



Pilottest av fagpanelprotokollen for vurdering av god økologisk tilstand - arktisk del av Barentshavet

Anna Siwertsson¹ og Per Arneberg¹

¹ Havforskningsinstituttet

Pilottest av fagpanelprotokollen for vurdering av god økologisk tilstand – arktisk del av Barentshavet

Anna Siwertsson¹ og Per Arneberg¹

Bidragstere (alfabetisk):

Knut Yngve Børsheim², Padmini Dalpadado³, Per Fauchald⁴, Anne Kirstine Frie⁵, Sebastian Gerland⁶, Norman Green⁷, Sigrid Lind¹, Kirsteen MacKenzie¹, Gro I. van der Meeren⁸, Olga Pavlova⁶, Arild Sundfjord⁶.

¹ Havforskningsinstituttet, Avdeling for økosystemprosesser, Framsenteret, Tromsø

² Havforskningsinstituttet, Avdeling for oceanografi og klima, Bergen

³ Havforskningsinstituttet, Avdeling for plankton, Bergen

⁴ Norsk institutt for naturforskning, Avdeling for arktisk økologi, Framsenteret, Tromsø

⁵ Havforskningsinstituttet, Avdeling for sjøpattedyr, Framsenteret, Tromsø

⁶ Norsk Polarinstitut, Framsenteret, Tromsø

⁷ Norsk Institutt for Vannforskning, Seksjon for miljøgifter, Oslo

⁸ Havforskningsinstituttet, Avdeling for økosystemprosesser, Bergen

Innholdsfortegnelse

Innledning	4
1 Sammensetning av ekspertgruppen	5
2 Datagrunnlag for vurdering av økologisk tilstand.....	6
2.1 Avgrensningen av økosystemet	6
2.2 Overordnede betraktninger rundt datagrunnlaget	7
3 Estimering av indikatorverdier.....	9
4 Vurdering av avvik fra god økologisk tilstand	12
4.1 Begrunnelse for fenomener	13
5 Egenskaper	22
6 Samlet vurdering.....	24
6.1 Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget.....	24
6.2 Samlet vurdering av anvendte fenomener	27
6.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand til egenskaper på tvers av indikatorer og for økosystemet som helhet	29
7 Oversikt over appendiks til protokollen	44
Referanser	45
Fotnoter til Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget (Tabell 6.1)	54

Innledning

Fagpanelprotokollen er inspirert av tilnærmingen til vurderinger i internasjonale organer som IPCC, IPBES, og EFES (l'Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques) som har det til felles at evalueringer av endringer i, og tilstanden til, komplekse systemer (klimasystemer, økosystemer) gjøres av bredt sammensatte fagpaneler etter stringente protokoller. I Fagpanelprotokollen gjøres det en strukturert vurdering av graden av evidens for at de enkelte økosystemegenskaper, og økosystemet som helhet, endrer seg så mye at en er over i en dårligere tilstand utfra fastsatte indikatorer. Samlet vurdering av tilstand i Fagpanelprotokollen krever ikke at absolutte referanseverdier eller grenseverdier settes, og anvender ikke skalerte indikatorer. Fagpanelprotokollen krever at man har en god kvalitativ forståelse for hva som kjennetegner de enkelte indikatorer og egenskaper i god økologisk tilstand (e.g. en normativ god tilstand), uten at dette nødvendigvis innebærer at man kan beskrive tilstanden kvantitativt. I tillegg krever Fagpanelprotokollen at man kan sette opp en eller flere formaliserte forventninger til hvordan hver indikator endrer seg mot dårligere tilstand som følge av påvirkning fra de menneskeskapte driverne i økosystemet (såkalte 'fenomener'). Vurderingen gjøres av et bredt sammensatt fagpanel bestående av personer med ekspertise på det aktuelle økosystemet, og kan inkludere lokale eller nasjonale stakeholders. Fagpanelets arbeide er basert på en grundig oppsummering av kunnskapsgrunnlagets kvalitet, en statistisk analyse av indikatorverdier og endringer i disse etter et hensiktsmessig analytisk rammeverk, samt en formalisert beskrivelse av alle fenomener. For indikatorer der man kan sette absolutte grenseverdier for dårlig tilstand anvendes disse som kvantitative fenomener (e.g. dårlig tilstand for indikator X tilsvarer at indikatorverdien for X har overskredet grenseverdien). Dersom slike grenseverdier ikke kan settes, formuleres fenomenene kvalitativt (e.g. dårlig tilstand for indikator X tilsvarer at indikatorverdien for X er så lav/høy at dette påvirker egenskapens eller økosystemets tilstand negativt).

Fagpanelets oppgave er:

- I. å vurdere hvor gyldige hvert av de anvendte fenomener er (e.g. hvor sikker man kan være på at endringer i disse representerer menneskelig påvirkning)
- II. hvor stor grad av evidens er det for at hvert fenomen har inntruffet (e.g. hvor store endringer ser man og i hvor høy grad er disse biologisk betydelige)
- III. basert på I og II gjøre en samlet vurdering av økologisk tilstand for hver økosystemegenskap på tvers av indikatorer og fenomener, til fastsatte kategorier for graden av avvik fra en normativ god økologisk tilstand
- IV. basert på III gjøre en samlet vurdering av økologisk tilstand for økosystemet som helhet
- V. vurdere forventet videre utvikling i økosystemets tilstand i det omfanget kunnskapsgrunnlaget tillater dette
- VI. gi anbefalinger for videreutvikling av datagrunnlag, indikatorsett og fenomener frem mot neste omløp i vurderingen.

1 Sammensetning av ekspertgruppen

I pilottesten av Fagpanelprotokollen for arktisk del av Barentshavet har fagpanelet vært sammensatt av en gruppe forskere med ekspertise innen økologi, oseanografi, klima og miljøovervåking i arktiske marine økosystemer. Hvordan de enkelte deltakernes ekspertise knyttes til indikatorer, egenskaper og tema i Fagpanelprotokollen og hvilken rolle de har hatt i fagpanelet er beskrevet i Tabell 1.1. Siden denne pilottesten har vært utført under sterkt tidspress, var det ikke praktisk mulig å samle alle til fagpanelmøtet som ble gjennomført 11-12 april. De som var tilstede på dette fagpanelmøtet er markert med 'deltaker i fagpanelvurdering'. 'Forfatter' har bidratt med tekst om datagrunnlag, metoder, kunnskapsgrunnlag og/eller analyseresultater relatert til sin ekspertise. 'Ekspert' har bidratt på forskjellige måter med data, dataanalyser, formulering av indikatorer og fenomener og/eller kommentarer på utvalgte deler av vurderingen.

Tabell 1.1. Sammensetning av fagpanelet med rollefordeling og ekspertise.

Navn, adresse, epost	Rolle i fagpanelet	Ekspert på enkeltindikatorer/tema
Per Arneberg, HI, per.arneberg@hi.no	Hovedforfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Sammenhenger i økosystemet
Knut Yngve Børsheim, HI, yngve.borsheim@hi.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Primærproduksjon
Padmini Dalpadado, HI, padmini.dalpadado@hi.no	Forfatter, Ekspert	Zooplankton
Per Fauchald, NINA, per.fauchald@nina.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Sammenhenger i økosystemet
Anne Kirstine Frie, HI, anne.kirstine@hi.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Sammenhenger i økosystemet
Sebastian Gerland, NP, sebastian.gerland@npolar.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Havis
Norman Whitaker Green, NIVA, norman.green@niva.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Overvåkingssystemer
Sigrid Lind, HI, sigrid.lind@hi.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Varmeinnhold, ferskvannsinhold i sjøvann, temperaturnisjer
Kirsteen MacKenzie, HI, kirsteen.mackenzie@hi.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Fordeling av biomasse mellom trofiske nivå og funksjonelle grupper
Olga Pavlova, NP, olga.pavlova@npolar.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Havis
Anna Siwertsson, HI, anna.siwertsson@hi.no	Hovedforfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Artsutskiftingsrater
Arild Sundfjord, NP, arild.sundfjord@npolar.no	Ekspert	Havis
Gro van der Meeren, HI, groM@hi.no	Forfatter, deltaker i fagpanelvurdering, Ekspert	Torsk, lodde og polartorsk

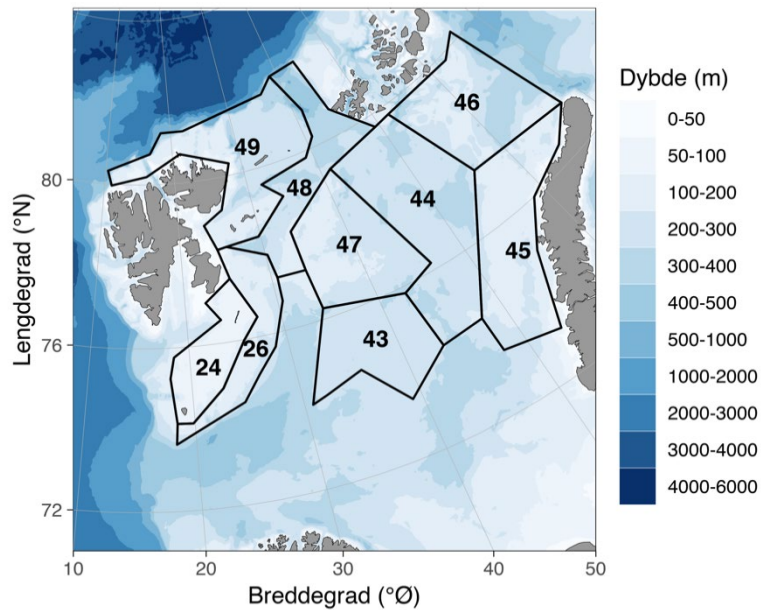
2 Datagrunnlag for vurdering av økologisk tilstand

2.1 Avgrensningen av økosystemet

Pilotprosjektet for hovedøkosystemet Barentshavet er avgrenset til i arktisk del av Barentshavet, utenom sokkelkanten (Figur 2.1). Dette omfatter arealer dominert av arktiske vannmasser og inntil nylig med regelmessig isdekke om vinteren. Avgrensningen er basert på polarfronten i sør, grunnlinjen på Svalbard i vest, og sokkelkanten i nord og øst. Det skilles ikke mellom bentiske og pelagiale økosystemer siden Barentshavet er forholdsvis grunt med et gjennomsnittsdyp på 230 meter, med betydelig sammenkobling mellom bentiske og pelagiale økosystemkomponenter. Området er videre inndelt i underområder (polygoner) med større grad av homogene oseanografiske forhold (Figur 2.1). Dette er gjort med bakgrunn i at forskjellige prosesser kan foregå i ulike underområder, eller de samme prosessene kan skje på forskjellige tidspunkter. For eksempel forventes et skifte fra arktisk til atlantisk system skje først i de sørlige områdene før endringene skjer i nordlige områder. For mange av indikatorene vil det bli estimert verdier for hver av disse underområdene, mens samlet vurdering av økologisk tilstand vil gjøres for arktisk del av Barentshavet som helhet. Vi har her brukt polygonene som er definert for Atlantis-modellen for Barentshavet og Norskehavet (No-Ba Atlantis vegg-til-vegg økosystemmodell) (Hansen et al. 2016) for å dele inn i underområder (Figur 2.1).

Disse områdene er valgt fordi:

- Underområdene (polygonene) er relativt homogene med hensyn til batymetri, bunnforhold og strømningsforhold. Det er derfor rimelig å anta at inndelingen kan fange opp hvordan økologiske prosesser kan variere innad i den arktiske delen av Barentshavet.
- Ved å bruke samme underområder som Atlantis-modellen, kan vi lettere bruke denne modellen i arbeidet. For eksempel kan det være mulig å teste hvilke typer endringer i økosystemet som vi er i stand til å detektere med fagsystemet.



Figur. 2.1. Kart som viser arktisk del av Barentshavet, med underområder (polygoner). Polygoninndelingen er basert på inndelingen i NoBa Atlantis vegg-til-vegg økosystemmodell (Hansen et al. 2016).

2.2 Overordnede betraktninger rundt datagrunnlaget

Datagrunnlaget i pilotprosjektet er basert på fjernmålingsdata og data fra økosystembasert overvåking som gjennomføres årlig i samarbeid mellom Havforskningsinstituttet og det russiske havforskningsinstituttet PINRO. Fra økosystemtoktene i Barentshavet finnes det data fra strukturert innsamling av mange variabler under relativt lang tid, for abiotiske variabler tilbake til 1979. Den økosystembasert overvåkingen som inkluderer flere deler av økosystemet startet opp rundt 2004. For innsamling av data under økosystemtoktene i Barentshavet brukes fastsatte sett av rundt 400 stasjoner i et systematisk grid, nærmere beskrevet i (van der Meeren and Prozorkevich 2019). Utgangspunktet er at alle stasjoner prøvetas hvert år, men det er avhengig av vær og isforhold og at det ikke oppstår tekniske problemer.

Tabell 2.1. Beskrivelse av datagrunnlaget for vurdering av tilstand i arktisk del av Barentshavet.

Datasett navn	Data-sett ID	Datasett DOI	Eier	Lagring	Ansvarlig i forhold til fag-systemet	Beskrivelse av data og metode	Tidsperiode (start-slutt)
Klorofyll, MODIS	D1	10.5067/AQUA/MODIS/L3M/CH L/2018	NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer data (MODIS) Aqua	NASA https://lpdaac.usgs.gov/	HI	Klorofyll per kvadratmeter fra satellitt. Åttedagers gjennomsnitt med 4x4 km oppløsning.	2003-nå
Primærproduktivitet fra satellit	D2		Oregon State University. http://www.science.oregon-state.edu/ocean.productivity	Oregon State University.	HI	Data for primærproduksjon, åttedagers gjennomsnitt med 4x4 km oppløsning.	2003-nå
Biomasse og antall fra pelagisk trål	D4		HI	Norsk Marint Datasenter (NMD)	HI	Rådata er datasett med informasjon om art og biomasse fra pelagisk trål (Harstad trål) fra økosystemtokt i Barentshavet, som gjennomføres av HI og PINRO hvert år i august / september.	2004-nå
Biomasse og antall fra bunntål	D5		HI	Norsk Marint Datasenter (NMD)	HI	Rådata er datasett med informasjon om art og biomasse fra bunntål (Campelen-1800 trål) fra økosystemtokt i Barentshavet, som gjennomføres av HI og PINRO hvert år i august / september.	2004-nå (fisk) 2009-nå (bunndyr)
Calanus	D9		HI	Norsk Marint Datasenter (NMD)	HI	WP2-data fra HIs båter (ikke russiske data). Metode beskrevet i (Aarflot et al. 2017).	1989-nå
Polartorsk	D10		HI/PINRO	Norsk Marint Datasenter (NMD) / PINRO	HI	Bestandsestimat av polartorsk i Barentshavet. Baseres på data fra akustiske registreringer fra ekkolodd, samt tråltrekk for validering av artsammensetning.	1986-2017
Lodde	D11		HI/PINRO	Norsk Marint Datasenter (NMD) / PINRO	HI	Bestandsestimat av lodde i Barentshavet. Baseres på data fra akustiske registreringer fra ekkolodd, samt tråltrekk for validering av artssammensetning.	1973-nå
Nordøstarktisk torsk	D12		HI/PINRO	Norsk Marint Datasenter (NMD) / PINRO	HI	Bestandsestimater fra standardmetode i ICES, for detaljer om hvilke data som inngår se appendix for indikatoren for NØA torsk.	1946-nå

Sjøfugl Norsk	D6		NINA	SEAPOP (www.sea-pop.no) / lokalt på NINA (Per Fauchald)	HI	Rådata er datasett med informasjon om art og tetthet (antall per km ²) fra økosystemtokt i Barentshavet, som gjennomføres av HI og PINRO hvert år i august / september.	2004-nå
Sjøfugl Russisk	D7		PINRO	PINRO / lokalt på NINA (Per Fauchald)	HI	Rådata er datasett med informasjon om art og tetthet (antall per km ²) fra økosystemtokt i Barentshavet, som gjennomføres av HI og PINRO hvert år i august / september.	2012-nå
Hydrografidata, havtemperatur og saltholdighet	D3		HI	Norsk Marint Datasenter (NMD) Tindor.imr.no	HI	Rådata er et datasett med >70 000 CTD-profiler samlet inn fra forskningsfartøy under havovervåkingen til HI og PINRO hver august / september. Rådata er griddet på hver femte meters dyp med DIVA-programvaren slik det er gjort i (Lind et al. 2018).	1970-nå
Havis	D8	https://doi.org/10.5067/8GQ8LZQVL0VL	NASA National Snow & Ice Data Center (NSIDC)	NSIDC https://n5eil01u.ecs.nsidc.org/PM/NSIDC-0051	NP	Månedlig gjennomsnittlig havis konsentrasjon fra satellitt, 25 x 25 km oppløsning, for april og september. For mer detaljer se Appendiks 1.	1979-nå

3 Estimering av indikatorverdier

I dette kapittel beskrives metoder for hvordan indikatorverdier beregnes basert på datagrunnlaget presentert i Kap. 2. Metoder anvendt for vurdering av usikkerhet er angitt til en av tre overordnede kategorier: (1) basert på etablerte statistiske metoder (modell eller design-basert), hvor variasjon i rom og/eller tid i utvalget er brukt, (2) kvantitative metoder utviklet spesielt for formålet (for eksempel permuteringstilnærminger som er ikke basert på et utvalg eller statistisk fordeling), (3) ekspertvurderinger med antatte statistiske fordelinger. I dette pilotprosjektet er kategori 3) aldri brukt. Det er også angitt dersom datagrunnlaget som var tilgjengelig i pilotprosjektet ikke tillater vurdering av usikkerhet, eller dersom det grunnet kort tid til å gjennomføre pilotprosjektet fortsatt er uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes. Appendiks 1 er et viktig supplement til Kap. 3. Dette inneholder grafiske fremstillinger av alle indikatorverdier, samt supplerende metoder for estimering av indikatorverdier og trender i disse der dette er påkrevd.

Tabell 3.1. Metoder for estimering av indikatorverdier for arktisk del av Barentshavet.

Indikator	Datasett ID	Metoder for estimering av indikatorverdi(er)	Metode for estimering av usikkerhet
Årlig primærproduksjon	D2	Indikatoren beregnes per Atlantis-polygon som karbon produsert per m ² per år. Primærproduksjon er estimert fra Vertically Generalized Production Model (VGPM) (Behrenfeld and Falkowski 1997) og er basert på MODIS data for klorofyll og fysiske variabler i tidsrommet 2003 til dags dato. Modellresultatene er lastet fra http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity som åttedagers gjennomsnitt med 4x4 kilometers oppløsning. Gjennomsnitt ble beregnet for hvert Atlantis-polygon og integrert over tid for hvert år.	Kategori 1) Basert på etablerte statistiske metoder
Tidspunkt for våroppblomstring	D1	Indikatoren beregnes per Atlantis-polygon som dato. Tidspunkt for slutten på våroppblomstringen er dato med høyest verdi av klorofyll i årlige tidsserier fra MODIS aqua.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Gjennomsnittlig trofisk nivå	D4, D5	Hver art eller taksonomisk gruppe (totalt 732) er tildelt et trofisk nivå og habitattilhørighet basert på litteratur (MacKenzie et al in prep). Biomasse (kg/km ²) av organismer fra pelagiske og bentiske tråldata summeres for hver stasjon. I hver polygon beregnes for hvert år en gjennomsnittlig trofisk nivå basert på artssammensetning, vektet med biomasse.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper	D4, D5	Hver art eller taksonomisk gruppe (totalt 730) er klassifisert i en av 13 trofiske grupper basert på karakteristisk foringshabitat og diett, basert på litteratur (MacKenzie et al in prep.). Disse kan slås sammen til tre funksjonelle grupper: pelagisk, bento-pelagisk og bentisk, som angir dybdenivået hvor en art i hovedsak beiter. Biomasse (kg/km ²) av organismer fra pelagiske og bentiske tråldata summeres for hver stasjon, og ratio mellom biomasse av pelagiske og bentiske grupper beregnes.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Bento-pelagiske arter	D4, D5	Biomasse (kg/km ²) for taksa som klassifiseres som bento-pelagiske beregnes for hver polygon.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Bentiske filter predatorer	D5	Biomasse (kg / km ²) for taksa som klassifiseres som bentiske filtrerende predatorer beregnes for hver polygon.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Arktiske <i>Calanus</i> -arter	D9	Biomasse av arktiske <i>Calanus</i> -arter (<i>C. glacialis</i> og <i>C. hyperboreus</i>) i forhold til atlantisk art (<i>C. finmarchicus</i>) er estimert som ratioen mellom biomasse av den største størrelsesfraksjonen fra WP2 og summen av biomasse av de to minste størrelsesfraksjonene.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Polartorsk	D10	Total biomasse polartorsk som oppholder seg i Barentshavet i august-september brukes her som mål for mengde polartorsk i arktisk del av Barentshavet siden bestanden i stort sett oppholder seg i denne delen.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes

		Standard metodikk for beregning av biomasse fra akustiske tråltokt. For detaljer se Appendiks 1.	
Lodde	D11	Total biomasse av lodde i Barentshavet i august-september blir fordelt på umoden og moden biomasse. Størst vekt legges på utvikling over tid i den modne delen av bestanden. Både lengde på perioder med lav bestand og lengde på perioder med høy bestand blir vurdert. Bestandsmål er basert på akustiske tråltokt, for mer detaljer se Appendiks 1.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Nordøstarktisk Torsk	D12	Bestandsestimat beregnes med metoden XSA (eXtended Survivors Analysis (Darby and Flatman 1994), som er en standardmetode brukt av ICES. For mer detaljer se Appendiks 1.	Uavklart hvordan usikkerhet kan beregnes
Størrelse på temperaturnisjer	D3	Temperaturnisjer beregnes som areal eller volum av vannmasser med temperatur $T < 0^{\circ}\text{C}$, $0^{\circ}\text{C} < T < 3^{\circ}\text{C}$ og $T > 3^{\circ}\text{C}$.	Kategori 1) Basert på etablerte statistiske metoder
Utbredelse av havis	D8	Areal i % som er dekket av havis i april (maksimal isutbredelse) og september (minimal isutbredelse) beregnes for et rektangel. Dette rektangelet plasseres over hver polygon (utenom 24 & 26, og 48 & 49 som analyseres til sammen) med rektangelgrenser i nord-sør og øst-vest retning. Oppløsningen av produkter fra passive mikrobølgesatellitter er begrenset, og er i tall 25 km x 25 km. For mer detaljer se Appendiks 1.	Ikke mulig å beregne usikkerhet
Artsutskiftingsrater bunnfisk	D5	Artsutskiftingsrater estimerer hvor stor endring det er i artssammensetning mellom to år. Metoden er basert på estimer av betadiversitet i tid og er en videreutvikling av metoden brukt i Certain and Planque (2015). Konsistente endringer fra en samfunnstype til en annen vurderes ved plot av forskjell (betadiversitet) mellom årene (y) og avstand mellom årene (x). Perioder med forhøyet endringsrate identifiseres fra plot av forskjeller (betadiversitet) mellom påfølgende år gjennom tidsserien. For mer detaljer se Appendiks 1.	Kategori 2) kvantitative metoder utviklet spesielt for formålet. For mer detaljer se Appendiks 1.
Artsutskiftingsrater sjøfugl	D6, D7	Se beskrivelse for Artsutskiftingsrater bunnfisk	Kategori 2) kvantitative metoder utviklet spesielt for formålet
Varmeinnhold hav	D3	Varmeinnhold estimeres relativt til 0°C for de øvre 100 m av havet i hver gridcelle og midles over hver polygon, jmf. (Lind et al. 2018).	Kategori 1) Basert på etablerte statistiske metoder
Ferskvannsinhold hav	D3	Ferskvannsinhold estimeres relativt til 35.0 psu for de øvre 100 m av havet i hver gridcelle og midles over hver polygon, jmf.(Lind et al. 2018).	Kategori 1) Basert på etablerte statistiske metoder

4 Vurdering av avvik fra god økologisk tilstand

I dette kapittel beskrives metoder for hvordan vurderingen av avvik fra god økologisk tilstand er gjort. Først følger en liste over hvilke fenomener som er tilknyttet hver enkelt indikator, samt overordnet metode anvendt for vurdering av om/i hvilket omfang fenomenet har inntruffet (Tabell 4.1). Etterfølgende gis en begrunnelse for hvert enkelt fenomen, hvorfor det utgjør et avvik fra god tilstand, samt dets kobling til menneskelige drivere.

