation

CAFF – Conservation of Arctic Flora and Fauna

CBD – Convention on Biodiversity

CBMP - Circumpolar Biodiversity Monitoring Program

CCAMLR – The Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources

EBSA - Ecological or Biological Significant Marine Areas

FYI – First Year Ice

HI – Havforskningsinstituttet

IUCN – International Union for Conservation of Nature

MIZ – Marginal Ice Zone

MOSJ - Miljøovervåkingsystemet for Svalbard og Jan Mayen

MPA - Marine Protected Areas

MYI – Multi Year Ice

NASA DAAC – NASA Distributed Active Archive Center

NEAFC – North East Atlantic Fisheries Commission

NERDC – Natural Resources Defense Council

NP – Norsk Polarinstitutt

NPP – Net Primary Production

NSIDC - National Snow & Ice Data Center

PAH – Polysykliske aromatiske hydrokarboner

PAR - Photosynthetically available radiation

PSSA - Particular Sensitive Sea Areas

OSPAR – The Convention for Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, merging of the Oslo and Paris Commissions

SEATRACK – Seabird Tracking

SHEBA ice camp – Surface Heat Budget of the Arctic Ocean ice camp

Rødlistekategorier

CR- Critically Endangered – kritisk truet

EN – Endangered – sterkt truet

VU – Vulnerable – sårbar

NT – Near Threatened – nær truet

LC – Least Concern - livskraftig

DD – Data Deficient – datamangel

NE – Not Evaluated – ikke evaluert

A series of 20 horizontal dotted lines spanning the width of the page, providing a guide for handwriting practice.