Tabell 4.1. Liste over fenomener og metoder for vurdering av om/i hvilket omfang fenomener har inntruffet – arktisk del av Barentshavet. I henhold til protokollen for fagpanel-prinsippet angis metode som en eller flere av tre alternativer: 1) I forhold til litteraturbasert grenseverdi, 2) I forhold til variasjon beregnet fra indikatorserien (eks. 'Time of Emergence (ToE)' eller endringsrater), 3) I forhold til observerte effekter på andre deler av systemet.

Indikator	Kortnavn/ID for fenomen	Metode for vurdering av om/i hvilket omfang fenomenet har inntruffet
Årlig primærproduksjon	Økning i årlig primærproduksjon [f1]	Metode 2) og 3)
Tidspunkt for våroppblomstring	Tidligere tidspunkt for avslutning av våroppblomstring [f2]	Metode 2) og 3)
Gjennomsnittlig trofisk nivå	Nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå [f3]	Metode 2) og 3)
Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper	Økende biomasse av pelagiske arter i forhold til bentiske arter [f4]	Metode 2) og 3)
Bento-pelagiske arter	Økende biomasse av bento-pelagiske arter [f5]	Metode 2) og 3)
Bentiske filter predatorer	Minkende biomasse av bentiske filter predatorer [f6]	Metode 2) og 3)
Arktiske <i>Calanus</i> -arter	Minkende andel arktiske <i>Calanus</i> -arter [f7]	Metode 2) og 3)
Polartorsk	Vedvarende nedgang i bestandsstørrelse av polartorsk [f8]	Metode 2) og 3)
Lodde	Økt grad av ustabilitet i bestandsstørrelse av lodde [f9]	Metode 2) og 3)
Nordøstarktisk Torsk	Vedvarende endring i bestandsstørrelse av NØA torsk [f10]	Metode 2) og 3)
Størrelse på temperaturnisjer	Minkende areal dekket av arktiske vannmasser (T<0 grader C) [f11]	Metode 2) og 3)
Utbredelse av havis	Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis [f12]	Metode 2) og 3)
Artsutskiftingsrater bunnfisk	Forhøyede artsutskiftingsrater bunnfisk [f13]	Metode 2) og 3)
Artsutskiftingsrater sjøfugl	Forhøyede artsutskiftingsrater sjøfugl [f14]	Metode 2) og 3)
Varmeinnhold hav	Økende varmeinnhold [f15]	Metode 2) og 3)
Ferskvannsinhold hav	Minkende ferskvannsinhold [f16]	Metode 2) og 3)

4.1 Begrunnelse for fenomener

Indikator: Årlig primærproduksjon – Fenomen: Økning i årlig primærproduksjon

Antropogen global oppvarming fører til økende overflatetemperatur og øket stratifisering, som igjen fører til forandringer i primærproduksjon (Doney et al. 2012). I polare strøk vil redusert isdekke føre til et større område hvor lys slipper til i vannet og primærproduksjon kan finne sted (Yool et al. 2015). I tillegg fører temperaturøkningen til økende primærproduksjon i Arktis, og dette har vært observert helt siden starten på nåværende århundre (Dalpadado et al. 2014, Arrigo and van Dijken 2015). Koblingen til klimaendringer vurderes derfor som sikker (Laufkötter et al. 2015). I kalde havområder (Arktis) forventes økt primærproduksjon lede til økt totalproduksjon (Lee et al. 2016). Den generelle forståelsen av primærproduksjonen for marine økosystemer er god (Bryndum-Buchholz et al. 2019), men forståelsen av økning i primærproduksjon i økosystemet i arktisk del av Barentshavet vurderes som mindre god, fordi det har vært gjort lite systematiske studier i arktiske havområder hvor primærproduksjon har inngått. Endringer i artssammensetning som følge av endring i primærproduksjon er lite forutsigbar. I Antarktis har økning i primærproduksjon vært fulgt av økning i biomasse av sjøpølser men nedgang i krillbestanden, og følgelig nedgang i mattilgangen for pingviner og andre krillbeitere (Atkinson et al. 2004, Schofield et al. 2010). En økning i primærproduksjon vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) den resulterer i endret artssammensetning på høyere trofiske nivåer, ii) det resulterer i endrede forhold mellom pelagiske og bentiske næringskjeder.

Indikator: Tidspunkt for våroppblomstring – Fenomen: Tidligere tidspunkt for avslutning av våroppblomstring

Den viktigste driveren for forandring av tidspunkt for avslutning av våroppblomstring er klimaendringer (Racault et al. 2012, Winder and Sommer 2012), og denne koblingen vurderes som sikker. Tidspunkt for våroppblomstringen påvirkes til stor del av lysforhold, men variasjon i respons på temperaturforandringer hos plankton spiller også en rolle (Marchese et al. 2019). I polare strøk vil smelting av sjøis føre til et større område hvor lys slipper til i vannet og primærproduksjon kan finne sted så snart mørkeperioden er over (Arrigo and van Dijken 2015, Brody and Lozier 2015, Yool et al. 2015). Årsvariasjon av værforhold gir variasjon av lys, isforhold og stratifisering som vil medvirke til mellomårlig variasjon i tidspunkt for våroppblomstring (Aarflot et al. 2017). Smelting av is fører til ferskvann i overflaten som forsterker stratifisering. Tidlig ismelting og påfølgende stratifisering om våren kan gi tidligere start på våroppblomstring, fordi økt stratifisering tidlig på våren vil holde algene oppe i de øvre vannmassene der det er lys, i motsetning til manglende stratifisering som vil føre til at algene blir blandet ned i mørke vannmasser større del av tiden (Zhai et al. 2011). En systematisk forandring mot tidligere tidspunkt vil være forbundet med dårligere tilstand fordi det kan føre til asynkronisering i forhold til behov og produksjon av næring til predatorer (Edwards and Richardson 2004, Winder and Schindler 2004, Leu et al. 2011, Leu et al. 2015). Globalt er slike forandringer tydelige både i tropiske og temperate farvann (Friedland et al. 2018). Fordi systematiske «match-mismatch» undersøkelser ikke har vært gjort i arktiske marine økosystemer over tid, vurderes forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet i arktisk del av Barentshavet som mindre god. Endringer vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) fenologi til viktige beitere, predatorer og deres næringsgrunnlag faseforskyves.

Indikator: Gjennomsnittlig trofisk nivå – Fenomen: Nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå

Biomassefordeling mellom forskjellige trofiske nivå kan påvirkes av både klimatiske og andre menneskeskapte drivere. Et varmere klima forventes å endre artssammensetningen i arktisk del av Barentshavet fra arktiske til atlantiske arter som er mer generalistiske, bruker mer pelagiske ressurser, og er mindre avhengige av resirkulerte næringsstoffer (Fossheim et al. 2015, Kortsch et al. 2015, Frainer et al. 2017). Klimaendringer vil dermed kunne føre til en nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå. Fiskeri beskatter ofte arter i høyere trofiske nivå og vil også kunne føre til nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå (Pauly et al. 1998, Tsikliras et al. 2015). Det er også mulig at endringer i artssammensetning og biomasse grunnet bunntåling og spredning av snøkrabbe vil kunne påvirke biomasseforholdene mellom trofiske nivå. Vi er ikke kjent med undersøkelser av dette fra Barentshavet, men i en studie fra Nordsjøen vist ingen effekt fra bunntåleaktivitet på trofisk nivå i bunndyrssamfunn (Jennings et al. 2001). Siden gjennomsnittlig trofisk nivå er et resultat av biomasseforhold mellom de ulike artene i samfunnet vil endringer i bestander av enkeltarter både direkte påvirke indikatorverdien og indirekte kunne gi kaskadeeffekter i form av endringer av biomasseforhold i andre deler av næringskjeden (Casini et al. 2012). Gjennomsnittlig trofisk nivå vil derfor kunne bli påvirket av multiple drivere, og det vil være vanskelig å knytte endringer til spesifikke drivere. Koblingen til menneskeskapte drivere vurderes derfor som mindre sikker. Indikatoren er av en overordnet art, og vil fange opp hvis det for eksempel blir en oppblomstring av maneter, som i liten grad blir spist og næringen dermed ikke går videre i næringskjeden (Pershing et al. 2015). Slike tilfeller av forskyving av næringskjeder mot lavere trofisk nivå har vist seg å være svært uheldig for mange arter, særlig på høyere trofisk nivå, i andre økosystemer (Hunt Jr et al. 2002, Zheng and Kruse 2006, Luczak et al. 2011, Pershing et al. 2015). Det er derfor en indikator som kan detektere grunnleggende strukturelle endringer med store konsekvenser for økosystemet. På tross av en generell forståelse av indikatoren i marine økosystemer, er det stor usikkerhet knyttet til effekter i spesifikke økosystemer, og forståelsen av endringer i gjennomsnittlig trofisk nivå for økosystemet i arktisk del av Barentshavet vurderes som mindre god. Endringer i gjennomsnittlig trofisk nivå vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) endringen skyldes at høyere trofiske nivå blir borte, ii) endringen årsakes av økning i enkeltarter på lavere trofisk nivå med «lav næringsverdi».

Indikator: Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper – Fenomen: Økende biomasse av pelagiske arter i forhold til bentiske arter

Biomassefordeling mellom pelagiske og bentiske trofiske grupper kan påvirkes av både klimatiske og andre menneskeskapte drivere. I områder med mye havis synker mye av primærproduksjonen til bunnen (særlig isalger som frigis når isen tiner), og det er lav produksjon i de pelagiske vannmassene gjennom store deler av året (Hobson et al. 1995, Wassmann and Reigstad 2011). Mindre havis gir derfor et skifte fra at mye primærproduksjon synker til bunnen og blir tilgjengelig for bentiske evertebrater til at primærproduksjonen blir konsumert av dyreplankton i de pelagiske delene av systemet (Kędra et al. 2015). Dette resulterer i lavere næringstilgang til det bentiske samfunnet og et varmere klima forventes derfor gi en økning av pelagiske arter på bekostning av bentiske arter (Wassmann

and Reigstad 2011, Jones et al. 2014, Kędra et al. 2015). En nedgang i biomasse av bentiske arter kan også forventes med økende mengder snøkrabbe (Galil et al. 2011, ICES 2017) og økende bunntrålingsaktivitet (Buhl-Mortensen et al. 2016, Jørgensen et al. 2016). Det er derfor flere viktige menneskeskapte drivere i arktisk del av Barentshavet som vil påvirke indikatoren i den samme retningen. På tross av sannsynlige sammenhenger med menneskeskapte drivere er dette en indikator med stor usikkerhet knyttet til naturlig variasjon og koblingen til menneskeskapte påvirkninger vurderes som mindre sikker. Det vil også være vanskelig å knytte endringer til en enkelt driver. Denne indikatoren gir generell informasjon om forhold mellom pelagisk og bentisk biomasse, og vil fange opp endringer i «styrkeforhold» mellom disse gruppene, og vil belyse endringer i koblingen mellom pelagiske og bentiske habitat (Griffiths et al. 2017). Siden det er få storskala studier fra arktiske marine økosystem som inkluderer både pelagiske og bentiske næringskjeder, vurderes forståelsen av indikatorens rolle i arktisk del av Barentshavet som mindre god. Endringer i forhold mellom pelagisk og bentisk biomasse vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) enkelte eller flere bentiske funksjonelle grupper forsvinner, ii) endringen årsakes av økning av boreale pelagisk eller bentisk-pelagisk arter, slik at det typisk arktiske samfunnet blir borte.

Indikator: Bento-pelagiske arter – Fenomen: Økende biomasse av bento-pelagiske arter

Biomasse av bentisk-pelagiske arter påvirkes av klima og andre menneskeskapte drivere, for eksempel fiskeri. Mange av artene i denne funksjonelle gruppen er boreale generalister (Fossheim et al. 2015, Kortsch et al. 2015, Frainer et al. 2017) og med varmere klima forventes biomassen av denne gruppen å øke. Bentisk-pelagiske arter i arktisk del av Barentshavet består av både predatorer (for eksempel torsk) og omnivorer (for eksempel reker), og i sentrale deler av Barentshavet drives det kommersielt fiske på flere av disse. Overfiske vil dermed kunne føre til en nedgang i biomasse av denne gruppen i arktisk del av Barentshavet på sikt. Koblingen til klima og fiskeri vurderes som mindre sikker, da den er avhengig av hvilke arter som dominerer innen gruppen av bentisk-pelagiske arter. Høy biomasse av bentisk-pelagiske generalister vil kunne påvirke både pelagiske og bentiske deler av økosystemet, og vil kunne forårsake økt predasjon på flere typisk arktiske arter (Fossheim et al. 2015, Kortsch et al. 2015). Men grunnet få storkala studier vurderes forståelsen av endringer i bentisk-pelagisk biomasse og dess betydning for økosystemet i arktisk del av Barentshavet som mindre god. Endringer vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) en økning sammenfaller med en nedgang i typisk arktiske byttedyrarter.

Indikator: Bentiske filter predatorer – Fenomen: Minkende biomasse av bentiske filter predatorer

Biomasse av bentiske filter predatorer påvirkes negativt av klima og bunntrålingsaktivitet. Dette er fordi denne gruppen mest består av typisk arktiske langlevde, høyreiste og fastsittende arter som for eksempel dyphavssjøfjæren *Umbellula encrinus*, og at disse har vist seg å være sårbare for både oppvarming og forstyrrelser av bunnhabitatet (Jørgensen et al. 2016, Jørgensen et al. 2019). Arter i denne gruppen blir ofte fanget i fiskeredsaker som brukes til bunntråling og studier viser at biomassen synker i områder med mye bunntrålingsaktivitet (Kaiser and de Groot 2000, Kaiser et al. 2000, Moran and Stephenson 2000, Pitcher et al. 2000). Koblingen til

menneskeskapte drivere vurderes som mindre sikker. Mange arter i denne gruppen lager store komplekse strukturer, og utgjør et viktig habitat for mange andre arter, inkludert unge stadier av fisk (Auster et al. 1996, Ross et al. 2007). En minking av bentiske filter predatorer vil mest sannsynlig føre til at diversiteten og en stor del av den karakteristiske arktiske faunaen forsvinner (Jørgensen et al. 2015). Forskning på denne gruppen som til stor del består pigghuder (som *Gorgonocephalus*, *Heliometra*), sjøanemoner (*Actiniaria*), koraller (som *Drifa*, *Gersemia*, *Nephtheidae*) og sjøfjære (som *Umbellula*) er relativt begrenset, og forståelsen av endringer i biomasse av bentiske filter predatorer og dess betydning for økosystemet vurderes derfor som mindre god. Endringer vurderes som **biologisk betydelige** dersom eksempelvis i) denne karakteristiske arktiske faunaen blir erstattet av mindre trålsensitiv bløtbunnsfauna ii) nedgangen sammenfaller med minkende diversitet av bentiske organismer.

Indikator: Arktiske Calanus-arter – Fenomen: Minkende andel arktiske Calanus-arter

Tre *Calanus*-arter forekommer i den arktiske delen av Barentshavet, *Calanus finmarchicus*, *Calanus glacialis* og *Calanus hyperboreus*. Mens *C. finmarchicus* i hovedsak er en atlantisk art som også kan forekomme i subarktiske vannmasser, er *C. glacialis* en utpreget arktisk art med utbredelse hovedsakelig i arktiske vannmasser i Barentshavet (Conover 1988, Tande 1991, Melle and Skjoldal 1998, Hirche and Kosobokova 2007, Aarflot et al. 2017). *C. hyperboreus* er i utgangspunktet i dypvannsart med lav abundans i Barentshavet og er i større grad knyttet til arktiske enn at atlantiske vannmasser (Aarflot et al. 2017). På grunn av kort generasjonstid er dyreplankton forventet å respondere raskt på endringer i klima (Hays et al. 2005). Det er derfor forventet at endring i retning av et varmere klima med mindre havis vil føre til at biomassen øker for atlantiske dyreplankton og avtar for arktiske arter (Falk-Petersen et al. 2007). Klima anses som den viktigste driveren for denne indikatoren og koblingen til driveren vurderes som sikker. Rundt 80% av den totale biomassen av mesozooplankton i Barentshavet utgjøres av *Calanus*-artene (Aarflot et al. 2017), og de er derfor sentrale for funksjonen i økosystemet. De to arktiske artene er også større og mer fettrike enn den atlantiske arten. Endring i retning av økt dominans av den atlantiske arten kan følgelig ha store effekter på mange av artene som ernærer seg av dyreplankton (Karnovsky et al. 2003, Steen et al. 2007, Rogachev et al. 2008). Endringer i Nordsjøen er også en relevant parallell som kaster lys over mulige konsekvenser av endringer i den arktiske delen av Barentshavet. Her det vært et skifte i retning av mer sørlige dyreplanktonarter, der en endring fra *Calanus finmarchicus* (her en nordlig art) til *Calanus helgolandicus* (sørlig) som dominerende art er sentralt (Beaugrand 2004, Beaugrand et al. 2014). Dette har hatt en rekke effekter på resten av økosystemet. Sørlig dyreplankton gyter i stor grad om sommeren i stedet for på våren som de mer nordlige artene, og dette har gjort at produksjon av dyreplankton i mindre grad enn tidligere sammenfaller med gyteperioder for fisk (McQuatters-Gollop et al. 2007, Defriez et al. 2016, Edwards et al. 2016). Dette kan ha bidratt til den lave rekrutteringen man har sett i flere fiskebestander (Clausen et al. 2017). Skiftet i retning av mer sørlige arter bidrar også til en generelt lavere produksjon av dyreplankton (Edwards et al. 2016), noe som forventes å ha betydning ikke bare for rekruttering, men også for hele bestanden av fisk, spesielt planktonspisende arter (Clausen et al. 2017). Endringene i dyreplanktonsamfunnet kan derfor være en av årsakene til den fallende produksjonen man har sett i flere fiskebestander (ICES 2016, Clausen et al. 2017). Forståelsen av den mulige

biologiske betydningen av en nedgang i andel arktiske *Calanus*-arter vurderes følgelig som god. Endringer vurderes som **biologisk betydelige** dersom eksempelvis i) nedgangen er stor i forhold til historisk variasjon, ii) endringen er tilsvarende det en har observert at satte i gang betydelige effekter i Nordsjøen.

Indikator: Polartorsk – Fenomen: Vedvarende nedgang i bestandsstørrelse av polartorsk

Flere menneskelige påvirkninger, da særlig klima og fiskeri, vil direkte eller indirekte kunne føre til endringer i mengde polartorsk. Frem til 2014 var polartorskbestanden i Barentshavet direkte påvirket av fiskerivirksomhet. Klimaendringer, da særlig endringer i is-frontsonen eller endringer i næringsnett, vil kunne føre til en nedgang i bestanden av den typisk arktiske polartorsken. I tillegg påvirkes polartorskbestanden av predasjon, og klimaendringer vil føre til at nye predatorer, for eksempel torsk, kommer til som i kjent historisk tid ikke har opptrådt i særlige antall i polare vannmasser (Fossheim et al. 2015, Frainer et al. 2017). Vern gjennom fiskeriforvaltningen kan også redusere fiskedødeligheten, så predatorarter, som torsk får større bestand og utbredelse. Det er derfor sannsynlig at menneskelig påvirkning vil vises i denne indikatoren. Grunnet kompleksiteten i direkte og indirekte påvirkninger, betydelig naturlig variasjon og metodisk usikkerhet kan ikke enkelt drivere skilles fra hverandre og koblingen til drivere vurderes derfor som mindre sikker. Det vil i tillegg være vanskelig å fastslå om observerte endringer er forårsaket av endringer i bestandens utbredelse eller mengde. Polartorsk er en viktig ressurs for større fiskearter som torsk og hyse og også sjøfugl, og sjøpattedyr (Hop and Gjøsæter 2013). Rene polare rovdyr som sjøpattedyr, kanskje særlig sel og polare sjøfuglarter ved iskantsonen har polartorsk som viktig bytte gjennom hele året. Lodde dekker ikke denne funksjonen i samme grad, da den opptrer sesongmessig i polare farvann og iskantsonen som polartorsk er knyttet til. Polartorsk er særlig viktig når lodden kollapser, og er historisk også en mer stabil bestand. Forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet i arktisk del av Barentshavet vurderes som god. Endringer vurderes som **biologisk betydelig** dersom i) vedvarende lav tilgang til polartorsk fører til nedgang i de kommersielt viktige bestander som sjøpattedyr, torsk og hyse. Dette må vurderes i forhold til samtidig bestand av andre byttedyrarter. Polartorsk kan ha økt betydning som næring når lodden kollapser men lodde kan nødvendigvis ikke erstatte polartorsken helt i nord og gjennom hele året. Det er ikke utredet hva som er kritisk lavt nivå av polartorsk men under 300 000 tonn er historisk sett vurdert som lave tall i forhold til å opprettholde sin betydning i økosystemet.

Indikator: Lodde – Fenomen: Økt grad av ustabilitet i bestandsstørrelse av lodde

Menneskelige påvirkninger, som klima og fiskeri, påvirker mengde lodde som oppholder seg i arktisk del av Barentshavet. Loddebestanden i Barentshavet er preget av store svingninger. Bestanden er direkte påvirket av fiskeriaktivitet, og basert på de siste 20 års overvåking er vedvarende lav bestand ansett som forårsaket av for høyt fisketrykk (Gjøsæter et al. 2009). I tillegg vil mengde lodde i Barentshavet kunne påvirkes av indirekte fiskeripåvirkning på andre store fiskebestander, som ungsild, torsk og hyse, som alle har lodde som byttedyr (Hop and Gjøsæter 2013). Samtidig vil lodde utnytte larver og yngel av sild og andre fiskearter så det er ikke en entydig effekt. I tillegg kommer påvirkning av predasjon fra sjøpattedyr og sjøfugl. Koblingen til menneskeskapte drivere i arktisk del

av Barentshavet vurderes som sikker. Gjennom studier av svingningene i loddebestanden finnes det nå god kunnskap om loddens betydning som både byttedyr og predator for økosystemet i Barentshavet. Lodde er en viktig predator på planktoniske krepsdyr, særlig rauåte for liten lodde og krill for større. Lodde er også viktig næring for både fisk, sjøfugl, og sjøpattedyr, og vurderes derfor som en nøkkelart i Barentshavet. Forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet vurderes som god. Endringer vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) vedvarende eller hyppige år med kollapset eller lav loddebestand fører til nedgang i loddeavhengige predatorer. Betydningen kan variere i forhold til tilgang av alternative byttedyr, så det vil være viktig å se på dette i forhold til styrken på ungsild og unge livsstadier av torsk og hyse, ii) vedvarende svake bestander eller kollaps i loddebestand gir en ustabil næringstilgang til sjøpattedyr og sjøfugl med negative konsekvenser for bestander av disse.

Indikator: Nordøstarktisk torsk – Fenomen: Vedvarende endring i bestandsstørrelse av NØA torsk

Klima og fiskeriene er ansett som viktigste drivere for endringer i mengde torsk som oppholder seg i arktisk del av Barentshavet. Torskebestanden i Barentshavet er direkte påvirket av fiskerivirksomhet, og denne påvirkningen reguleres gjennom kvotesetting i fiskeriene som skjer i samarbeid med Russland. Klimaendringer i form av temperaturøkning vil lede til utvidelse av områder med høvelige miljøforhold for torsk, noe som trolig er en årsak til økende mengde torsk i arktisk del av Barentshavet (Johansen et al. 2013, Kjesbu et al. 2014, Fossheim et al. 2015, Kortsch et al. 2015, Frainer et al. 2017). I tillegg vil utbredelsen av torsk i Barentshavet også kunne være tetthetsavhengig. Det er sannsynlig at menneskelig påvirkning vil vises i denne indikatoren, men grunnet kompleksiteten i direkte og indirekte påvirkninger, og betydelig naturlig variasjon vurderes koblingen til drivere som mindre sikker. Torsk er en boreal generalist predator, med mange interaksjoner til andre deler i økosystemet (Kortsch et al. 2015). Den er den viktigste rovfisken i Barentshavet, og spiser mange andre arter, men lodde er et av de viktigste byttedyrene (Holt et al. 2019). Torskens betydning i nordlige økosystemer er godt studert, og forståelsen av indikatorens rolle i arktisk del av Barentshavet vurderes som god. Endringer vurderes som **biologisk betydelige** dersom eksempelvis i) økende mengde torsk påvirker typisk arktiske arter negativt. Dette kan være betydelig økt predasjonspress på polare arter, som polartorsk, og muligheten for at den fortrenger polare arter som er viktig næring for sjøpattedyr. Det kan gi redusert kondisjon hos vågehval og grønlandssel (Bogstad et al. 2015), ii) raskt minkende mengde torsk i områder der den har vært tilstede i betydelig mengde kan gi ringvirkninger for både byttedyr og predatorer (Frank et al. 2005).

Indikator: Størrelse på temperaturnisjer – Fenomen: Minkende areal dekket av arktiske vannmasser

Klima er den viktigste driveren, og denne koblingen vurderes som sikker. Det nordlige Barentshavet er dominert av kalde arktiske vannmasser (Loeng 1991, Lind and Ingvaldsen 2012). Arktisk forsterkning av global oppvarming fører til redusert areal av områder med tradisjonelt kaldt arktisk vann ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$), samtidig som områder med blandede vannmasser ($0 < T < 3^{\circ}\text{C}$) og områder med atlantisk vann ($T \geq 3^{\circ}\text{C}$) øker (Johannesen et al. 2012, Fossheim et al. 2015, Lind et al. 2018). Samtidig er det naturlige svingninger fra sesong- til dekadisk skala, som for øvrig er mindre i arktiske deler av Barentshavet sammenlignet med atlantisk-dominerte sørlige Barentshavet

(Årthun et al. 2012, Lind and Ingvaldsen 2012, Lind et al. 2016). Reduksjon i områder med tradisjonelt kaldt arktisk vann fører til at arktiske arter får mindre tilgjengelig leveområde, og at mer varmetålige arter (boreale) kan forflytte seg inn i de arktiske, nordlige områdene av Barentshavet, og dermed får større leveområder tilgjengelig (Fossheim et al. 2015). Forståelsen av betydningen av mindre andel arktiske vannmasser for økosystemet vurderes på generelt grunnlag som god. Endringer i andel arktiske vannmasser vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) typisk arktiske arter blir erstattet av boreale arter.

Indikator: Utbredelse av havis – Fenomen: Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis

Klima er den viktigste driveren for havisutbredelse, og denne koblingen vurderes som sikker. Meteorologiske forhold som lufttemperatur, vind, nedbør, og forhold i havet som havtemperatur, havdynamikk bestemmer i lag om det kan dannes eller kan finnes havis i et havområde. Havis i Barentshavet kan enten dannes i Barentshavet, eller dannes andre steder (f. eks. i det sentrale Polhavet) og drive inn i Barentshavet. En kombinasjon av kald nok atmosfære og hav er forutsetninger for isdannelse og isvekst. De samme drivkreftene avgjør frysehastigheten og tidspunktet når smeltingen begynner. Mer oppdatert informasjon om utvikling og havisutbredelse i Arktis og sammenheng med klima finnes blant annet i (Meier et al. 2014, Notz and Stroeve 2016, Barber et al. 2017, Comiso et al. 2017, Box et al. 2019). Havisen representerer et eget habitat for ulike organismer, for enten å leve på, i eller under isen. Sympagisk fauna er sterkt knyttet til isen mens andre arter som benytter dette habitatet ikke like avhengige av tilstedeværelse av havis. I tillegg til det mest grunnleggende, om det er is eller ikke, er også isegenskaper, isstykkelse, snødekke og tidspunkter for isdannelse og ismelting iht. årstid viktige for organismene som lever i eller i tilknytning til havis. Forskning på isfauna strekker seg tilbake til slutten av 1980 tallet (e.g. Melnikov 1997) og den generelle forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet i arktisk del av Barentshavet som god, men mangel på overvåking har gjort at det er vanskelig å bedømme den reduserte betydningen av isfauna ettersom isen i Barentshavet og rundt Svalbard har minket i omfang (Hop et al. 2013, Bluhm et al. 2017). Is amfipoden *Gammarus wilkitzkii*, som kan leve i 6-7 år, har hatt betydelig nedgang i tetthet og biomasse på grunn av minkende havis. Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) det resulterer i minkende populasjoner av typisk arktiske arter knyttet til havis, for eksempel ringsel og is-amfipoden *Gammarus wilkitzkii*, ii) det sammenfaller med minkende utbredelse av polartorsk.

Indikator: Artsutskiftingsrater bunnfisk – Fenomen: Forhøyede artsutskiftingsrater bunnfisk

Flere menneskelige påvirkninger (klima, bunntråling, fiskeri/høsting, fremmede arter) vil kunne føre til endringer i samfunnsstruktur og artssammensetning. Forhøyede artsutskiftingsrater er blitt forbundet med «stressede» økosystemer (Gutiérrez-Cánovas et al. 2013, Socolar et al. 2016, Roden et al. 2018), og vil dermed være forbundet med dårligere økologisk tilstand. Koblingen mellom menneskeskapte drivere og forhøyede artsutskiftingsrater vurderes som sikker, men det vil være vanskelig å knytte endringer til en enkelt driver. Ved observasjoner av forhøyede artsutskiftingsrater eller endringer i artssammensetning, vil det være nødvendig med mer detaljerte studier for å fastlegge hvilke arter som øker og minker, og dermed kunne konkludere om hvilken påvirkning som mest

sannsynlig er årsaken. For eksempel vil en endring fra arktiske til boreale arter («borealisering») mest sannsynlig skyldes klimaendringer (Dalpadado et al. 2012, Fossheim et al. 2015, Frainer et al. 2017, Johannesen et al. 2017). Med mer kunnskap om utvikling av påvirkninger på økosystemet over tid, vil det også kunne være mulig å koble perioder med forhøyede artsutskiftingsrater til enkelte påvirkningsfaktorer. Denne indikatoren er av generell karakter, og brukes til å undersøke om artssammensetningen endres fra en type til en annen og til å vurdere om det har vært perioder med forhøyede artsutskiftingsrater, for eksempel om denne raten er høyere nå enn tidligere. Et økosystem med forhøyede artsutskiftingsrater er ikke stabilt, og selv om vi har begrensede formelle analyser av dette fra arktisk del av Barentshavet (Certain and Planque 2015) vurderes forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet på generelt grunnlag som god. Siden indikatoren ikke gir svar på hvilke arter som øker eller minker vil det være vanskelig å sette opp klare forventninger for hva som skal være oppfylt for at endringen skal vurderes som **biologisk betydelig**.

Indikator: Artsutskiftingsrater sjøfugl – Fenomen: Forhøyede artsutskiftingsrater sjøfugl

Samme generelle begrunnelse og vurderinger som for fenomenet 'Forhøyede artsutskiftingsrater bunnfisk' vil i stort sett også gjelde for sjøfugl. Men for sjøfugl vil i mindre grad være påvirket av bunntålingsaktivitet og økte mengder snøkrabbe sammenlignet med bunnfisksamfunnet. Artssammensetning av sjøfugl observert i Barentshavet vil kunne påvirkes både av populasjonsdynamikk hos de forskjellige artene og av endringer i utbredelse. Norske bestander av sjøfugl har de siste årene vist en nedadgående trend (Descamps et al. 2013, Barrett et al. 2014, Fauchald et al. 2015). Den observerte nedgangen i mange sjøfuglbestander i Norge er trolig et resultat av økt predasjon i hekkkoloniene og endret byttedyrtilgang grunnet forandringer i økosystemet (Fauchald et al. 2015, Ramírez et al. 2017). Dermed kan dette fenomenet være påvirket av en mengde forskjellige menneskelige drivere, for eksempel klimaendringer, miljøforurensing, beskatning, fiskeri (bi-fangst og konkurranse om byttedyr). Det vurderes derfor at det er en sikker kobling mellom menneskeskapte drivere og endringer i artsutskiftingsrater hos sjøfugl. På lik måte som for bunnfisk vurderes forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet på generelt grunnlag som god.

Indikator: Varmeinnhold hav – Fenomen: Økende varmeinnhold

Klima er den viktigste driveren, og denne koblingen vurderes som sikker, relatert til arktisk forsterkning av global oppvarming. Økt varmeinnhold i de øvre 100 m av vannsøylen indikerer en endring fra kaldt arktisk klima mot varmere klima med mindre arktisk vann og sjøis. For nordlige deler av Barentshavet er økningen av varmeinnhold etter 2005 ekstrem i forhold til perioden 1970-1999 og utenfor den normale variasjonen tidligere. Denne 'atlantifiseringen' er koblet til nedgang i tilførsel av is og ferskvann til Barentshavet og kan på sikt føre til et skifte fra arktisk til atlantisk havklima (Lind et al. 2016, 2018). Ettersom mange arktiske arter er tilpasset kaldere hav og tilstedeværelse av havis, hele året eller i perioder kan oppvarming av vannmassene og tap av sjøis være negativt for dem, og øke konkurransen fra boreale arter. 'Atlantifisering' er mest sannsynlig årsak til observert utskifting av arktiske arter til mer boreale arter i nordlige deler av Barentshavet (borealisering) (e.g. Fossheim et al. 2015, Frainer et al. 2017). Forståelsen av betydningen

for økosystemet av varmere hav vurderes på generelt grunnlag som god. Endringer varmeinnhold vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) typisk arktiske arter blir erstattet av boreale arter.

Indikator: Ferskvannsinhold hav – Fenomen: Minkende ferskvannsinhold

Klima er den viktigste driveren, og denne koblingen vurderes som sikker. Det nordlige Barentshavet er, som Polhavet for øvrig, dominert av kalde, ferskere arktiske vannmasser som beskytter isdekket mot varmt atlantisk vann som er tyngre fordi det inneholder mer salt (Nansen 1902). Arktisk forsterkning av global oppvarming fører til raskt tap av sjøis, særlig i nordlige Barentshavet, nordlige Karahavet og i det Eurasiske bassenget (Screen and Simmonds 2010, Carmack et al. 2015). Isimport til Barentshavet påvirker mengden is der, og er også den viktigste kilden til ferskvann (Ellingsen et al. 2009, Koenig et al. 2009, Lind et al. 2018). Nedgangen i ferskvann etter 2005 er relatert til redusert isimport (Lind et al. 2018), som igjen høyst sannsynlig er knyttet til stort tap av sjøis i det Eurasiske Bassenget med endring fra flerårsis til sesongisdekke i samme periode (Carmack et al. 2015). Mindre is i Arktis er ett av de best dokumenterte følgene av global oppvarming og arktisk forsterkning av denne (e.g. Serreze and Barry 2011) siden 1979, etter at kontinuerlige satellittobservasjoner begynte. Sterke positive tilbakekoblinger fører til at en initial oppvarming forsterkes i Arktis, der isalbedoblingen er den mest kjente og blant de sterkeste og raskeste koblingene (Serreze and Barry 2011).

Mindre ferskvann i øvre hav indikerer at lagdelinga er svakere og muliggjør økt oppblanding av varme, salt og næringssalter opp fra det atlantiske vannlaget i dypet (Lind et al. 2016). Tilførselen av salt fører til ytterligere svekkelse av lagdelinga og dersom ferskvann ikke tilføres i tilstrekkelig grad vil oppblandingen av salt over tid føre til at lagdelinga bryter sammen slik at klimaet skifter fra arktisk til atlantisk havklima (Lind et al. 2018). Dette er del av prosessen som kalles 'atlantifisering'. Atlantifisering er forbundet med økt atlantisk påvirkning i sørlige og østlige Barentshavet (Årthun et al. 2012) og et skifte mot forhold som ligner mer på slik det nordlige Barentshavet var før lengre inn i Arktis, i Laptevhavet (Polyakov et al. 2017). Den økte blandingen mellom det intermediære arktiske vannlaget og det dype atlantiske vannlaget kan føre til større tilgang på næringssalter i øvre hav, men det er hittil ukjent om dette kan ha hatt betydning for økningen i primærproduksjon observert i samme periode i det nordlige Barentshavet. Endring i ferskvannsinhold/lagdeling påvirker sannsynligvis lokal produksjon av sjøis grunnet påvirkning på oppblanding av varme fra det atlantiske vannlaget (Lind et al. 2018).

'Atlantifisering' er mest sannsynlig årsak til observert klimaendring (Lind et al. 2018) og utskifting av arktiske arter til mer boreale arter i nordlige Barentshavet (borealisering; Fossheim et al. 2015, Kortsch et al. 2015, Frainer et al. 2017). Arktiske arter er tilpasset et kaldt, lagdelt og isdekt arktisk havklima, med betydelig ferskvannsinhold og sterk lagdeling. Forståelsen av betydningen for økosystemet av betydelig reduksjon i ferskvannsinhold vurderes som god. Endringer vurderes som **biologisk betydelig** dersom eksempelvis i) typisk arktiske arter blir erstattet av boreale arter.

5 Egenskaper

I dette kapittel beskrives det hvilken rolle indikatorene og deres assosierte fenomener har for de økosystemegenskapene de er tilordnet. Nært beslektede indikatorer tilordnet samme egenskap kan beskrives samlet. Beskrivelsen avspeiler den overordnede rollen som indikatoren/indikatorsettet - i sin nåværende form, og med det nåværende datagrunnlaget – bør ha i vurderingen av egenskapen. Eventuelle mangler i indikatorsettet påpekes i vurderingen av Egenskapens indikatordekning i Kapittel 6. For en vurdering av behovet for videreutvikling av enkeltindikatorer på kort og lang sikt, henvises til Appendiks 1 (se 'Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren' under hver indikator).

Tabell 5.1. Beskrivelse av indikatorsettet til hver egenskap i arktisk del av Barentshavet.

Egenskap	Indikator	Beskrivelse av rollen indikatoren har for å vurdere egenskapen
Primærproduksjon	Årlig primærproduksjon	Indikatoren gir generell innsikt i utvikling av produktiviteten i økosystemet, som har betydning for høyere trofiske nivå.
Primærproduksjon	Tidspunkt for våroppblomstring	Indikatoren gir innsikt i sesongvariasjon over tid. Primærproduksjon har sterk sesongvariasjon, og den høye produksjonen i starten av sesongen er viktig for mange primærkonsumenter, som er tilpasset til å tidsmessig synkronisering med tilgjengeligheten av fytoplankton.
Biomasse trofiske nivå	Gjennomsnittlig trofisk nivå	Indikatoren dokumenterer endringer i gjennomsnittlig trofisk nivå for en stor del av makro-organismene i Barentshavet.
Funksjonelle grupper	Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper	Indikatoren gir et overordnet bilde av endringer i forhold mellom to hovedgrupper av trofisk funksjonelle grupper i marine økosystemer.
Funksjonelle grupper	Bento-pelagiske arter	Indikatoren dokumenterer endringer i denne viktige funksjonelle gruppen, med mange boreale generalister, for eksempel torsk og reker. Arter i denne gruppen bidrar til å koble ulike deler av økosystemet sterkere sammen (Kortsch et al. 2015).
Funksjonelle grupper	Bentiske filter predatorer	Indikatoren dokumenterer endringer i denne funksjonelle gruppen som til stor del består av typisk arktiske organismer som er følsomme for både klimaendringer og bunntråling. En nedgang vil mest sannsynlig føre til lavere diversitet og at en stor del av den arktiske faunaen forsvinner.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Arktiske <i>Calanus</i> -arter	<i>Calanus</i> -artene utgjør 80% av biomassen av mesozoplankton i Barentshavet og er sentrale for overføring av energi fra primærproduksjon til høyere trofiske nivå. Endringer i relativ forekomst av de ulike artene kan ha betydelige effekter på hvordan dette skjer og kan derfor forårsake omfattende endringer i resten av økosystemet.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Polartorsk	Indikatoren rolle i vurderingen av egenskapen er å dokumentere endringer i mengde polartorsk, som er et viktig byttedyr for mange polare rovdyr.

Funksjonelt viktige arter og strukturer	Lodde	Lodde er en nøkkelart i Barentshavet, med viktig funksjon både som byttedyr og predator. Indikatoren tjener til å dokumentere endringer i loddedynamikken, særlig varighet av perioder med lav bestand.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Nordøstarktisk Torsk	Torsk er den viktigste predatorfisk i Barentshavet, og har mange interaksjoner til andre deler av økosystemet. Indikatoren tjener til å dokumentere endringer i torskebestanden både som over- og underabundans.
Landskapsøkologiske mønstre	Størrelse på temperaturnisjer	Indikatoren tjener til å dokumentere endringer i utbredelse av arktiske vannmasser som habitat for typisk arktiske organismer.
Landskapsøkologiske mønstre	Utbredelse av havis	Indikatorens rolle i vurdering av egenskapen er å dokumentere endringer i tilgang til havis som habitat.
Biologisk mangfold	Artsutskiftingsrater	Indikatorens rolle i vurderingen av egenskapen er å dokumentere endringer i samfunnsstruktur og artssammensetning over tid, og identifisere eventuelle perioder med forhøyede artsutskiftingsrater.
Abiotiske faktorer	Varmeinnhold hav	Indikatoren tjener til å dokumentere endringer i vanntemperatur i de øverste 100 m av vannsøylen. Den er en god samlet indikator for varmen i øvre del av havet. Vist å fange opp økt temperatur i arktisk vannlag (Lind et al. 2018).
Abiotiske faktorer	Ferskvannsinhold hav	Indikatoren tjener til å dokumentere endringer i mengde ferskvann i de øverste 100 m av vannsøylen. Den er sannsynligvis en god samlet indikator for robustheten til arktiske havområder. Gir en samlet indikasjon på lagdelingen, vertikal blanding og ferskvannstilførselen til Barentshavet, sistnevnte primært fra isimport (Lind et al. 2018).
Abiotiske faktorer	Utbredelse av havis	Indikatorens rolle i vurderingen av egenskapen er å dokumentere endringer i areal dekket av havis i april (maksimal utbredelse) og september (minimal utbredelse). Den er sannsynligvis en i første tilnærming god samlet indikator på atmosfæriske og hydrografiske endringer (påvirket både av vanntemperatur, strømmer, og innstråling og vind). Noen begrensning ligger i at egenskaper der det finnes få data, som istykkelse, isvolum, snødekke og istype/alder ikke representert med å bare se på isutbredelse/areal dekket av havis.

6 Samlet vurdering

Kapitlet om samlet vurdering inneholder tre underpunkter. I kap. 6.1 vurderes det samlede kunnskapsgrunnlaget fra datasettnivå til egenskapsnivå. I kap. 6.2 vurderes de anvendte fenomeners gyldighet og graden av evidens for at hvert enkelt fenomen har inntruffet. Begge disse kapitler danner grunnlaget for den samlede vurderingen av økologisk tilstand for hver egenskap på tvers av indikatorer og for økosystemet som helhet (kap. 6.3).

6.1 Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget

Den samlede vurderingen av kunnskapsgrunnlaget er gjort i tabellform (Tabell 6.1). I henhold til protokollen for fagpanel-prinsippet vurderes kunnskapsgrunnlaget på 3 nivåer; *data-nivå*, *indikator-nivå* og *egenskap-nivå*. 1) På *data-nivå* oppsummeres den romlige (RR) og tidsmessige (TR) representativitet av alle datasett som går inn i hver enkelt indikator. 2) På *indikator-nivå* vurderes indikatorens samlede data-dekning basert på den samlede vurderingen av romlig (RRsamlet) og tidsmessig (TRsamlet) representativitet for de enkelte datasett som inngår. 3) På *egenskap-nivå* vurderes indikatordekningen for hele egenskapen. Denne avspeiler i hvor høy grad utvalget av indikatorer som vurderingen baseres på er tilstrekkelig omfattende og relevant for vurderingen av egenskapens tilstand i økosystemet. Alle vurderinger gjøres til nærmere definerte, fargekodede kategorier (Figur 6.1) spesifisert i protokollen for fagpanel-prinsippet. I operasjonell versjon skal hver eneste vurdering begrunnes i en fotnote tilgjengelig helt i slutten av dokumentet. I pilot-prosjektet har vi grunnet tidsbegrensning begrunnet et utvalg av vurderingene, med fokus på vurderinger av indikatordekning per egenskap.

Romlig representativitet	RRdu1	Oppfylt: Hele populasjonen som undersøkes har en reell mulighet for å komme med i utvalget		Ikke oppfylt: Hele populasjonen som undersøkes har <u>ikke</u> en reell mulighet for å komme med i utvalget	
	RRdu2	Oppfylt: Utvalgsmetoden baseres på en tilfeldighetsmekanisme		Ikke oppfylt: Utvalgsmetoden baseres <u>ikke</u> på en tilfeldighetsmekanisme	
	RRdu3	Oppfylt: Sannsynligheten for at en enhet kommer med i utvalget er kjent		Ikke oppfylt: Sannsynligheten for at en enhet kommer med i utvalget er <u>ikke</u> kjent	
	RRmu	Oppfylt: Datasettet representerer et relevant (for indikatoren og fenomenet) modellbasert utvalg		Ikke oppfylt: Datasettet representerer <u>ikke</u> et relevant (for indikatoren og fenomenet) modellbasert utvalg	
	RRsamlet	Kategori 3: <i>RRmu</i> oppfylt med tilfredsstillende sample størrelse ELLER <i>RRdu1-RRdu3</i> alle oppfylt	Kategori 2: <i>RRmu</i> oppfylt med begrenset sample størrelse ELLER to av <i>RRdu1-RRdu3</i> oppfylt	Kategori 1: <i>RRmu</i> ikke oppfylt, minst en av <i>RRdu1-RRdu3</i> oppfylt	Kategori 0: <i>RRmu</i> ikke oppfylt, ingen av <i>RRdu1-RRdu3</i> oppfylt
Tidsmessig representativitet	TRår	Dekkende: Lang tidsserie (relativt til relevant dynamikk) som har helt eller delvis overlap med referanseperioden		Delvis dekkende: Lang tidsserie (relativt til relevant dynamikk) som ikke har overlap med referanseperioden	
	TRse	Dekkende: Sesongvariasjon er relevant og tatt høyde for i datainnsamlingen ELLER sesongvariasjon er ikke relevant		Begrenset: Sesongvariasjon er relevant, men ikke eller i begrenset grad tatt høyde for i innsamlingen.	
	TRsamlet	Kategori 3: Både <i>Tår</i> og <i>Tse</i> Dekkende	Kategori 2: <i>Tår</i> Dekkende OG <i>Tse</i> Begrenset ELLER <i>Tår</i> Delvis dekkende og <i>Tse</i> Dekkende	Kategori 1: <i>Tår</i> Begrenset OG <i>Tse</i> Dekkende ELLER <i>Tår</i> Delvis dekkende og <i>Tse</i> Begrenset	Kategori 0: Både <i>Tår</i> og <i>Tse</i> Begrenset
Indikatorens samlede datadekning	DDi	Kategori 4: Svært god 		Kategori 3: God 	
		Kategori 2: Middels 		Kategori 1: Dårlig 	
Egenskapsindikatordekning	IDe	Dekkende: Utvalget av indikatorer er dekkende, ingen vesentlige mangler		Delvis dekkende: Utvalget av indikatorer har noen mangler som kan begrense vår evne til å vurdere tilstanden til egenskapen	
				Begrenset: Utvalget av indikatorer har vesentlige mangler som vil begrense vår evne til å vurdere tilstanden til egenskapen.	

Figur 6.1. Oppsummering av vurderingskategoriene for kunnskapsgrunnlaget anvendt i Tabell 6.1. For detaljer henvises til protokollen for Fagpanelprinsippet.

Tabell 6.1. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget på datasettnivå, indikatornivå og egenskapsnivå for arktisk del av Barentshavet. For innhold i hver enkelt vurderingskolonne, se Fig. 6.1. Fotnoter med begrunnelse av vurderinger er tilgjengelig helt i slutten av dokumentet. Grunnet tidsbegrensning er kun et utvalg av vurderingene begrunnet med fotnoter i pilotprosjektet.

DATA									INDIKATOR	EGENSKAP
Datasett ID	Romlig representativitet (RR)					Tidsmessig representativitet (TR)			Datadekning	Indikatordekning
	RRdu1	RRdu2	RRdu3	RRmu	RRsamlet	TRår	TRse	TRsamlet	DDi	IDe
D2	1	2	3	4	5	6	7	8	⁹ Årlig primærproduksjon	¹⁰ Primærproduksjon
D1	11	12	13	14	15	16	17	18	¹⁹ Tidspunkt for våroppblomstring	
D4	20	21	22	23	24	25	26	27	²⁸ Fordeling av biomasse mellom trofiske nivå	²⁹ Biomasse mellom trofiske nivåer
D5	30	31	32	33	34	35	36	37		
D4									³⁸ Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper	³⁹ Funksjonelle grupper
D5										
D4									⁴⁰ Bento-pelagiske arter	
D5									⁴¹ Bentiske filter predatorer	
D9	42	43	44	45	46	47	48	49	⁵⁰ Arktiske <i>Calanus</i> -arter	⁵¹ Funksjonelt viktige arter og strukturer
D10	52	53	54	55	56	57	58	59	⁶⁰ Polartorsk	
D11	61	62	63	64	65	66	67	68	⁶⁹ Lodde	
D12	70	71	72	73	74	75	76	77	⁷⁸ Nordøstarktisk Torsk	
D3	79	80	81	82	83	84	85	86	⁸⁷ Størrelse temperaturnisjer	⁸⁸ Landskapsøkologiske mønstre
D8	89	90	91	92	93	94	95	96	⁹⁷ Utbredelse av havis	
D5									⁹⁸ Artsutskiftingsrater bunnfisk	⁹⁹ Biologisk mangfold
D6	100	101	102	103	104	105	106	107	¹⁰⁸ Artsutskiftingsrater sjøfugl	
D7	109	110	111	112	113	114	115	116		
D3									¹¹⁷ Varmeinnhold hav	¹¹⁸ Abiotiske forhold
D3									¹¹⁹ Ferskvannsinhold hav	
D8									Utbredelse havis	

6.2 Samlet vurdering av anvendte fenomener

Den samlede vurderingen av de anvendte fenomener gjøres på tabellform (Tabell 6.2). Vurderingen består av tre deler: en vurdering av hvert fenomens gyldighet (VF), graden av evidens for at fenomenet har inntruffet (EF), samt usikkerhet i evalueringen av fenomenet. VF og EF vurderes til kategoriene skissert under. Vurderingen av fenomenet, EF, kan variere mellom ulike delområder av økosystemet som vurderes. Dette kan gi ulike verdier av EF for ulike delområder.

Vurdering av fenomenets gyldighet	VF	God: Sikker kopling både til menneskeskapte drivere og god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet.	Middels: Mindre sikker kopling til menneskeskapte drivere og god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet ELLER sikker kopling til menneskeskapte drivere og mindre god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet.	Begrenset: Mindre sikker kopling til menneskeskapte drivere og mindre god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet
Evaluering av om fenomenet har inntruffet	EF	Høy: Høy grad av evidens for endringer i indikatorens verdi. Stor forventet biologisk betydning av observerte endringer for dagens økosystemtilstand.	Middels: Høy grad av evidens for endringer i indikatorens verdi. Begrenset forventet biologisk betydning av observerte endringer for dagens økosystemtilstand.	Lav: Lav grad av evidens for endringer i indikatorens verdi. Ingen eller liten forventet biologisk betydning av observerte endringer for dagens økosystemtilstand.
				Ingen: Ingen evidens for endringer i indikatorens verdi.

Figur 6.2. Oppsummering av kategorier til vurdering og evaluering av anvendte fenomener (Tabell 6.2)

Tabell 6.2. Vurdering av de anvendte fenomener, for arktisk del av Barentshavet. For hvert fenomen vurderes fenomenets gyldighet (VF) samt graden av evidens for hvorvidt fenomenet har inntruffet (EF).

Egenskap	Indikator	Fenomen	Vurdering fenomen (VF)	Evaluering fenomen (EF)	Kommentar
Primærproduksjon	Årlig primærproduksjon	Økning i årlig primærproduksjon [f1]	Middels	Høy	Økende primærproduksjon i en majoritet av polygonene, størst økning i sør.
Primærproduksjon	Tidspunkt for våroppblomstring	Tidligere tidspunkt for avslutning av våroppblomstring [f2]	Middels	Ingen	Betydelig mellomårlig variasjon. Tendenser til tidligere våroppblomstring i en enkelt polygon.
Biomasse trofiske nivå	Gjennomsnittlig trofisk nivå	Nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå [f3]	Begrenset	Lav	Grunnet kort tidsserie, vanskelig å detektere trend. Nedgang i to polygoner i nord-vest.

Funksjonelle grupper	Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper	Økende biomasse av pelagiske arter i forhold til bentiske arter [f4]	Begrenset	Ingen	Grunnet kort tidsserie og stor mellomårlig variasjon, vanskelig å detektere trend
Funksjonelle grupper	Bento-pelagiske arter	Økende biomasse av bento-pelagiske arter [f5]	Begrenset	Ingen	Grunnet kort tidsserie og stor mellomårlig variasjon, vanskelig å detektere trend
Funksjonelle grupper	Bentiske filter predatore	Minkende biomasse av bentiske filter predatore [f6]	Begrenset	Ingen	Grunnet kort tidsserie og stor mellomårlig variasjon, vanskelig å detektere trend
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Arktiske <i>Calanus</i> -arter	Minkende andel arktiske <i>Calanus</i> -arter [f7]	God	Høy	Andelen arktiske <i>Calanus</i> -arter minket til rundt det halve.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Polartorsk	Vedvarende nedgang i bestandsstørrelse av polartorsk [f8]	Middels	Høy	Den seneste 5-årsperioden har det vært en lav bestand av polartorsk.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Lodde	Økt grad av ustabilitet i bestandsstørrelse av lodde [f9]	God	Middels	Lav bestand, men ikke observert betydelige biologiske effekter.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Nordøstarktisk Torsk	Vedvarende endring i bestandsstørrelse av NØA torsk [f10]	Middels	Høy	Stor bestand, og økende mengde torsk i arktisk del av Barentshavet.
Landskapsøkologiske mønstre	Størrelse på temperaturnisjer	Minkende areal dekket av arktiske vannmasser ($T < 0$ grader C) [f11]	God	Høy	Kraftig nedgang i volum arktisk vann, siste 5 år c. 20% av det som var i 1970-1990.
Landskapsøkologiske mønstre	Utbredelse av havis	Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis [f12]	God	Høy	Minkende vinterisdekke i hele området, særlig i sør-øst. Minkende sommerisdekke i nord.
Biologisk mangfold	Artsutskiftingsrater bunnfisk	Forhøyede artsutskiftingsrater bunnfisk [f13]	God	Ingen Lav	Tegn til endringer i artssammensetning i østlige deler
Biologisk mangfold	Artsutskiftingsrater sjøfugl	Forhøyede artsutskiftingsrater sjøfugl [f14]	God	Ingen	Grunnet korte tidsserier vanskelig å detektere trend.
Abiotiske faktorer	Varmeinnhold hav	Økende varmeinnhold [f15]	God	Høy	Økende varmeinnhold i hele området, og etter år 2000 i alle polygoner.
Abiotiske faktorer	Ferskvannsinhold hav	Minkende ferskvannsinhold [f16]	God	Høy	Minkende ferskvannsinhold i hele området, og etter 1990 i alle polygoner.
Abiotiske faktorer	Utbredelse av havis	Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis [f12]	God	Høy	Minkende vinterisdekke i hele området, særlig i sør-øst. Minkende sommerisdekke i nord.

6.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand til egenskaper på tvers av indikatorer og for økosystemet som helhet

For hver egenskap vurderes avvik fra god økologisk tilstand i tre kategorier: ingen avvik fra god økologisk tilstand, begrensede avvik fra god økologisk tilstand eller betydelige avvik fra god økologisk tilstand. Dette gjøres med utgangspunkt i oversiktsfigurer (Fig. 6.3.1) som oppsummerer graden av evidens for at de ulike fenomenene har inntruffet (EF) og vurdering av fenomenenes gyldighet (VF; Tabell 6.2). Datadekningen for hver enkelt indikator (DDi, Tabell 6.1) er et viktig hjelpemiddel i vurderingen, fordi det tillater at noe mere vekt tillegges endringer i fenomener som er basert på god datadekning. De tre kategorier for samlet vurdering av avvik fra god økologisk tilstand tildeles etter følgende retningslinjer:

Ingen avvik fra god økologisk tilstand:

Egenskaper som vurderes til denne kategorien er samlet sett i god økologisk tilstand. Når man konkluderer med Ingen avvik fra god økologisk tilstand bør flesteparten av fenomenene forekomme i de grønne celler i Figur 6.3.1 (disse er merket '1' i Figur 6.3.2). Dersom noen forekommer i oransje eller røde celler (merket '2' eller '3' i Figur 6.3.2) må konklusjonen om Ingen avvik begrunnes i beskrivelsen av vurderingen. Ingen avvik er konklusjonen dersom det ikke er evidens for at noen fenomener har inntruffet (EF = 'Ingen' for alle fenomen). Det vil også være konklusjonen dersom det er lav evidens for endringer i fenomener med begrenset gyldighet (VF='Begrenset') siden det knyttet seg svært stor usikkerhet til slike grunnet usikre koplinger til drivere og mindre god forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet.

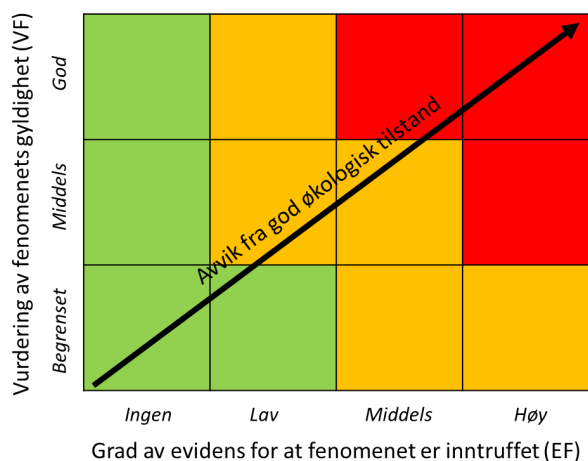
Begrensede avvik fra økologisk tilstand:

Egenskaper som vurderes til denne kategorien viser samlet sett en utvikling mot dårlig tilstand, men denne utviklingen er hverken tilstrekkelig entydig eller omfattende til å vurdere at egenskapen samlet sett er i dårlig tilstand. Når man konkluderer med Begrensede avvik fra god økologisk tilstand bør flesteparten av fenomenene forekomme i de oransje celler i Figur 6.3.1 (merket '2' i Figur 6.3.2a). Dersom noen forekommer i grønne eller røde celler (merket '1' eller '3' i Figur 6.3.2) må konklusjonen om Begrensede avvik begrunnes i beskrivelsen av vurderingen. Begrensede avvik er konklusjonen når det er lav evidens for endringer i de fleste fenomener (EF='Lav'). Det er også konklusjonen dersom noen fenomener har høy evidens for endringer, men kun dersom de samme fenomener er av midtels-begrenset gyldighet. Selv høy grad av evidens for endringer kan dermed resultere i konklusjonen 'Begrensede avvik' dersom disse endringer forekommer i fenomener der man er mindre sikker enten på koplingen til menneskelige drivere eller har mindre god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet.

Betydelig avvik fra god økologisk tilstand:

Egenskaper som vurderes til denne kategorien er samlet sett i dårlig økologisk tilstand. Når man konkluderer med Betydelige avvik fra god økologisk tilstand bør flesteparten av fenomenene forekomme i røde celler i Figur 6.3.1 (merket '3' i Figur 6.3.2). Dersom noen

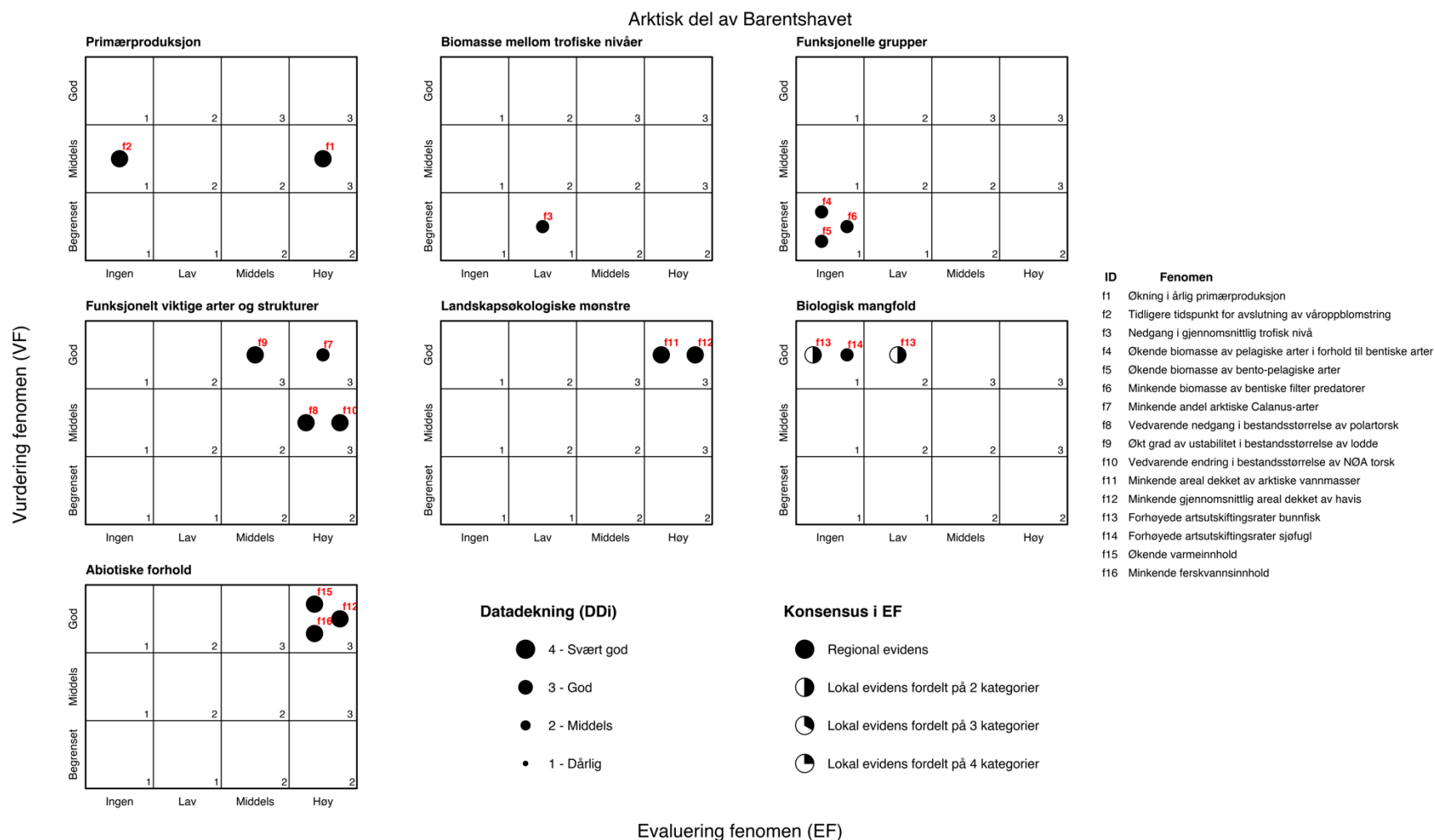
forekommer i oransje eller grønne celler (merket '1' eller '2' i Figur 6.3.2) må konklusjonen om Betydelige avvik begrunnes i bekrivelsen av vurderingen. Betydelige avvik er konklusjonen dersom det for hoveddelen av fenomenene er høy grad av evidens for endringer (EF=Middels/Høy) og fenomenene samtidig er vurdert å ha middels-god gyldighet (VF=Middels/God). En konklusjon om Betydelige avvik fra god økologisk tilstand, bør dermed være basert på store endringer i fenomener der man har relativt sikre koplinger i menneskelige drivere og en relativt god forståelse for indikatorens rolle for egenskapen og dermed betydningen av slike endringer i økosystemet.



Figur 6.3.1. Illustrasjon av hvordan kategoriene for avvik fra god økologisk tilstand fastsettes basert på vurderingen (VF) og evalueringen (EF) av fenomener. Avviket fra god økologisk tilstand øker langs diagonalen i figuren, altså med høyere grad av evidens for avvik og høyere gyldighet av de fenomener som viser dette avviket. Rød: betydelige avvik, oransje: begrensede avvik og grønn: ingen avvik fra god økologisk tilstand.

6.3.1 Vurdering for de enkelte egenskapene

Vurdering av økologisk tilstand for hver av de syv egenskapene i arktisk del av Barentshavet er til stor del basert på oversiktsfigurer (Figur 6.3.2), og så følger en skrevet redegjørelse for vurderingen. Det presiseres at pilotprosjektet har vært gjennomført med et begrenset indikatorsett der det også i flere tilfeller er behov for mer presis formulering av fenomener og en mer systematisk og bedre tilpasset analyse av data. Behov for videreutvikling av de anvendte indikatorene er adressert i Appendiks 1 for hver enkelt indikator. Den vurderingen som blir gjort her er derfor ikke en gyldig vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet, men skal betraktes som en illustrasjon av en slik vurdering etter metoden i Fagpanelprotokollen.



Primærproduksjon

Egenskapen primærproduksjon vurderes til å vise **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på to indikatorer med svært god datadekning, som vurderes å delvis dekke denne egenskapen. Vurderingen ville bli mer sikker med en kalibrering av satellittdata *med in situ* målinger av primærproduksjon i dette eller lignende arktiske havområder. De vurderte fenomenene har middels god gyldighet med relativt sikre koblinger til menneskelige drivere (klima), men til tross for relativt god generell forståelse i marine økosystemer er det mindre god forståelse av deres rolle i økosystemet i arktisk del av Barentshavet. Et fenomen (indikator *Årlig primærproduksjon*) viser tydelige endringer i hele området (EF = høy), mens det andre fenomenet (indikator *Tidspunkt for våroppblomstring*) ikke viser noen signifikante endringer (EF = ingen) (med unntak for polygon 48). Ved den samlede vurderingen av egenskapen vektlegges *Årlig primærproduksjon* høyere enn *Tidspunkt for våroppblomstring*, siden dette er det mest grunnleggende for økosystemet av de to. *Tidspunkt for våroppblomstring* viser også mye variasjon mellom år siden det primært er styrt av lys og værforhold.

Biomasse mellom trofiske nivå

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på en indikator med god datadekning, og egenskapens indikatordekning vurderes som begrenset. Fenomenet har begrenset gyldighet, da det er mindre sikker kobling til menneskelige drivere og mindre god forståelse av betydningen som endringer i gjennomsnittlig trofisk nivå har for økosystemets tilstand. I indikatoren (*Gjennomsnittlig trofisk nivå*) inngår biomasse estimerer for hoveddelen av organismer som blir fanget i pelagisk og bunn-trål og resultatene viser at det er stor variasjon i indikatorverdiene mellom år. Det er imidlertid en statistisk signifikant nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå i nord-vest (polygon 48 og 49), mens det er en økning i øst (polygon 45). Nedgangen i trofisk nivå er betydelig, særlig i polygon 49, der gjennomsnittlig trofisk nivå har minket med et helt nivå i løpet av de siste 10 år. Det vurderes at det er lav evidens for endringer og begrenset forventet biologisk betydning av disse endringer (EF = lav).

Funksjonelle grupper

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på tre indikatorer med god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som begrenset da alle indikatorer er basert på den samme tilnærmingsmåten med å gruppere organismer etter karakteristisk foringshabitat og diett. Fenomenene har begrenset gyldighet, da det er mindre sikker kobling til menneskelige drivere og mindre god forståelse av betydningen som endringer har for økosystemets tilstand. To fenomener (indikator *Bento-pelagiske arter* og *Bentiske filter predatorer*) fokuserer på effekter av klima, såkalt borealisering, og for begge er det ingen evidens for endringer (EF = ingen). For det siste fenomenet

(indikator *Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper*) vurderes det også at det ikke er evidens for endringer (EF = ingen).

Funksjonelt viktige arter og strukturer

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på fire indikatorer med svært god til god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som delvis dekkende, da indikatorene dekker de viktigste arter av fisk og hoppekreps, men mangler andre viktige nøkkelarter i økosystemet. Fenomenene har god til middels god gyldighet. Forståelse av hvordan endringer påvirker økosystemet vurderes i alle tilfeller som god, mens det for to fenomener (indikator *Polartorsk* og *Nord-øst arktisk torsk*) vurderes at kobling til menneskeskapte drivere er mindre sikker. For tre fenomener er det høy grad av evidens for endringer, med stor forventet biologisk betydning (EF = høy), mens for det fjerde fenomenet (indikator *Lodde*) er høy grad av evidens for endringer i bestanden, men det vurderes at den biologiske betydningen av den seneste nedgangen i loddebestanden er begrenset (EF = middels).

Landskapsøkologiske mønstre

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på to indikatorer med svært god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som delvis dekkende, da de nå primært dekker kun klimarelaterte endringer og mangler indikatorer på areal påvirket av bunntåling. Fenomenene har god gyldighet med relativt sikker kobling til menneskeskapte drivere (klima) og god forståelse av deres rolle i økosystemet. Begge fenomener viser høy grad av evidens for endringer, med stor forventet biologisk betydning for tilstanden i økosystemet (EF = høy).

Biologisk mangfold

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på to fenomener med svært god til god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som begrenset, fordi det kun inngår indikatorer på bunnfisk og sjøfugl og mangler indikatorer for andre viktige organismegrupper som pelagisk fisk, bunndyr og plankton. Fenomenene har god gyldighet, da det på generelt grunnlag er sikker kobling til menneskelige drivere og god forståelse av rollen i økosystemet. For et fenomen (*Artsutskiftingsrater sjøfugl*) er det ingen evidens for endringer (EF = ingen), dette skyldes sannsynligvis en relativt kort tidsserie og lavt antall arter av sjøfugl. For det andre fenomenet (*Artsutskiftingsrater bunnfisk*) er det lav grad av evidens for endringer i den østlige delen av området (EF = lav), mens det i de mest vestlige delene ikke er evidens for endringer (EF = ingen). Det er derfor tegn til at det skjer utskiftninger av arter i de østlige bunnfisksamfunnet, og grunn til å være oppmerksom på utviklingen fremover.

Abiotiske forhold

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på tre indikatorer med svært god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som dekkende, da indikatorene dekker de mest sentrale delene av de abiotiske forholdene i dette økosystemet. Fenomenene har god gyldighet med relativt sikker kobling til menneskeskapte drivere (klima) og god forståelse av deres rolle i økosystemet. Alle tre fenomener viser høy grad av evidens for endringer, med stor forventet biologisk betydning for tilstanden i økosystemet (EF = høy).

6.3.2 Vurdering av økosystemet som helhet

På grunnlag av den samlede vurderingen, konkluderer fagpanelet med at det ikke er god økologisk tilstand i den arktiske delen av Barentshavet. Den viktigste endringen er at klimaet, som er en del av økosystemet, har blitt betydelig varmere, og dette er i hvert fall delvis forårsaket av utslipp av drivhusgasser og annen menneskeskapt klimapåvirkning. Resten av økosystemet viser endringer som kan relateres til klimaoppvarmingen, spesielt for egenskapene med god indikatordekning, det vil si «Primærproduksjon», «Funksjonelt viktige arter og strukturer» og «Landskapsøkologiske mønstre». For øvrige økosystemegenskaper er det ikke registrert avvik fra god økologisk tilstand, men her er indikatordekningen dårligere, slik at det er betydelig usikkerhet knyttet til vurderingen. I fremtiden forventes det at oppvarmingen vil fortsette og ytterligere forverre den økologiske tilstanden. På grunn av at det også er betydelig naturlig variasjon i klima, forventes hastigheten på oppvarmingen til å variere de kommende tiårene.

Nedenfor er det først gitt en overordnet beskrivelse av økosystemet i god tilstand så langt det er mulig, samt en beskrivelse av hva som er de viktigste menneskeskapte driverne og hvordan de har endret seg. Deretter gis det en oppsummering av vurderingene for hver enkelt økosystemegenskap og en grafisk fremstilling av dette (Tabell 6.3.1). Dette forteller hvilke effekter disse driverne har hatt og gir bakgrunnen for den samlede vurderingen ovenfor. Avslutningsvis er det gitt en vurdering av mulig fremtidig utvikling i økologisk tilstand og en vurdering av de viktigste behovene for forskning og overvåking.

Den arktiske delen av Barentshavet har vært betydelig påvirket av menneskeskapte aktiviteter siden hvalfangsten begynte tidlig på 1600-tallet. Området var i lang tid også lite tilgjengelig for vitenskapelige undersøkelser, blant annet på grunn av stor utbredelse av havis. En har derfor begrenset kunnskap om hva som karakteriserte økosystemet i fravær av betydelig menneskeskapt påvirkning, dvs i god økologisk tilstand. På et overordnet plan er det klart at god økologisk tilstand er karakterisert av at dynamikken er påvirket av naturlig variasjon i klima og biologiske prosesser, spesielt det som gir grunnlag for rekruttering i bestander som forventes å ha sentrale funksjoner i et bærekraftig høstet arktisk havøkosystem. I god økologisk tilstand er klimaet preget av lavere vanntemperaturer, større utbredelse av havis og sterkere stratifisering av øvre vannlag som følge av mer ferskvann, sammenlignet med i dag. Det betyr at store områder har et sesongmessig isdekke og at en del områder også har flerårig isdekke. Fauna og flora som er tilpasset havis er derfor

viktige for dynamikken i økosystemet. Det inkluderer isalger, og omfattende primærproduksjon i disse kan bety at en større andel av primærproduksjonen faller til bunnen enn når det er mindre havis.

Fangst på sjøpattedyr må anses som den viktigste menneskeskapte driveren fra begynnelsen av 1600-tallet. I løpet av et par hundre år ble grønlandshval nærmest utryddet. Arten var i utgangspunktet tallrik og må antas å ha hatt betydning for dynamikken i økosystemet. Frem til langt ut på 1900-tallet ble også hvalross, isbjørn, sel og andre hvalarter jaktet og fangstet ned til lave nivåer. Etter langvarig fredning ser man vekst i enkelte av disse bestandene, for eksempel hvalross. Det er rimelig å anta at en vil se tilsvarende vekst for andre sjøpattedyrarter i fremtiden (Fauchald et al. 2014). Etter andre verdenskrig ble det i perioder drevet et omfattende overfiske på flere av de sentrale fiskebestandene i Barentshavet, som torsk, hyse, blåkveite og uer. Dette førte til betydelige bestandsnedganger. Bedringer i fiskeriforvaltningen har nå ført til stans i det aller meste av overfisket, og de fleste bestandene har tatt seg opp igjen eller er i ferd med å gjøre det (McBride et al. 2016). De siste tiårene har klimaet endret seg betydelig, og en stor del av denne klimaoppvarmingen er menneskeskapt. Dette har hatt omfattende effekter på økosystemet (Fossheim et al. 2015, Kortsch et al. 2015, Descamps et al. 2017, Eriksen 2017, Eriksen et al. 2017, Frainer et al. 2017). Den menneskeskapte påvirkningen av klima fremstår nå som den viktigste endringsdriveren av økosystemet i den arktiske delen av Barentshavet (Arneberg and Jelmert 2017).

Vurderingen av økosystemegenskapen «Abiotiske forhold», hvor klimaindikatorene inngår, er derfor sentral i den samlede vurderingen. En oppsummering av fagpanelets vurderinger for alle egenskaper vises i Tabell 6.3.1. Fagpanelet har konkludert med at det er betydelige avvik fra god økologisk tilstand for denne egenskapen. Det er et entydig resultat, basert på gode data, og alle indikatorene peker i samme retning. Temperaturen har økt, mengden havis har avtatt og mengden ferskvann har minket, det siste med det resultatet at lagdeling av vannsøylen er svekket. Endringene må karakteriseres som store. De tre responsene er forbundet med hverandre og indikerer også at systemet har gått over i en grunnleggende ny klimatilstand som vanskelig lar seg reversere (Lind et al. 2018). Fordi marine økosystemer er sensitive for endringer i klima (Hays et al. 2005), og klimaendringene i den arktiske delen av Barentshavet er store, må det forventes at effektene på resten av økosystemet blir omfattende. I tillegg til de allerede registrerte endringene i økosystemet, er det sannsynlig at det er en viss tidsforsinkelse i økosystemets responser på endringene i klima, og at en også derfor kan vente flere og mer omfattende endringer fremover.

For egenskapene «Primærproduksjon» og «Funksjonelt viktige arter og strukturer» har fagpanelet konkludert med at det allerede er betydelige avvik fra god økologisk tilstand som knyttes til endringene i klima. For «Primærproduksjon» er det funnet at den totale primærproduksjonen har økt betydelig, sannsynligvis som følge av klimaendringene. Dette kan fundamentalt endre rammebetingel-

sene for økosystemets helhetlige dynamikk, og må anses som en endring med stor biologisk betydning. Tidspunktet for våroppblomstringen (dvs når primærproduksjon øker betydelig om våren) har ikke endret seg. At den totale produksjonen er endret som følge av menneskeskapt påvirkning, tilsier likevel at det samlet er betydelige avvik for denne økosystemegenskapen.

For egenskapen «Funksjonelt viktige arter og strukturer» er de betydelige avvikene fra god økologisk tilstand knyttet til endringer i indikatorene for polartorsk, *Calanus*-arter, torsk og lodde. Alle indikatorene peker i samme retning, og endringene forventes å ha betydelige konsekvenser for andre deler av økosystemet. For de tre første indikatorene er endringene knyttet til klimaendringene. Det har blitt relativt sett lavere biomasse av arktiske *Calanus*-arter, lavere biomasse av polartorsk og høyere biomasse av torsk i den arktiske delen av Barentshavet på grunn av forandringene i klima. For lodde er det konkludert med at variasjon i biomasse over tid er påvirket av fiske.

Egenskapen «Landskapsøkologiske mønstre» er den siste av de fire egenskapene hvor fagpanelet har konkludert med at det er betydelige avvik fra god økologisk tilstand. For denne egenskapen er indikatorene enten avledet av en abiotisk indikator («Størrelse på temperaturnisjer») eller den samme som en abiotisk indikator («Utbredelse av havis»). Indikatorene gir derfor ikke ny informasjon ut over det som alt er vurdert under egenskapen «Abiotiske forhold». Vurderingen viser likevel at endringene i klima har ført til nedgang i størrelsen av arktiske habitattyper.

Fagpanelet har konkludert med at det ikke er avvik fra god økologisk tilstand for økosystemegenskapene «Fordeling av biomasse mellom trofiske nivå», «Funksjonelle grupper» og «Biologisk mangfold». Disse tre egenskapene er dårligere dekket med indikatorer enn de fire egenskapene hvor det er konkludert med betydelige avvik, og det er derfor stor usikkerhet knyttet til om tilstanden virkelig er god for disse egenskapene. I tillegg er indikatorene for disse tre egenskapene alle komplekse økosystemindikatorer, i motsetning til i de fire andre egenskapene, hvor indikatorene er basert på relativt sett enklere indekser. Fordi utvikling av komplekse indikatorer er et relativt nytt forskningsfelt (Halpern et al. 2012, Shephard et al. 2015, Barbier and Loreau 2019, Overland et al. 2019), har det vært begrensede erfaringer å støtte seg på i utviklingen av slike indikatorer her. Arbeid over tid kan derfor være nødvendig for å avklare om det er mulig å etablere mer sensitive komplekse indikatorer.

Basert på modellstudier er det konkludert med at endringene av klimaet i den arktiske delen av Barentshavet kommer til å fortsette og gi høyere temperaturer og mindre havis. Det er begrenset hva en kan si i detalj om hvordan dette vil endre økosystemet, men det synes sikkert at forandringene en har sett som følge av klimaendringene så langt kommer til å fortsette og forverre den økologiske tilstanden. I tillegg forventes det at havforsuringen kommer til å fortsette, og at dette etter hvert kan begynne å påvirke økologiske

prosesser. Det er betydelig usikkerhet knyttet til hva disse effektene vil være, men det er rimelig å anta at også de kan bidra til at den økologiske tilstanden blir dårligere.

Tabell 6.3.1. Samlet vurdering av avvik fra god økologisk tilstand for hver av de syv egenskapene basert på indikatorene i pilottesten. Indikatordekning viser vurderingen av hvor godt hver egenskap er dekket av det brukte indikatorsettet i arktisk del av Barentshavet (fra Tabell 6.1).

Egenskap	Samlet vurdering	Indikatordekning
Primærproduksjon	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Biomasse mellom trofiske nivåer	Ingen avvik	Begrenset
Funksjonelle grupper	Ingen avvik	Begrenset
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Landskapsøkologiske mønstre	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Biologisk mangfold	Ingen avvik	Begrenset
Abiotiske forhold	Betydelige avvik	Dekkende

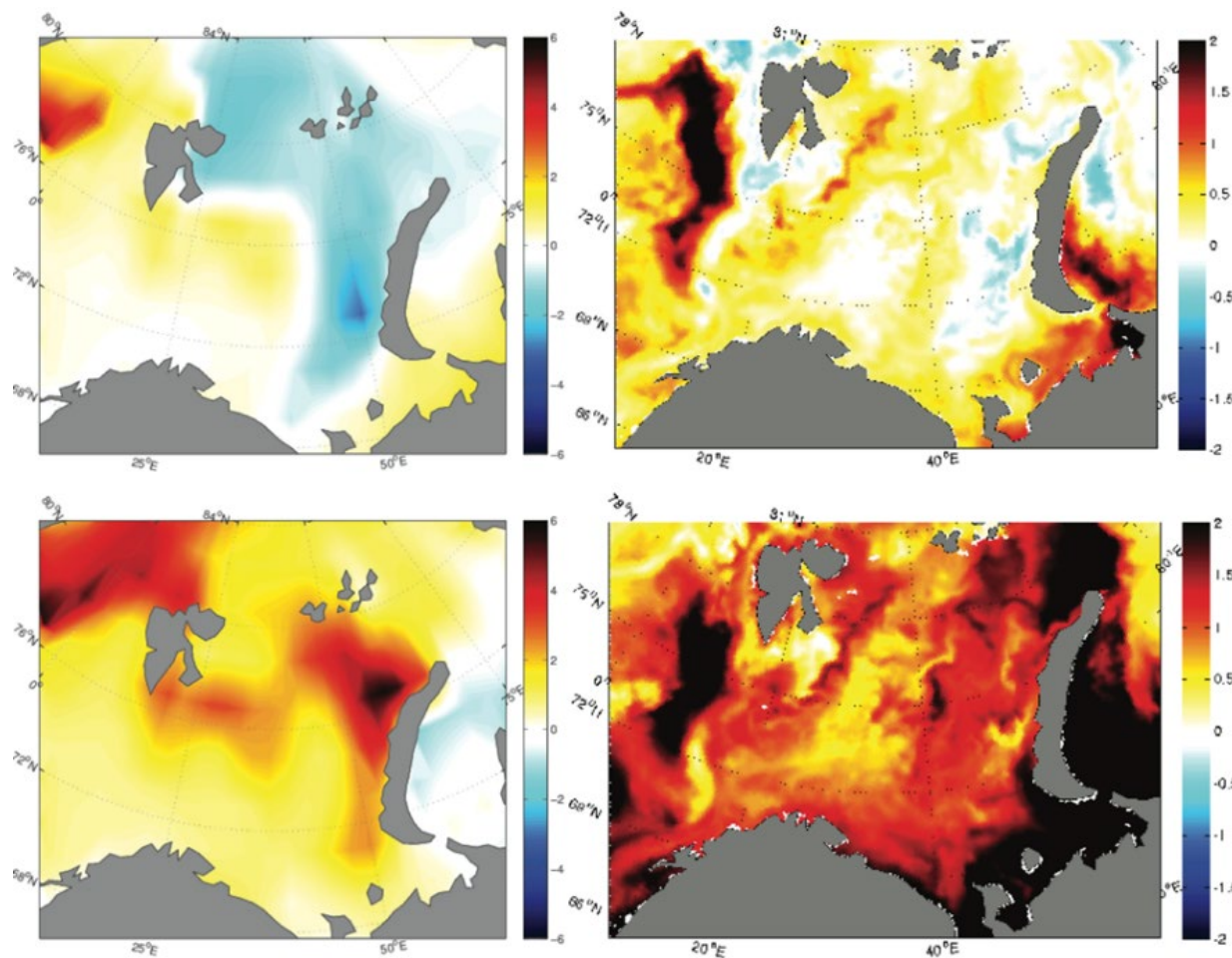
6.3.3 Vurdering av fremtidig utvikling

Vurdering av fremtidig utvikling kan i første rekke gjøres for forhold knyttet til klima. Ulike modeller har blitt brukt til å lage projeksjoner for vanntemperatur, isutbredelse og havforsuring for Barentshavet (Skogen et al. 2014, Arneberg and Jelmert 2017). Nedenfor er det først vist resultater fra disse. Deretter er implikasjoner for utvikling av de biologiske delene av økosystemet drøftet.

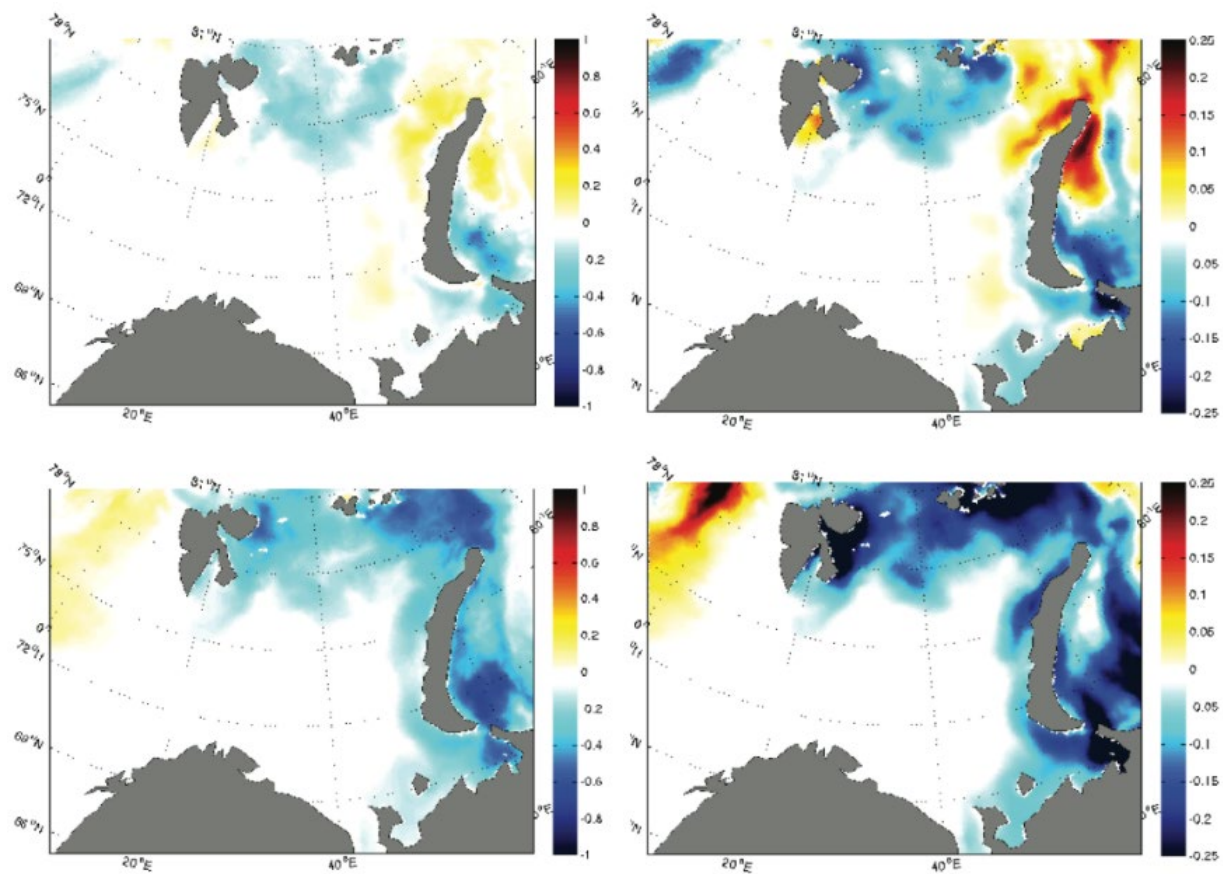
Frem mot periodene 2026-2035 og 2060-2069 er det forventet betydelig økning i havtemperatur i den arktiske delen av Barentshavet (Figur 6.3.3). Det er samtidig forventet at iskonsentrasjon og istykkelse vil avta (Figur 6.3.4). Det er også forventet at pH vil avta som følge av opptak av CO₂ fra menneskeskapte kilder (Figur 6.3.5). Denne endringen fører også til at metningshorisonten for aragonitt (dvs dypet der det er undermetning for denne viktige kalkforbindelsen) flytter seg betydelig oppover i vannsøylen, og bidrar til at også overflatevann vil være undermettet i perioder av året (Skogen et al. 2014).

Som beskrevet i den samlede vurderingen av den økologiske tilstanden i arktisk del av Barentshavet, er tilstanden allerede påvirket av endringer i klima i så stor grad, at det er vurdert å være dårlig økologisk tilstand i området. Når klimaet i fremtiden er forventet å fortsette å endre seg på tilsvarende måte som en alt har sett, vil den økologiske tilstanden sannsynligvis fortsette å forverre seg. Det kan skje ved at allerede observerte endringer forsterkes og ved at nye endringer inntreffer. For eksempel kan fenomener knyttet til

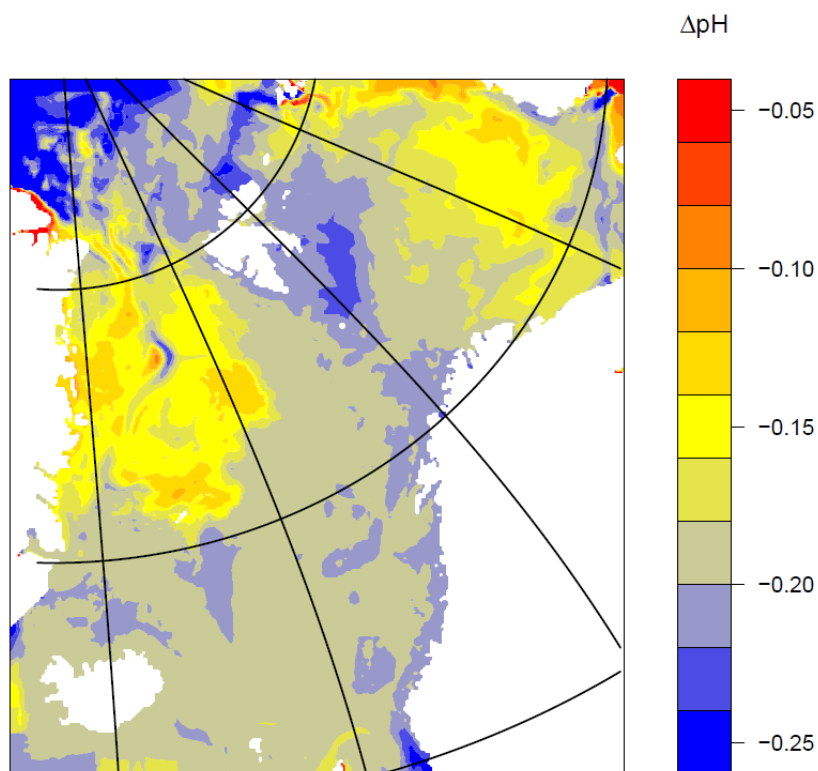
klima, og som er beskrevet her men enda ikke inntruffet, manifestere seg. I tillegg kan mulige effekter av havforsuring manifestere seg. Det er foreløpig vurdert at havforsuring ikke har betydelige effekter på økosystemet i Barentshavet (Arneberg and Jelmert 2017), men dette kan endre seg som følge av de forventede endringene i vannkjemi knyttet til havforsuring. Det er uklart hvilke effekter havforsuring kan ha på marine økosystemer (Browman 2016), men det er rimelig å anta at også de kan bidra til at den økologiske tilstanden blir dårligere.



Figur 6.3.3. Forventede endringer basert på modellkjøring for atmosfæretemperatur (venstre) og overflatetemperatur i havet (høyre) for mars fra 2010-2019 til henholdsvis 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst). Modellresultatene lufttemperatur er hentet fra den norske jordsystemmodellen NorESM, mens overflatetemperatur i havet er nedskalert fra NorESM med den regionale havmodellen ROMS. Fra (Arneberg and Jelmert 2017).



Figur 6.3.4. Forventede endringer basert på modellkjøring for iskonsentrasjon (venstre) og istykkelse (høyre) for mars fra 2010-2019 til henholdsvis 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst). Figur fra (Arneberg and Jelmert 2017) etter metodikk beskrevet av (Overland and Wang 2007).



Figur 6.3.5. Forventet endring i pH fra år 2000 til 2065. I figuren ses forventet endring for hele det nordiske hav. Den midlere pH-verdien i overflaten forventes å gå ned 0,19 enheter. De største pH-reduksjonene (blå og mørkeblå områder) er forventet langs norskekysten og i Barentshavet rundt Svalbard. Grunnlaget for figuren er et simulert karbonatsystem fra år 2000 med et fra 2065, der nedskalert fysikk fra en global klimamodell og utslipps-scenarior A1B er brukt. Etter (Skogen et al. 2014).

6.3.4 Anbefalinger for videre overvåking og forskning

Pilottesten i arktisk del av Barentshavet har vært basert på et begrenset indikatorsett, der det inngår både etablerte indikatorer fra arbeidet med de helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder og indikatorer som er blitt utviklet i løpet av piloten. De siste vil trenge fortsatt utvikling, testing og kvalitetssikring før operasjonalisering av Fagsystemet (Appendiks 1).

Behovet for å inkludere ytterligere indikatorer i systemet vil i første rekke knyttes til indikatordekningen for de ulike egenskapene. Nedenfor er det først gitt en nærmere beskrivelse av vurdering av indikatordekningen for hver av de syv økosystemegenskapene i den arktiske delen av Barentshavet. Deretter er mulige nye indikatorer listet opp (Tabell 6.3.2). Det er så langt ikke gjort en vurdering av hvordan disse indikatorene kan dekke opp manglene for de ulike egenskapene, og dette vil måtte gjøres frem mot operasjonalisering av fagsystemet.

Behovet for forskning vil i stor grad være knyttet til behovet for å utarbeide bedre fenomener. Det vil i først rekke være mest aktuelt å vurdere for fenomener hvor gyldighetene er vurdert til å være begrenset, men også fenomener med middels gyldighet. Slike vurderinger er ikke gjort i piloten og vil bli en del av operasjonaliseringen.

Indikatordekningen (gitt i parentes) og vesentlige mangler er vurdert slik for de ulike egenskapene:

Primærproduksjon (delvis dekkende)

I pilotprosjektet benyttes to indikatorer for primærproduksjon, Årlig primærproduksjon og Tidspunkt for våroppblomstring. Begge er basert på fjernmålingsdata, og reflekterer to grunnleggende aspekter ved egenskapen. Det mangler imidlertid indikatorer basert på *in situ* målinger av planteplankton. Slike målinger vill kunne brukes både til å kalibrere resultater fra satellittdata, og til å gi mer detaljert informasjon om for eksempel artssammensetning.

Biomasse mellom trofiske nivå (Begrenset)

I pilotprosjektet er denne egenskapen basert på en enkelt indikator som inkluderer informasjon om en relativt stor del av økosystemet. Gjennomsnittlig trofisk nivå er basert på biomasse estimerer for hoveddelen av organismer som blir fanget i pelagisk og bunn-trål. Det bør her kompletteres med mer spesifikke indikatorer som for eksempel måler gjennomsnittlig trofisk nivå i ulike organismegrupper (for eksempel ulike grupper av fisk og bunndyr separat) og/eller parvise biomasseforhold mellom grupper fra ulike trofiske nivå.

Funksjonelle grupper (Begrenset)

I pilotprosjektet er det fokusert på trofisk funksjonelle grupper, relatert til karakteristisk foringshabitat og diett. Både forholdstall mellom hovedgrupper (pelagisk vs. bentisk) og biomasse av viktige funksjonelle grupper er brukt som indikatorer. Det er imidlertid svært mange måter man kan undersøke endringer i funksjonelle grupper, og det bør undersøkes muligheter for å inkludere indikatorer som fokuserer på andre aspekter ved organismenes funksjon (Wiedmann et al. 2014, Degen et al. 2018, Jørgensen et al. 2019).

Funksjonelt viktige arter og strukturer (Delvis dekkende)

I denne egenskapen inngår i pilotprosjektet de viktigste arter av fisk og hoppekreps, men andre nøkkelarter i systemet er ikke dekket av indikatorer. Det bør inkluderes indikatorer også for krill og pelagiske amfipoder som er viktige byttedyr i økosystemet i arktisk del av Barentshavet. Det kan også vurderes å inkludere andre arter eller strukturer som er spesielt viktige for økosystemet, for eksempel isbiota.

Landskapsøkologiske mønstre (Delvis dekkende)

I pilotprosjektet er det fokusert på leveområder for arktiske arter tilpasset kalde arktiske vannmasser og isdekke. Det bør i tillegg inkluderes indikatorer for leveområder i bunnhabitat, for eksempel basert på temperaturnisjer. Bunnhabitat blir også forstyrret av bunntrålingsaktivitet, og det bør utvikles en indikator relatert til areal som er påvirket av bunntråling.

Biologisk mangfold (Begrenset)

I pilotprosjektet er det kun blitt brukt en type indikator (artsutskiftingsrater) for å vurdere biologisk mangfold. De inkluderte indikatorene er basert på artsforekomster av bunnfisk og sjøfugl. Dette er en begrenset vurdering av biologisk mangfold. Muligheten for å inkludere tilsvarende indikator for andre organismegrupper bør undersøkes, for eksempel plankton, pelagisk fisk og ulike grupper av bunndyr. Det kan også vurderes å inkludere indikatorer som baseres på ratio mellom for eksempel arktiske vs boreale arter, eller bestandsstørrelser av arter sensitive for ulike typer av menneskelig påvirkning.

Abiotiske forhold (Dekkende)

I pilotprosjektet er de mest sentrale abiotiske forholdene som er styrende for klimasystemet i arktisk del av Barentshavet dekket av indikatorer. I tillegg til disse vil det være verdifullt å inkludere en indikator som belyser næringstilgang, noe som også er en grunnleggende abiotisk faktor i et økosystem. Det er sannsynlig at havforsuring vil kunne påvirke økosystemet i arktisk del av Barentshavet i fremtiden, og indikatorer for dette bør også utvikles.

Tabell 6.3.2. Forslag til ytterligere indikatorer som kan inngå i fagsystem for vurdering av økologisk tilstand for arktisk del av Barentshavet. Det er angitt hvilke av de syv økosystemegenskapene indikatoren tilhører, hva som er antatt viktigst påvirkning, i hvilken tidshorisont indikatoren kan utvikles. Med kort sikt menes innen fem år. I mange tilfeller vil utvikling kunne gjøres raskere enn dette. Med lang sikt menes over fem år.

Egenskap og Indikator	Påvirkning	Merknad	Kort / lang sikt	Data eksisterer
Primærproduksjon				
Artssammensetning planteplankton	Klima	Type planteplankton kan påvirkes av klimaendringer og ha stor betydning for beitere, skifte fra for eksempel kiselalger til små flagellater kan være viktig og har vært observert vest for Svalbard.	Ikke avklart	Ja dersom dette kan utvikles fra satellittdata, nei hvis ikke
Funksjonelle grupper				

Funksjonell diversitet	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Målt med metoder utviklet for næringsnettstudier og med data på økosystemtoktet	Kort sikt	Ja
Funksjonelt viktige arter og strukturer				
Isbiota	Klima	Herunder isalgen <i>Nitzschia</i> ,	Ikke avklart	Nei
Mengde krill	Klima	Spesielt <i>Thysanoessa</i> .	Kort sikt	Ja
Pelagiske amfipoder	Klima	Særlig <i>Themisto</i> sp.	Kort sikt	Ja
Landskapsøkologiske mønstre				
Områder forstyrret av bunntåling	Arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Angir størrelse på områder forstyrret av bunntåling. Kan få med norsk og internasjonal tråling - russiske data blir vanskeligere å få inkludert.	Kort sikt	Ja dersom det kan utvikles fra internasjonal database basert på vms-data
Temperaturnisjer bunn	Klima	Størrelse på bunnhabitater med forskjellig temperatur	Kort sikt	Ja
Biologisk mangfold				
Artsutskiftingsrater pelagisk fisk	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Måles som beta-diversitet mellom tidspunkter, må bruke data på arter som registreres med god sikkerhet.	Kort sikt	Ja
Artsutskiftingsrater bunndyr	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Måles som beta-diversitet mellom tidspunkter, må bruke data på arter som registreres med god sikkerhet.	Kort sikt	Ja
Andel arktiske vs boreale arter	Klima	Minkende andel arktiske arter angir tilstand ved menneskelig påvirkning. Mulig for demersal fisk, usikkert for bunndyr.	Kort sikt	Ja
Bestandsstørrelse av typisk arktiske arter	Klima	Det må identifiseres hvilke arter som er aktuelle	Kort sikt	Ja
Bestandsstørrelse av bunndyr sårbare for bunntåling	arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Utvalg av arter basert på egenskaper som: fastsittende, høyreist, lang generasjonstid (Jørgensen et al. 2019).	Kort sikt	Ja

Bestandsstørrelse av bunndyr sårbare for predasjon fra snøkrabbe	fremmede arter	Utvalg av arter basert på diettstudier og byttedyregenskaper som liten størrelse (Jørgensen et al. 2019).	Kort sikt	Ja
Genetisk mangfold	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Metoder for dette finnes ikke enda, men kan bli tilgjengelige gjennom utvikling av nye genetiske metoder, kan være aktuelt om 10-20 år.	Lang sikt	Nei
Abiotiske forhold				
Strømningsforhold	Klima	Innstrømming av atlantisk vann	Kort sikt	Ja
Næringssalter	Forekomst i øvre vannlag kan påvirkes av klima gjennom påvirkning på stratifisering	Setter rammer for primærproduksjon	Kort sikt	Ja
pH og metningshorisont for aragonitt	Klima, forurensing	Relatert til havforsuring	Lang sikt	Er under utvikling, men det er ikke en tidsserie som kan brukes enda

7 Oversikt over appendiks til protokollen

Appendiks 1 – Indikatorer for arktisk del av Barentshavet

Referanser

- Aarflot, J. M., H. R. Skjoldal, P. Dalpadado, and M. Skern-Mauritzen. 2017. Contribution of *Calanus* species to the mesozooplankton biomass in the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science* **75**:2342-2354.
- Arneberg, P., and A. Jelmert. 2017. Status for miljøet i Barentshavet - rapport fra Overvåkingsgruppen. Havforskningsinstituttet.
- Arrigo, K. R., and G. L. van Dijken. 2015. Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Progress in Oceanography* **136**:60-70.
- Årthun, M., T. Eldevik, L. H. Smedsrud, Ø. Skagseth, and R. B. Ingvaldsen. 2012. Quantifying the Influence of Atlantic Heat on Barents Sea Ice Variability and Retreat. *Journal of Climate* **25**:4736-4743.
- Atkinson, A., V. Siegel, E. Pakhomov, and P. Rothery. 2004. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature* **432**:100-103.
- Auster, P. J., R. J. Malatesta, R. W. Langton, L. Watting, P. C. Valentine, C. L. S. Donaldson, E. W. Langton, A. N. Shepard, and W. G. Babb. 1996. The impacts of mobile fishing gear on seafloor habitats in the gulf of Maine (Northwest Atlantic): Implications for conservation of fish populations. *Reviews in Fisheries Science* **4**:185-202.
- Barber, D. G., W. N. Meier, S. Gerland, C. J. Mundy, M. Holland, S. Kern, Z. Li, C. Michel, D. K. Perovich, T. Tamura, J. Berge, J. Bowman, J. S. Christiansen, J. K. Ehn, S. Ferguson, M. A. Granskog, T. Kikuchi, H. Kuosa, B. Light, N. Lundholm, I. A. Melnikov, C. Polashenski, L. H. Smedsrud, G. Spreen, M. Tschudi, T. Vihma, M. Webster, and L. Zhang. 2017. Arctic sea ice. Chapter 5 of *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA)*. pp. 103-136. AMAP, Oslo.
- Barbier, M., and M. Loreau. 2019. Pyramids and cascades: a synthesis of food chain functioning and stability. *Ecology Letters* **22**:405-419.
- Barrett, R. T., T. Anker-Nilssen, J. O. Bustnes, S. Christensen-Dalsgaard, S. Descamps, K. E. Erikstad, S.-H. Lorentsen, E. Lorentzen, H. Strøm, and G. H. Systad. 2014. Key-site monitoring in Norway 2013, including Svalbard and Jan Mayen. *in* T. Anker-Nilssen and R. Barrett, editors. SEAPO Short Report 1-2014.
- Beaugrand, G. 2004. The North Sea regime shift: evidence, causes, mechanisms and consequences. *Progress in Oceanography* **60**:245-262.
- Beaugrand, G., X. Harlay, and M. Edwards. 2014. Detecting plankton shifts in the North Sea: a new abrupt ecosystem shift between 1996 and 2003. *Marine Ecology Progress Series* **502**:85-104.
- Behrenfeld, M. J., and P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography* **42**:1-20.
- Bluhm, B. A., H. Hop, I. A. Melnikov, M. Poulin, M. Vihtakari, E. Collins, R. Gradinger, T. Juul-Pedersen, and C. von Quillfeldt. 2017. Sea ice biota. Pages 33-61 *State of the Arctic Marine Biodiversity Report. Conservation of Arctic Flora and Fauna International Secretariat, Akureyri, Iceland.*

- Bogstad, B., H. Gjøsæter, T. Haug, and U. Lindstrøm. 2015. A review of the battle for food in the Barents Sea: cod vs. marine mammals. *Frontiers in Ecology and Evolution* **3**:29.
- Box, J. E., W. T. Colgan, T. R. Christiansen, N. M. Schmidt, M. Lund, F.-J. W. Parmentier, R. Brown, U. S. Bhatt, E. S. Euskirchen, V. E. Romanovsky, J. E. Walsh, J. E. Overland, M. Wang, R. W. Corell, W. N. Meier, B. Wouters, S. Mernild, J. Mård, J. Pawlak, and M. S. Olsen. 2019. Key indicators of Arctic climate change: 1971-2017. *Environmental Research Letters* **14**:045010.
- Brody, S. R., and M. S. Lozier. 2015. Characterizing upper-ocean mixing and its effect on the spring phytoplankton bloom with in situ data. *ICES Journal of Marine Science* **72**:1961-1970.
- Browman, H. I. 2016. Applying organized scepticism to ocean acidification research Introduction. *ICES Journal of Marine Science* **73**:529-536.
- Bryndum-Buchholz, A., D. P. Tittensor, J. L. Blanchard, W. W. L. Cheung, M. Coll, E. D. Galbraith, S. Jennings, O. Maury, and H. K. Lotze. 2019. Twenty-first-century climate change impacts on marine animal biomass and ecosystem structure across ocean basins. *Global Change Biology* **25**:459-472.
- Buhl-Mortensen, L., K. E. Ellingsen, P. Buhl-Mortensen, K. L. Skaar, and G. Gonzalez-Mirelis. 2016. Trawling disturbance on megabenthos and sediment in the Barents Sea: chronic effects on density, diversity, and composition. *ICES Journal of Marine Science* **73**:i98-i114.
- Carmack, E., I. Polyakov, L. Padman, I. Fer, E. Hunke, J. Hutchings, J. Jackson, D. Kelley, R. Kwok, C. Layton, H. Melling, D. Perovich, O. Persson, B. Ruddick, M. L. Timmermans, J. Toole, T. Ross, S. Vavrus, and P. Winsor. 2015. Toward Quantifying the Increasing Role of Oceanic Heat in Sea Ice Loss in the New Arctic. *Bulletin of the American Meteorological Society* **96**:2079-2105.
- Casini, M., T. Blenckner, C. Möllmann, A. Gårdmark, M. Lindegren, M. Llope, G. Kornilovs, M. Plikshs, and N. C. Stenseth. 2012. Predator transitory spillover induces trophic cascades in ecological sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **109**:8185.
- Certain, G., and B. Planque. 2015. Biodiversity baseline for large marine ecosystems: an example from the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science* **72**:1756-1768.
- Clausen, L., A. Rindorf, M. Deurs, M. Dickey-Collas, N. T. Hintzen, and R. Arlinghaus. 2017. Shifts in North Sea forage fish productivity and potential fisheries yield. *Journal of Applied Ecology* **0**.
- Comiso, J. C., W. N. Meier, and R. Gersten. 2017. Variability and trends in the Arctic Sea ice cover: Results from different techniques. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **122**:6883-6900.
- Conover, R. J. 1988. Comparative life histories in the genera *Calanus* and *Neocalanus* in high latitudes of the northern hemisphere. *Hydrobiologia* **167**:127-142.
- Dalpadado, P., K. R. Arrigo, S. S. Hjøllø, F. Rey, R. B. Ingvaldsen, E. Sperfeld, G. L. van Dijken, L. C. Stige, A. Olsen, and G. Ottersen. 2014. Productivity in the Barents Sea - Response to Recent Climate Variability. *PloS one* **9**:e95273.

- Dalpadado, P., R. B. Ingvaldsen, L. C. Stige, B. Bogstad, T. Knutsen, G. Ottersen, and B. Ellertsen. 2012. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics. *ICES Journal of Marine Science* **69**:1303-1316.
- Darby, C. S., and S. Flatman. 1994. Virtual population analysis: version 3.1 (Windows/DOS) user guide. Ministry of Agriculture, fisheries and food, Directorate of Fisheries Research, Lowestoft.
- Defriez, E. J., L. W. Sheppard, P. C. Reid, and D. C. Reuman. 2016. Climate change-related regime shifts have altered spatial synchrony of plankton dynamics in the North Sea. *Global Change Biology* **22**:2069-2080.
- Degen, R., M. Aune, B. A. Bluhm, C. Cassidy, M. Kedra, C. Kraan, L. Vandepitte, M. Wlodarska-Kowalczyk, I. Zhulay, P. G. Albano, J. Bremner, J. M. Grebmeier, H. Link, N. Morata, M. C. Nordstrom, M. G. Shojaei, L. Sutton, and M. Zuschin. 2018. Trait-based approaches in rapidly changing ecosystems: A roadmap to the future polar oceans. *Ecological Indicators* **91**:722-736.
- Descamps, S., J. Aars, E. Fuglei, K. M. Kovacs, C. Lydersen, O. Pavlova, A. O. Pedersen, V. Ravolainen, and H. Strom. 2017. Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago - Svalbard, Norway. *Global Change Biology* **23**:490-502.
- Descamps, S., H. Strøm, and H. Steen. 2013. Decline of an arctic top predator: synchrony in colony size fluctuations, risk of extinction and the subpolar gyre. *Oecologia* **173**:1271-1282.
- Doney, S. C., M. Ruckelshaus, J. Emmett Duffy, J. P. Barry, F. Chan, C. A. English, H. M. Galindo, J. M. Grebmeier, A. B. Hollowed, N. Knowlton, J. Polovina, N. N. Rabalais, W. J. Sydeman, and L. D. Talley. 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* **4**:11-37.
- Edwards, M., P. Helaouet, R. A. Alhaija, S. Batten, G. Beaugrand, S. Chiba, R. R. Horaeb, G. Hosie, A. Mcquatters-Gollop, C. Ostle, A. J. Richardson, W. Rochester, J. Skinner, R. Stern, K. Takahashi, C. Taylor, H. M. Verheye, and M. Wootton. 2016. Global Marine Ecological Status Report: results from the global CPR Survey 2014/2015. SAHFOS Technical Report, 11: 1-32. Plymouth, U.K. ISSN 1744-0750.
- Edwards, M., and A. J. Richardson. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* **430**:881-884.
- Ellingsen, I., D. Slagstad, and A. Sundfjord. 2009. Modification of water masses in the Barents Sea and its coupling to ice dynamics: a model study. *Ocean Dynamics* **59**:1095-1108.
- Eriksen, E. 2017. Dynamics of the Barents Sea pelagic compartment: species distributions, interactions and response to climate variability. University of Bergen.
- Eriksen, E., H. R. Skjoldal, H. Gjosaeter, and R. Primicerio. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming. *Progress in Oceanography* **151**:206-226.
- Falk-Petersen, S., V. Pavlov, S. Timofeev, and J. R. Sargent. 2007. Climate variability and possible effects on arctic food chains: The role of Calanus. Pages 147-166 in J. B. Ørbæk, R. Kallenborn, I. Tombre, E. N. Hegseth, S. Falk-Petersen, and A. H. Hoel, editors. *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

- Fauchald, P., T. Anker-Nilssen, R. Barrett, J. O. Bustnes, B. J. Bårdsen, S. Christensen-Dalsgaard, S. Descamps, S. Engen, K. E. Erikstad, S. A. Hanssen, S.-H. Lorentsen, B. Moe, T. K. Reiertsen, H. Strøm, and G. H. Systad. 2015. The status and trends of seabirds breeding in Norway and Svalbard - NINA Report 1151. 84 pp.
- Fauchald, P., P. Arneberg, J. Berge, S. Gerland, K. M. Kovacs, M. Reigstad, and J. H. Sundet. 2014. An assessment of MOSJ - The state of the marine environment around Svalbard and Jan Mayen - Norwegian Polar Institute Report Series.
- Fossheim, M., R. Primicerio, E. Johannesen, R. B. Ingvaldsen, M. M. Aschan, and A. V. Dolgov. 2015. Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. *Nature Climate Change* **5**:673.
- Frainer, A., R. Primicerio, S. Kortsch, M. Aune, A. V. Dolgov, M. Fossheim, and M. M. Aschan. 2017. Climate-driven changes in functional biogeography of Arctic marine fish communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **114**:12202.
- Frank, K. T., B. Petrie, J. S. Choi, and W. C. Leggett. 2005. Trophic Cascades in a Formerly Cod-Dominated Ecosystem. *Science* **308**:1621.
- Friedland, K. D., C. B. Mouw, R. G. Asch, A. S. A. Ferreira, S. Henson, K. J. W. Hyde, R. E. Morse, A. C. Thomas, and D. C. Brady. 2018. Phenology and time series trends of the dominant seasonal phytoplankton bloom across global scales. *Global Ecology and Biogeography* **27**:551-569.
- Galil, B. S., P. F. Clark, and J. T. Carlton, editors. 2011. In the wrong place — alien marine crustaceans: distribution, biology and impacts. Springer, Dordrecht.
- Gjørøseter, H., B. Bogstad, and S. Tjelmeland. 2009. Ecosystem effects of the three capelin stock collapses in the Barents Sea. *Marine Biology Research* **5**:40-53.
- Griffiths, J. R., M. Kadin, F. J. A. Nascimento, T. Tamelander, A. Törnroos, S. Bonaglia, E. Bonsdorff, V. Brüchert, A. Gårdmark, M. Järnström, J. Kotta, M. Lindegren, M. C. Nordström, A. Norkko, J. Olsson, B. Weigel, R. Žydelis, T. Blenckner, S. Niiranen, and M. Winder. 2017. The importance of benthic–pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Global Change Biology* **23**:2179-2196.
- Gutiérrez-Cánovas, C., A. Millán, J. Velasco, I. P. Vaughan, and S. J. Ormerod. 2013. Contrasting effects of natural and anthropogenic stressors on beta diversity in river organisms. *Global Ecology and Biogeography* **22**:796-805.
- Halpern, B. S., C. Longo, D. Hardy, K. L. McLeod, J. F. Samhouri, S. K. Katona, K. Kleisner, S. E. Lester, J. O'Leary, M. Ranelletti, A. A. Rosenberg, C. Scarborough, E. R. Selig, B. D. Best, D. R. Brumbaugh, F. S. Chapin, L. B. Crowder, K. L. Daly, S. C. Doney, C. Elfes, M. J. Fogarty, S. D. Gaines, K. I. Jacobsen, L. B. Karrer, H. M. Leslie, E. Neeley, D. Pauly, S. Polasky, B. Ris, K. St Martin, G. S. Stone, U. R. Sumaila, and D. Zeller. 2012. An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature* **488**:615-+.
- Hansen, C., M. Skern-Mauritzen, G. I. van der Meeren, A. Jähkel, and K. F. Drinkwater. 2016. Set-up of the Nordic and Barents Seas (NoBa) Atlantis model. Havforskningsinstituttet.
- Hays, G. C., A. J. Richardson, and C. Robinson. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* **20**:337-344.

- Hirche, H.-J., and K. Kosobokova. 2007. Distribution of *Calanus finmarchicus* in the northern North Atlantic and Arctic Ocean—Expatriation and potential colonization. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **54**:2729-2747.
- Hobson, K. A., W. G. Ambrose, Jr., and P. E. Renaud. 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.
- Holt, R. E., B. Bogstad, J. M. Durant, and G. Ottersen. 2019. Barents Sea cod (*Gadus morhua*) diet composition: long-term interannual, seasonal, and ontogenetic patterns. *ICES Journal of Marine Science*.
- Hop, H., B. A. Bluhm, R. Gradinger, and M. Poulin. 2013. Arctic sea ice biota. Arctic Report Card, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- Hop, H., and H. Gjøsæter. 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.
- Hunt Jr, G. L., P. Stabeno, G. Walters, E. Sinclair, R. D. Brodeur, J. M. Napp, and N. A. Bond. 2002. Climate change and control of the southeastern Bering Sea pelagic ecosystem. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **49**:5821-5853.
- ICES. 2016. Greater North Sea Ecoregion- Ecosystem overview. 22.pages. .
- 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. ICES, Copenhagen.
- Jennings, S., J. K. Pinnegar, N. V. C. Polunin, and K. J. Warr. 2001. Impacts of trawling disturbance on the trophic structure of benthic invertebrate communities. *Marine Ecology Progress Series* **213**:127-142.
- Johannesen, E., R. B. Ingvaldsen, B. Bogstad, P. Dalpadado, E. Eriksen, H. Gjøsæter, T. Knutsen, M. Skern-Mauritzen, and J. E. Stiansen. 2012. Changes in Barents Sea ecosystem state, 1970–2009: climate fluctuations, human impact, and trophic interactions. *ICES Journal of Marine Science* **69**:880-889.
- Johannesen, E., H. L. Mørk, K. Korsbrekke, R. Wienerroither, E. Eriksen, M. Fossheim, T. de Lange Wenneck, A. Dolgov, T. Prokhorova, and D. Prozorkevich. 2017. Arctic fishes in the Barents Sea 2004-2015: Changes in abundance and distribution. IMR/PINRO Joint Report Series, 1, 2017.
- Johansen, G. O., E. Johannesen, K. Michalsen, A. Aglen, and Å. Fotland. 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.
- Jones, D. O. B., A. Yool, C.-L. Wei, S. A. Henson, H. A. Ruhl, R. A. Watson, and M. Gehlen. 2014. Global reductions in seafloor biomass in response to climate change. *Global Change Biology* **20**:1861-1872.
- Jørgensen, L. L., P. Ljubin, H. R. Skjoldal, R. B. Ingvaldsen, N. Anisimova, and I. Manushin. 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., B. Planque, T. H. Thangstad, and G. Certain. 2016. Vulnerability of megabenthic species to trawling in the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science* **73**:i84-i97.
- Jørgensen, L. L., R. Primicerio, R. B. Ingvaldsen, M. Fossheim, N. Strelkova, T. H. Thangstad, I. Manushin, and D. Zakharov. 2019. Impact of multiple stressors on sea bed fauna in a warming Arctic. *Marine Ecology Progress Series* **608**:1-12.
- Kaiser, M. J., and S. J. de Groot, editors. 2000. Effects of fishing on non-target species and habitats. Biological, conservation and socio-economic issues. Blackwell Science, Oxford.
- Kaiser, M. J., K. Ramsay, C. A. Richardson, F. E. Spence, and A. R. Brand. 2000. Chronic fishing disturbance has changed shelf sea benthic community structure. *Journal of Animal Ecology* **69**:494-503.
- Karnovsky, N. J., S. Kwaśniewski, J. M. Węśławski, W. Walkusz, and A. Beszczyńska-Mańko. 2003. Foraging behavior of little auks in a heterogeneous environment. *Marine Ecology Progress Series* **253**:289-303.
- Kędra, M., C. Moritz, E. S. Choy, C. David, R. Degen, S. Duerksen, I. Ellingsen, B. Górka, J. M. Grebmeier, D. Kirievskaya, D. van Oevelen, K. Piwosz, A. Samuelsen, and J. M. Węśławski. 2015. Status and trends in the structure of Arctic benthic food webs. *Polar Research* **34**:23775.
- Kjesbu, O. S., B. Bogstad, J. A. Devine, H. Gjøsæter, D. Howell, R. B. Ingvaldsen, R. D. M. Nash, and J. E. Skjæraasen. 2014. Synergies between climate and management for Atlantic cod fisheries at high latitudes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111**:3478.
- Koenigk, T., U. Mikolajewicz, J. H. Jungclaus, and A. Kroll. 2009. Sea ice in the Barents Sea: seasonal to interannual variability and climate feedbacks in a global coupled model. *Climate Dynamics* **32**:1119-1138.
- Kortsch, S., R. Primicerio, M. Fossheim, V. Dolgov Andrey, and M. Aschan. 2015. Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **282**:20151546.
- Laufkötter, C., M. Vogt, N. Gruber, M. Aita-Noguchi, O. Aumont, L. Bopp, E. Buitenhuis, S. C. Doney, J. Dunne, T. Hashioka, J. Hauck, T. Hirata, J. John, C. Le Quéré, I. D. Lima, H. Nakano, R. Seferian, I. Totterdell, M. Vichi, and C. Völker. 2015. Drivers and uncertainties of future global marine primary production in marine ecosystem models. *Biogeosciences* **12**:6955-6984.
- Lee, Y. J., P. A. Matrai, M. A. M. Friedrichs, V. S. Saba, O. Aumont, M. Babin, E. T. Buitenhuis, M. Chevallier, L. de Mora, M. Dessert, J. P. Dunne, I. H. Ellingsen, D. Feldman, R. Frouin, M. Gehlen, T. Gorgues, T. Ilyina, M. Jin, J. G. John, J. Lawrence, M. Manizza, C. E. Menkes, C. Perruche, V. Le Fouest, E. E. Popova, A. Romanou, A. Samuelsen, J. Schwinger, R. Séférian, C. A. Stock, J. Tjiputra, L. B. Tremblay, K. Ueyoshi, M. Vichi, A. Yool, and J. Zhang. 2016. Net primary productivity estimates and environmental variables in the Arctic Ocean: An assessment of coupled physical-biogeochemical models. *Journal of Geophysical Research: Oceans* **121**:8635-8669.
- Leu, E., C. J. Mundy, P. Assmy, K. Campbell, T. M. Gabrielsen, M. Gosselin, T. Juul-Pedersen, and R. Gradinger. 2015. Arctic spring awakening – Steering principles behind the phenology of vernal ice algal blooms. *Progress in Oceanography* **139**:151-170.

- Leu, E., J. E. Søreide, D. O. Hessen, S. Falk-Petersen, and J. Berge. 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.
- Lind, S., and R. B. Ingvaldsen. 2012. Variability and impacts of Atlantic Water entering the Barents Sea from the north. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **62**:70-88.
- Lind, S., R. B. Ingvaldsen, and T. Furevik. 2016. Arctic layer salinity controls heat loss from deep Atlantic layer in seasonally ice-covered areas of the Barents Sea. *Geophysical Research Letters* **43**:5233-5242.
- Lind, S., R. B. Ingvaldsen, and T. Furevik. 2018. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import. *Nature Climate Change* **8**:634-639.
- Loeng, H. 1991. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea. *Polar Research* **10**:5-18.
- Luczak, C., G. Beaugrand, M. Jaffré, and S. Lenoir. 2011. Climate change impact on Balearic shearwater through a trophic cascade. *Biology Letters* **7**:702-705.
- Marchese, C., L. Castro de la Guardia, P. G. Myers, and S. Bélanger. 2019. Regional differences and inter-annual variability in the timing of surface phytoplankton blooms in the Labrador Sea. *Ecological Indicators* **96**:81-90.
- McBride, M. M., J. R. Hansen, O. Korneev, and O. Titov. 2016. Joint Norwegian - Russian environmental status 2013. Report on the Barents Sea Ecosystem. Part II - Complete report. 2016 (2). Bergen / Murmansk.
- McQuatters-Gollop, A., D. E. Raitsos, M. Edwards, Y. Pradhan, L. D. Mee, S. J. Lavender, and M. J. Attrill. 2007. A long-term chlorophyll dataset reveals regime shift in North Sea phytoplankton biomass unconnected to nutrient levels. *Limnology and Oceanography* **52**:635-648.
- Meier, W. N., G. K. Hovelsrud, B. E. H. van Oort, J. R. Key, K. M. Kovacs, C. Michel, C. Haas, M. A. Granskog, S. Gerland, D. K. Perovich, A. Makshtas, and J. D. Reist. 2014. Arctic sea ice in transformation: A review of recent observed changes and impacts on biology and human activity. *Reviews of Geophysics* **52**:185-217.
- Melle, W., and H. R. Skjoldal. 1998. Reproduction and development of *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* and *C. hyperboreus* in the Barents Sea.
- Melnikov, I. A. 1997. The Arctic Sea ice ecosystem. Gordon and Branch Science Publisher, Amsterdam.
- Moran, M. J., and P. C. Stephenson. 2000. Effects of otter trawling on macrobenthos and management of demersal scalefish fisheries on the continental shelf of north-western Australia. *ICES Journal of Marine Science* **57**:510-516.
- Nansen, F. 1902. Oceanography of the North Polar Basin: The Norwegian North Polar Expedition. Scientific Results.
- Notz, D., and J. Stroeve. 2016. Observed Arctic sea-ice loss directly follows anthropogenic CO₂ emission. *Science* **354**:747.
- Overland, J. E., and M. Y. Wang. 2007. Future regional Arctic sea ice declines. *Geophysical Research Letters* **34**.
- Overland, J. E., M. Y. Wang, and J. E. Box. 2019. An integrated index of recent pan-Arctic climate change. *Environmental Research Letters* **14**.

- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese, and F. Torres. 1998. Fishing Down Marine Food Webs. *Science* **279**:860.
- Pershing, A. J., K. E. Mills, N. R. Record, K. Stamieszkin, K. V. Wurtzell, C. J. Byron, D. Fitzpatrick, W. J. Golet, and E. Koob. 2015. Evaluating trophic cascades as drivers of regime shifts in different ocean ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **370**:20130265.
- Pitcher, C. R., I. R. Poiner, B. J. Hill, and C. Y. Burridge. 2000. Implications of the effects of trawling on sessile megazoobenthos on a tropical shelf in northeastern Australia. *ICES Journal of Marine Science* **57**:1359-1368.
- Polyakov, I. V., A. V. Pnyushkov, M. B. Alkire, I. M. Ashik, T. M. Baumann, E. C. Carmack, I. Goszczko, J. Guthrie, V. V. Ivanov, T. Kanzow, R. Krishfield, R. Kwok, A. Sundfjord, J. Morison, R. Rember, and A. Yulin. 2017. Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science* **356**:285.
- Racault, M.-F., C. Le Quéré, E. Buitenhuis, S. Sathyendranath, and T. Platt. 2012. Phytoplankton phenology in the global ocean. *Ecological Indicators* **14**:152-163.
- Ramírez, F., A. Tarroux, J. Hovinen, J. Navarro, I. Afán, M. G. Forero, and S. Descamps. 2017. Sea ice phenology and primary productivity pulses shape breeding success in Arctic seabirds. *Scientific Reports* **7**:4500.
- Roden, V. J., Á. T. Kocsis, M. Zuschin, and W. Kiessling. 2018. Reliable estimates of beta diversity with incomplete sampling. *Ecology* **99**:1051-1062.
- Rogachev, K. A., E. C. Carmack, and M. G. G. Foreman. 2008. Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk. *Continental Shelf Research* **28**:1811-1826.
- Ross, P. M., S. F. Thrush, J. C. Montgomery, J. W. Walker, and D. M. Parsons. 2007. Habitat complexity and predation risk determine juvenile snapper (*Pagrus auratus*) and goatfish (*Upeneichthys lineatus*) behaviour and distribution. *Marine and Freshwater Research* **58**:1144-1151.
- Schofield, O., H. W. Ducklow, D. G. Martinson, M. P. Meredith, M. A. Moline, and W. R. Fraser. 2010. How Do Polar Marine Ecosystems Respond to Rapid Climate Change? *Science* **328**:1520.
- Screen, J. A., and I. Simmonds. 2010. Increasing fall-winter energy loss from the Arctic Ocean and its role in Arctic temperature amplification. *Geophysical Research Letters* **37**.
- Serreze, M. C., and R. G. Barry. 2011. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change* **77**:85-96.
- Shephard, S., S. P. R. Greenstreet, G. J. Piet, A. Rindorf, and M. Dickey-Collas. 2015. Surveillance indicators and their use in implementation of the Marine Strategy Framework Directive. *Ices Journal of Marine Science* **72**:2269-2277.
- Skogen, M. D., A. Olsen, K. Y. Børsheim, A. B. Sandø, and I. Skjelvan. 2014. Modelling ocean acidification in the Nordic and Barents Seas in present and future climate. *Journal of Marine Systems* **131**:10-20.

- Socolar, J. B., J. J. Gilroy, W. E. Kunin, and D. P. Edwards. 2016. How Should Beta-Diversity Inform Biodiversity Conservation? *Trends in Ecology & Evolution* **31**:67-80.
- Steen, H., D. Vogedes, F. Broms, S. Falk-Petersen, and J. Berge. 2007. Little auks (Alle alle) breeding in a High Arctic fjord system: bimodal foraging strategies as a response to poor food quality? *Polar Research* **26**:118-125.
- Tande, K. S. 1991. Calanus in North Norwegian fjords and in the Barents Sea. *Polar Research* **10**:389-408.
- Tsikliras, A. C., A. Dinouli, V.-Z. Tsiros, and E. Tsalkou. 2015. The Mediterranean and Black Sea Fisheries at Risk from Overexploitation. *PLoS one* **10**:e0121188.
- van der Meeren, G. I., and D. Prozorkevich. 2019. Survey report from the joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2018. IMR/PINRO Joint Report Series, 2, 2019.
- Wassmann, P., and M. Reigstad. 2011. Future Arctic Ocean seasonal ice zones and implications for pelagic-benthic coupling. *Oceanography* **24**:220-231.
- Wiedmann, M. A., R. Primicerio, A. Dolgov, C. A. M. Ottesen, and M. Aschan. 2014. Life history variation in Barents Sea fish: implications for sensitivity to fishing in a changing environment. *Ecology and Evolution* **4**:3596-3611.
- Winder, M., and D. E. Schindler. 2004. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. *Ecology* **85**:2100-2106.
- Winder, M., and U. Sommer. 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* **698**:5-16.
- Yool, A., E. E. Popova, and A. C. Coward. 2015. Future change in ocean productivity: Is the Arctic the new Atlantic? *Journal of Geophysical Research: Oceans* **120**:7771-7790.
- Zhai, L., T. Platt, C. Tang, S. Sathyendranath, and R. Hernández Walls. 2011. Phytoplankton phenology on the Scotian Shelf. *ICES Journal of Marine Science* **68**:781-791.
- Zheng, J., and G. H. Kruse. 2006. Recruitment variation of eastern Bering Sea crabs: Climate-forcing or top-down effects? *Progress in Oceanography* **68**:184-204.

Fotnoter til Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget (Tabell 6.1)

1

2

³ Vurderes som oppfylt selv om for eksempel skyer vil gjøre at det ikke finnes data for alle celler fra hvert tidspunkt.

4

5

6

7

8

9

¹⁰ Vurderes som delvis dekkende fordi vi ikke har data på artssammensetning og også mangler *in situ* data for å kalibrere satellittdata på produksjon og timing

11

12

13

14

15

16

17

18

19

²⁰ Økosystemtoktet benytter regulært grid med stasjoner som dekker hele Barentshavet

²¹ Alle stasjoner blir som oftest tatt med (utenom når det er is)

²² Alle stasjoner blir som oftest tatt med

23

24

25

²⁶ Sesongvariasjon er i den grad den er relevant for noen organismer, tatt høyde for gjennom at det er innsamlet prøver ved samme tid på året hvert år.

27

28

²⁹ Det er kun en enkelt indikator, som inkluderer informasjon om en relativt stor del av økosystemet. Bør kompletteres med mer spesifikke indikatorer på for eksempel gjennomsnittlig trofisk nivå for ulike organismegrupper (for eksempel ulike grupper av fisk og bunndyr separat) og/eller parvise biomasseforhold mellom grupper fra ulike trofiske nivå.

30

31

32

33

34

35

36

37

38

³⁹ Det er svært mange måter man kan undersøke endringer i funksjonelle grupper. Vi har fokusert på trofisk funksjonelle grupper og det må anses å være en start, men langt fra dekkende.

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

⁵¹ Vurderes som delvis dekkende fordi de viktigste arter av fisk og hoppekreps inngår, men andre nøkkelarter er ikke dekket. Det arbeides med indikatorer på krill og amfipoder, men også andre arter og strukturer bør vurderes, for eksempel isbiota.

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

⁶⁷ Lodde oppholder seg kun deler av året i arktisk del av Barentshavet

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

⁸⁵ Temperaturmålinger fra august september er et godt valg av tidspunkt for å måle varme som er blitt akkumulert under sommerperioden.

86

87

⁸⁸ Delvis dekkende fordi det er fokusert kun på leveområder for arktiske arter tilpasset kalde arktiske vannmasser og isdekke. Det bør inkluderes indikatorer også for bunnhabitat og en indikator relatert til areal med bunnpåvirkning fra tråling.

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

⁹⁹ Vurdert som begrenset fordi kun en type indikator for to organismegrupper er inkludert. Det bør vurderes å inkludere andre organsimegrupper. Det kan også vurderes å bruke indikatorer som baseres på en ratio mellom for eksempel arktiske vs boreale arter, eller bestandsstørrelser av arter sensitive for ulike typer av menneskelig påvirkning. Vi mangler også indikatorer for genetisk mangfold.

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

¹¹⁸ Vurdert som dekkende fordi vi har indikatorer på de sentrale abiotiske forholdene som er styrende for klimasystemet i arktisk del av Barentshavet. Det bør vurderes å inkludere indikatorer på næringstilgang og havforsuring.

¹¹⁹

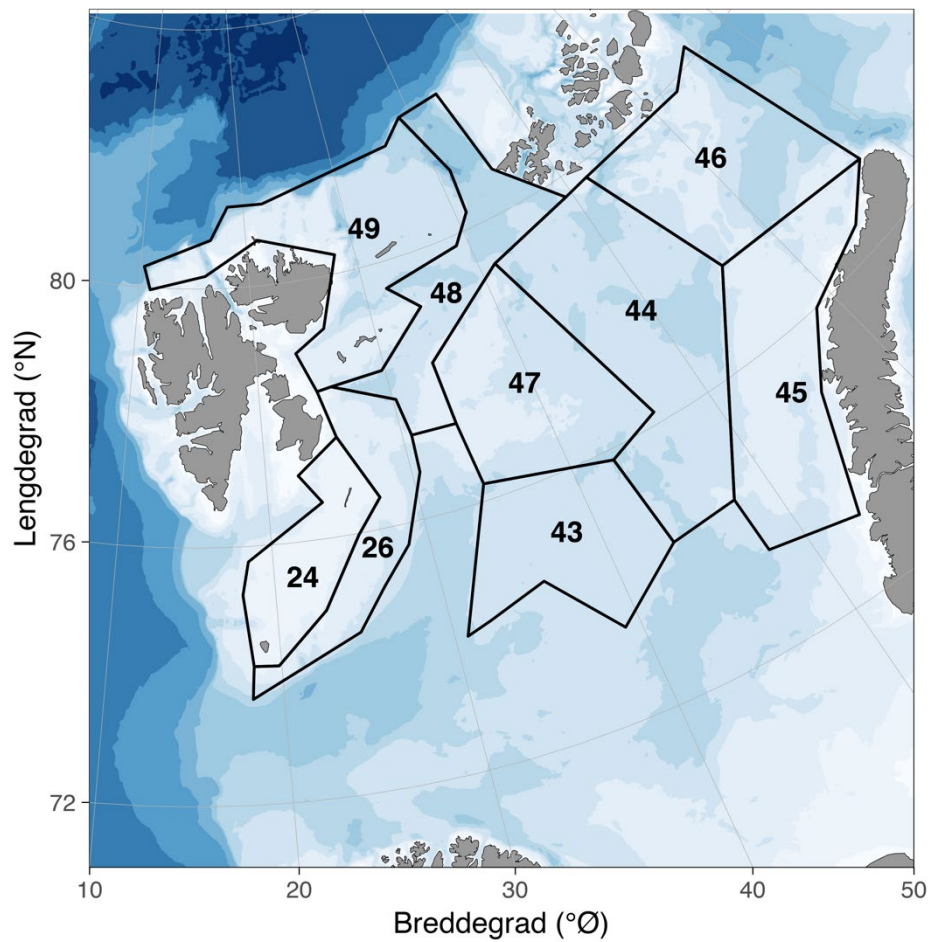
Pilottest av fagpanelprotokollen for vurdering av god økologisk tilstand –
arktisk del av Barentshavet

Appendiks 1 – Indikatorer for arktisk del av Barentshavet

Innholdsfortegnelse

Kart over arktisk del av Barentshavet	3
1 Indikator: Årlig primærproduksjon.....	4
2 Indikator: Tidspunkt for våroppblomstring	6
3 Indikator: Gjennomsnittlig trofisk nivå.....	8
4 Indikator: Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper.....	10
5 Indikator: Bentisk-pelagiske arter	13
6 Indikator: Bentiske filter predatorer	15
7 Indikator: Arktiske <i>Calanus</i> -arter	17
8 Indikator: Polartorsk.....	19
9 Indikator: Lodde	21
10 Indikator: Nordøstarktisk torsk	23
11 Indikator: Størrelse på temperaturnisjer	26
12 Indikator: Utbredelse av havis.....	28
13 Indikator: Artsutskiftingsrater bunnfisk	38
14 Indikator: Artsutskiftingsrater sjøfugl	43
15 Indikator: Varmeinnhold hav.....	46
16 Indikator: Ferskvannsinhold hav	48
Referanser	50

Kart over arktisk del av Barentshavet



Figur A.O.1. Kart som viser arktisk del av Barentshavet, med underområder (polygoner). Polygoninndelingen er basert på inndelingen i NoBa Atlantis vegg-til-vegg økosystemmodell (Hansen et al. 2016).

1 Indikator: Årlig primærproduksjon

Fenomen: Økning i årlig primærproduksjon

Egenskap: Primærproduksjon

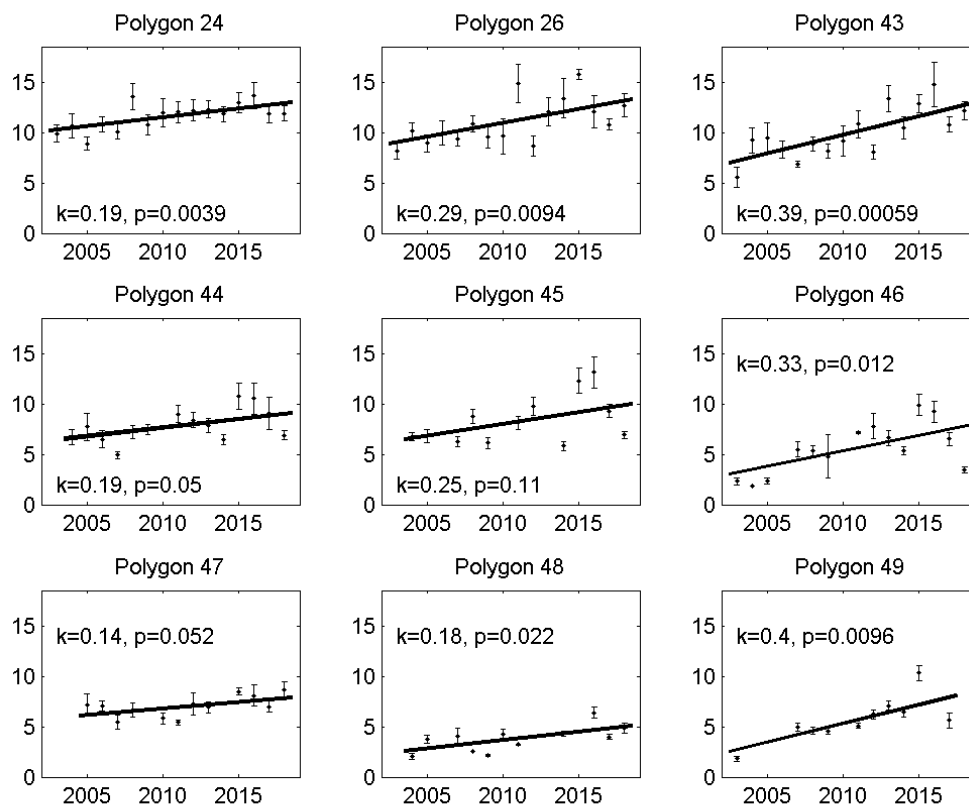
1.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

1.2 Supplerende metode

Trend i utviklingen av årlig primærproduksjon ble beregnet med lineær regresjon med tid som avhengig variabel, og korrelasjonsanalyse (lineær korrelasjon). Det samme ble forsøkt for tidsseriene før og etter 2010. Det siste ga dårlig mening på grunn av den mellomårslige variasjonen er for stor til at så korte tidsrom gir signifikante trender. Grundige analyser av tidsserier for primærproduksjon i et stort utvalg havområder viser at trender for denne variabelen krever tidsserier på rundt 30 år (Henson et al. 2016). Usikkerhetsestimat er oppgitt som standard feil for gjennomsnitt av årlig primærproduksjon i grid celler innen hver polygon.

1.3 Resultat av analyser



Figur A 1.1: Grafene viser tidsutviklingen som gjennomsnitt (vertikal strek angir standard feil), samt stigningskoeffisienten fra lineær regresjon og p for korrelasjon for ni polygoner i arktisk del av Barentshavet.

Tabell A 1.1: Årlig primærproduksjon (gjennomsnitt Mol C m⁻² år⁻¹) i ni Atlantis-polygoner i arktisk del av Barentshavet. Enkelte år i enkelte polygoner har for få gyldige observasjoner til at årsproduksjon kunne beregnes.

Polygon	24	26	43	44	45	46	47	48	49
2003	9.89	8.16	5.54			2.31			1.83
2004	10.66	10.14	9.23	6.73	6.74	1.84		2.03	
2005	8.87	8.91	9.44	7.71	6.81	2.37	7.16	3.74	
2006	10.77	9.97	8.29	6.49			7.09		
2007	10.09	9.38	6.87	4.92	6.27	5.48	5.46	4.01	4.94
2008	13.59	10.88	8.85	7.21	8.74	5.35	6.67	2.54	4.60
2009	10.71	9.54	8.15	7.48	6.12	4.79		2.16	4.58
2010	11.97	9.61	9.17				5.82	4.27	
2011	12.04	14.85	10.84	9.00	8.15	7.17	5.42	3.24	5.08
2012	12.18	8.68	8.03	8.39	9.72	7.79	7.25		6.20
2013	12.30	12.06	13.35	7.86		6.61	6.91		7.06
2014	11.85	13.37	10.47	6.45	5.81	5.32		4.32	6.43
2015	12.95	15.77	12.87	10.74	12.26	9.90	8.50		10.30
2016	13.67	12.05	14.71	10.53	13.11	9.21	8.07	6.38	
2017	11.88	10.78	10.78	9.07	9.29	6.54	6.98	3.98	5.62
2018	11.89	12.69	12.16	6.86	6.90	3.46	8.65	4.86	

Tabell A 1.2: Trendanalyse av årlig primærproduksjon, stigningskoeffisient fra lineær regresjon og p for korrelasjon.

Polygon	24	26	43	44	45	46	47	48	49
Stigning	0.19	0.29	0.39	0.19	0.25	0.33	0.14	0.18	0.40
p	0.004	0.009	0.001	0.050	0.111	0.012	0.052	0.022	0.010

Oppsummering

Årlig primærproduksjon øker i hele arktisk del av Barentshavet, noe raskere økning i sør sammenlignet med nord. I sør har primærproduksjon økt cirka 2.5 ganger de siste 15 år, og dette vurderes som en betydelig øking. Økningen er forventet i globale modeller for utvikling i primærproduksjon i arktiske farvann (Yool et al. 2015). En økning i primærproduksjon betyr større grunnlag for produksjon av total biomasse i økosystemet, men det er ikke kjent hvilke arter det kommer til å bli mer eller mindre av.

1.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Den ganske dramatiske økningen i estimatet for primærproduksjon bør følges opp av systematiske studier av effekter i økosystemet. Spesielt bør man se etter forskyvninger i artssammensetning på tidsskala over ti år (Henson et al. 2016). Med tanke på de dramatiske endringene både i modeller og fra satellitt bær det vurderes å validere estimatene av primærproduksjon med målinger i sjøen.

2 Indikator: Tidspunkt for våroppblomstring

Fenomen: Tidligere tidspunkt for avslutning av våroppblomstring

Egenskap: Primærproduksjon

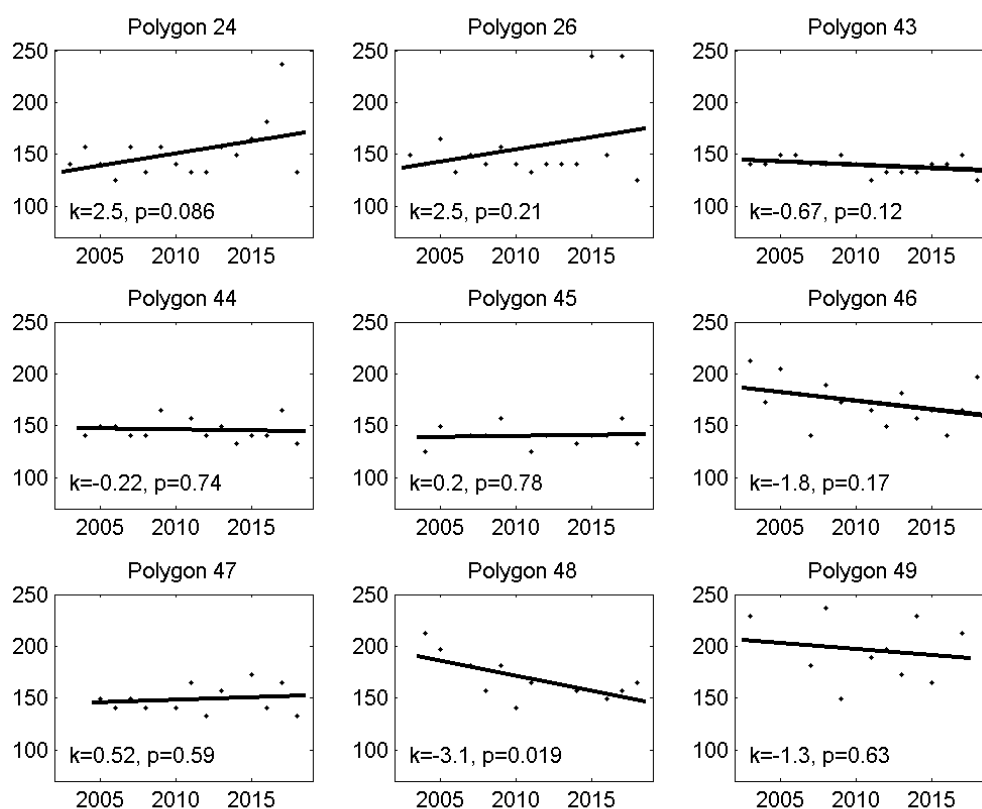
2.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

2.2 Supplerende metode

Avslutning av våroppblomstring ble beregnet som dagnummer for høyeste verdi av klorofyll (Børsheim et al. 2014). Trend i utviklingen av dagnummer for avslutningen av våroppblomstringen ble beregnet med lineær regresjon med tid som avhengig variabel.

2.3 Resultat av analyser



Figur A 2.1: Figur A 2.2: Grafene viser tidsutviklingen i dagnummer for avslutning av våroppblomstring, samt stigningskoeffisienten fra lineær regresjon og p for korrelasjon for ni polygoner i arktisk del av Barentshavet

Tabell A 2.1: Dagnummer for slutten av våroppblomstringen i ni Atlantispolygoner i arktisk del av Barentshavet. Enkelte år og områder hadde for få gyldige observasjoner til at variabelen kunne estimeres

Polygon	24	26	43	44	45	46	47	48	49
2003	141	149	141			213			229
2004	157	141	141	141	125	173		213	
2005	141	165	149	149	149	205	149	197	
2006	125	133	149	149			141		
2007	157	149	141	141	141	141	149	181	181
2008	133	141	141	141	141	189	141	157	237
2009	157	157	149	165	157	173		181	149
2010	141	141	141				141	141	
2011	133	133	125	157	125	165	165	165	189
2012	133	141	133	141	141	149	133		197
2013	157	141	133	149		181	157		173
2014	149	141	133	133	133	157		157	229
2015	165	245	141	141	141	165	173		165
2016	181	149	141	141	141	141	141	149	
2017	237	245	149	165	157	165	165	157	213
2018	133	125	125	133	133	197	133	165	

Tabell A 2.2: Stigningskoeffisient (dag år⁻¹) for lineær regresjon av dagnummer for slutten av våroppblomstring, samt p for korrelasjon.

Polygon	24	26	43	44	45	46	47	48	49
Stigning	2.51	2.52	-0.67	-0.22	0.20	-1.77	0.52	-3.08	-1.26
p	0.09	0.21	0.12	0.74	0.78	0.17	0.59	0.02	0.63

Oppsummering

Tidspunkt for våroppblomstring, målt som tidspunkt for avslutning for våroppblomstring, viser ingen trend i arktisk del av Barentshavet. Unntaket er i polygon 48 der det er en signifikant tidligere avslutning av våroppblomstringen. Det er betydelig mellomårlig variasjon, noe som kan ha betydelig biologiske effekter.

2.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Ikke utredet

3 Indikator: Gjennomsnittlig trofisk nivå

Fenomen: Nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå

Egenskap: Fordeling av biomasse mellom trofiske nivå

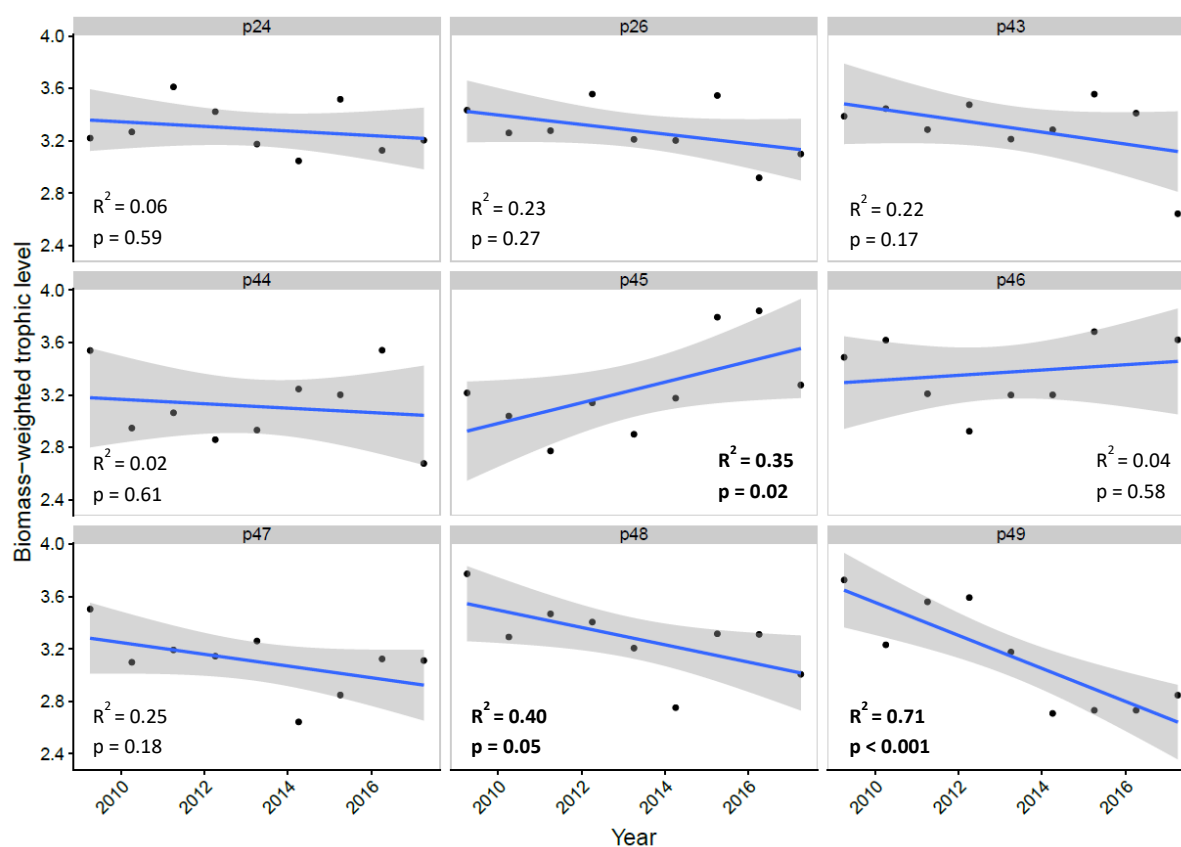
3.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

3.2 Supplerende metode

Gjennomsnittlig trofisk nivå basert på de 732 vanligste artene i bentisk og pelagisk trål, vektet med biomasse av de forskjellige artene. Trofisk nivå av arter er hentet fra litteraturen. Utvikling i indikatorverdi vurderes ved GAM.

3.3 Resultat av analyser



Figur A 3.1: Gjennomsnittlig trofisk nivå i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer med skyggelagt område illustrerer mønster i tid ved lineær modell \pm 95 % konfidensintervall (grå).

Oppsummering

Gjennomsnittlig trofisk nivå minker i de mest nord-vestlige polygoner, 48 og 49, men vi ser en økning i øst (polygon 45). Denne økningen i øst ser ut til å ha skjedd i stort sett fra 2014 og til nå. Nedgangen i trofisk nivå er betydelig, særlig i polygon 49, der gjennomsnittlig trofisk nivå har minket med et helt nivå i løpet av de siste 10 år.

3.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Data og deler av metoden for estimering av biomasse bør kvalitetskontrolleres. Dataene bør sjekkes for autokorrelasjon, og statistisk signifikans av forskjeller mellom perioder bør estimeres.

Variasjonsmål for observerte målinger bør også utvikles.

4 Indikator: Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper

Fenomen: Økende biomasse av pelagiske arter i forhold til bentiske arter

Egenskap: Funksjonelle grupper

4.1 Supplerende metadata

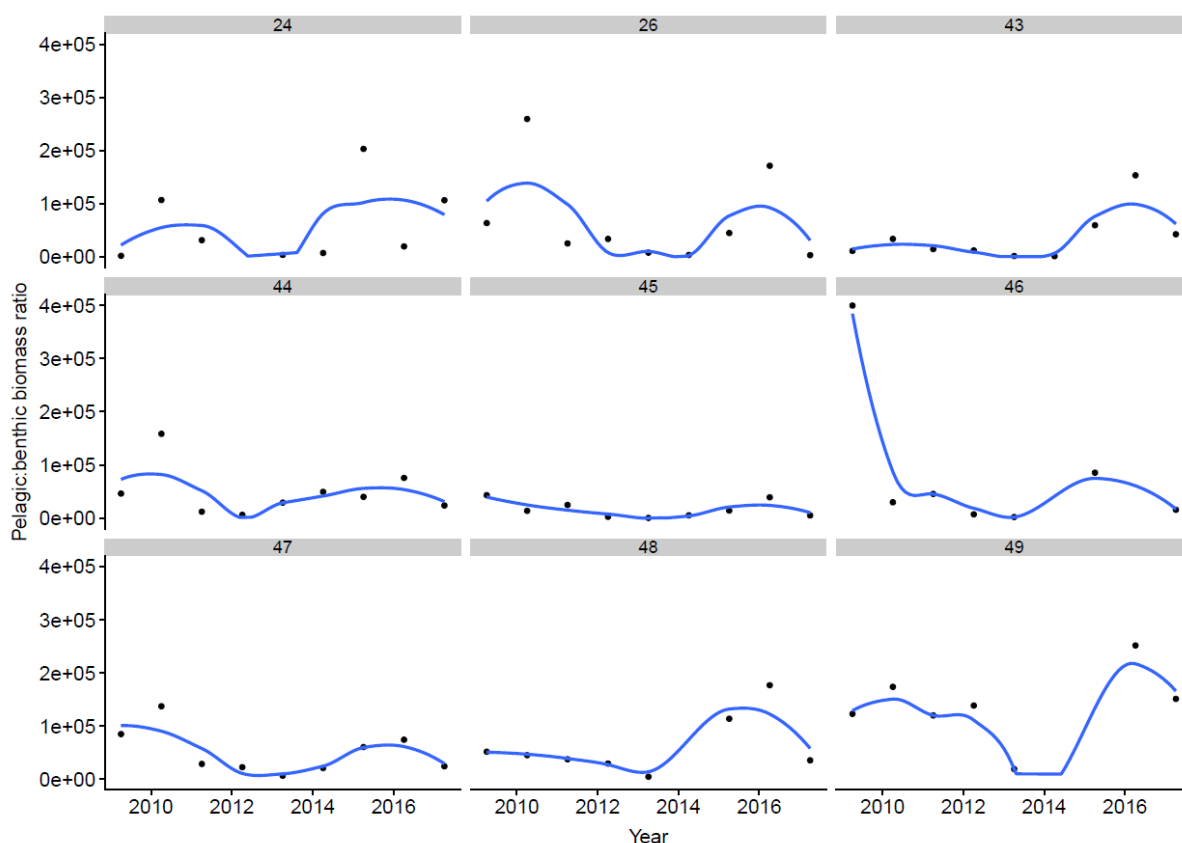
Ikke relevant.

4.2 Supplerende metode

Utvikling i indikatorverdi vurderes ved GAM eller loess smoothing av tidsserien.

4.3 Resultat av analyser

4.3.1 Indikatorverdier

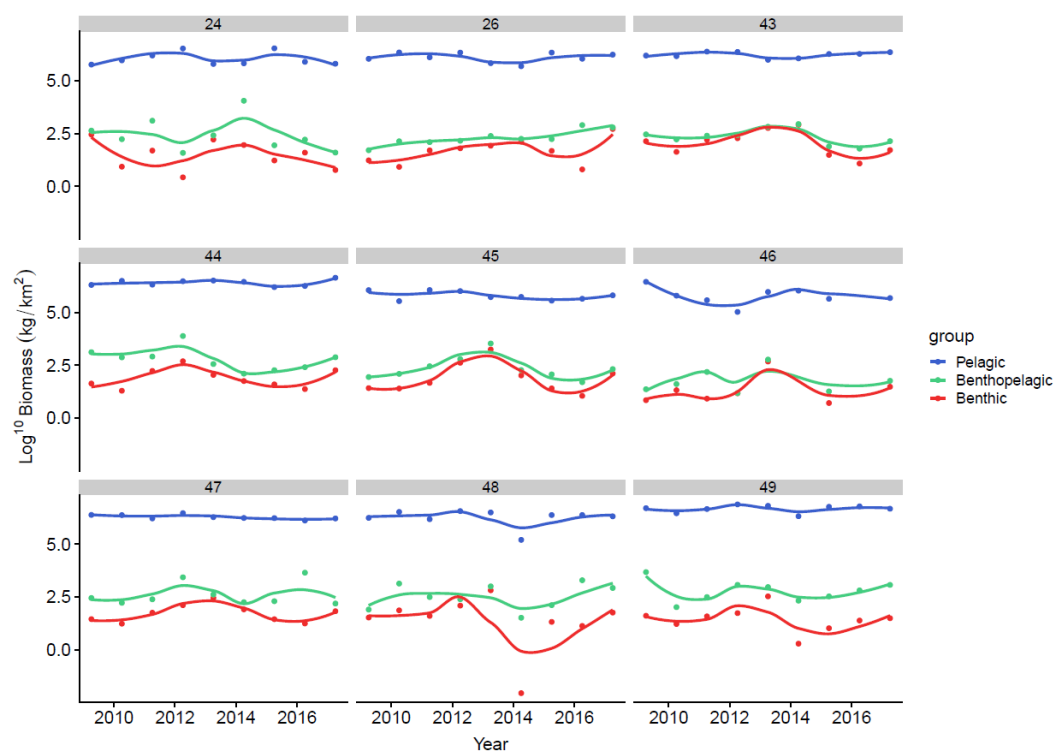


Figur A 4.1: Gjennomsnittlig forhold mellom pelagisk:bentisk biomasse i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer illustrerer mønster i tid ved loess smoother.

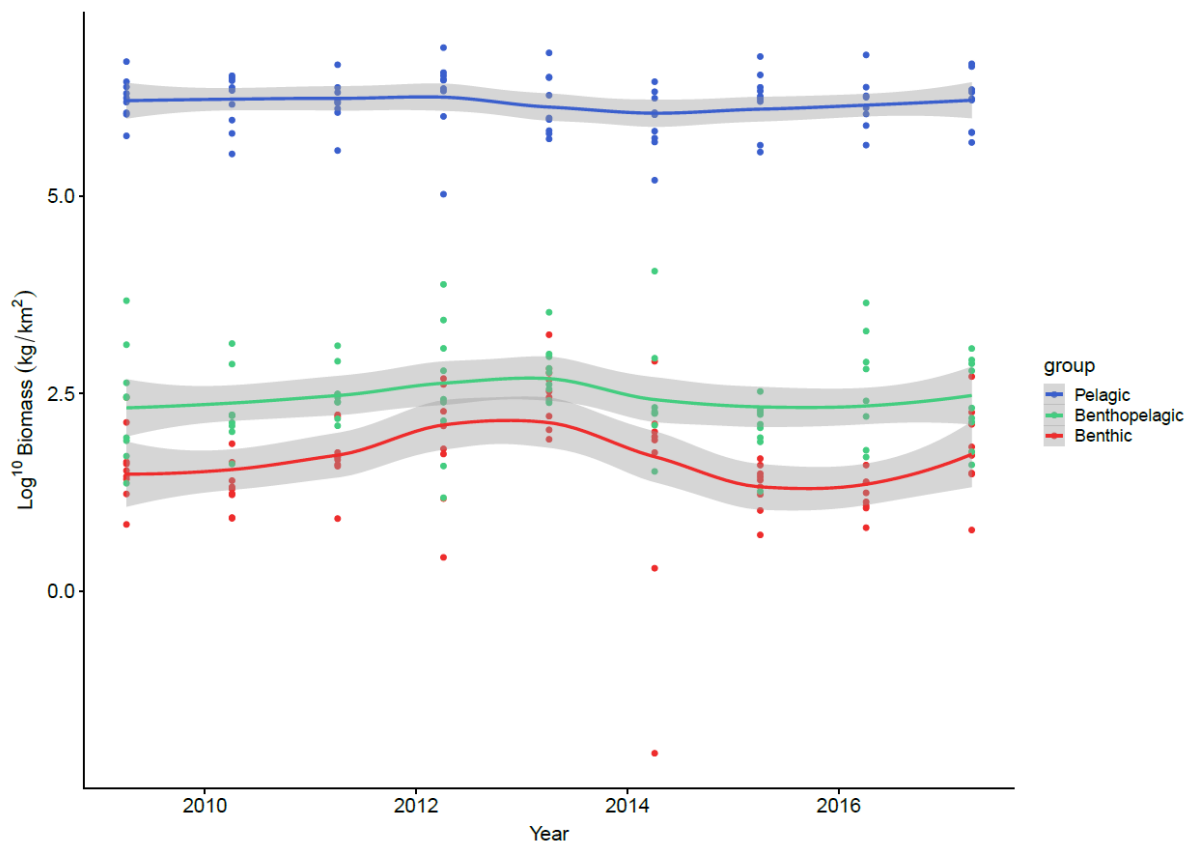
Oppsummering

Forhold mellom pelagisk og bentisk biomasse viser ingen klare trender og mønster varierer mellom polygoner.

4.3.2 Bakgrunnsdata



Figur A 4.2: Gjennomsnittlig biomasse av pelagiske, bento-pelagiske og bentiske organismer i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer illustrerer loess smoother.



Figur A 4.3: Gjennomsnittlig biomasse av pelagiske, bento-pelagiske og bentiske organismer for hele arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer illustrerer loess smoother \pm 95 % konfidensintervall (grå).

4.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Data og deler av metoden for estimering av biomasse bør kvalitetskontrolleres. Data bør sjekkes for autokorrelasjon, og statistisk signifikans i trender og forskjeller mellom perioder bør estimeres. Variasjonsmål for observerte målinger bør også utvikles.

5 Indikator: Bentisk-pelagiske arter

Fenomen: Økende biomasse av bentisk-pelagiske arter

Egenskap: Funksjonelle grupper

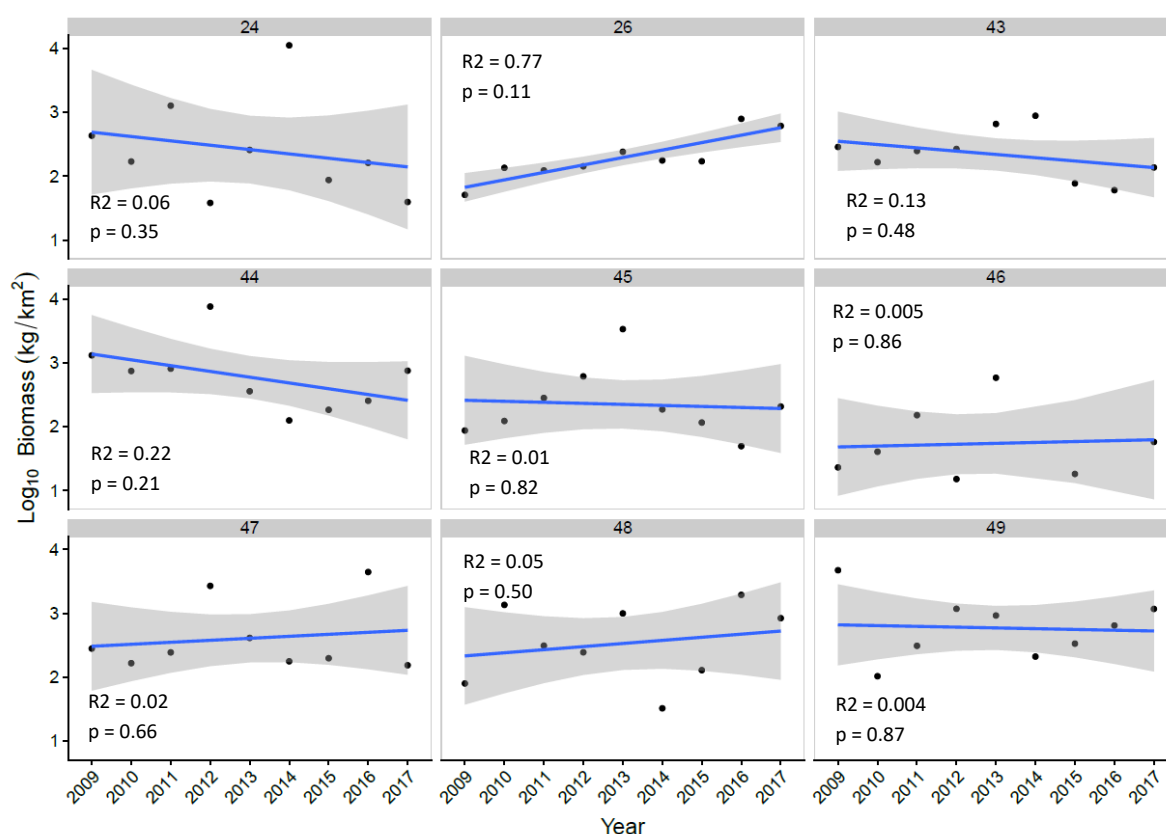
5.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

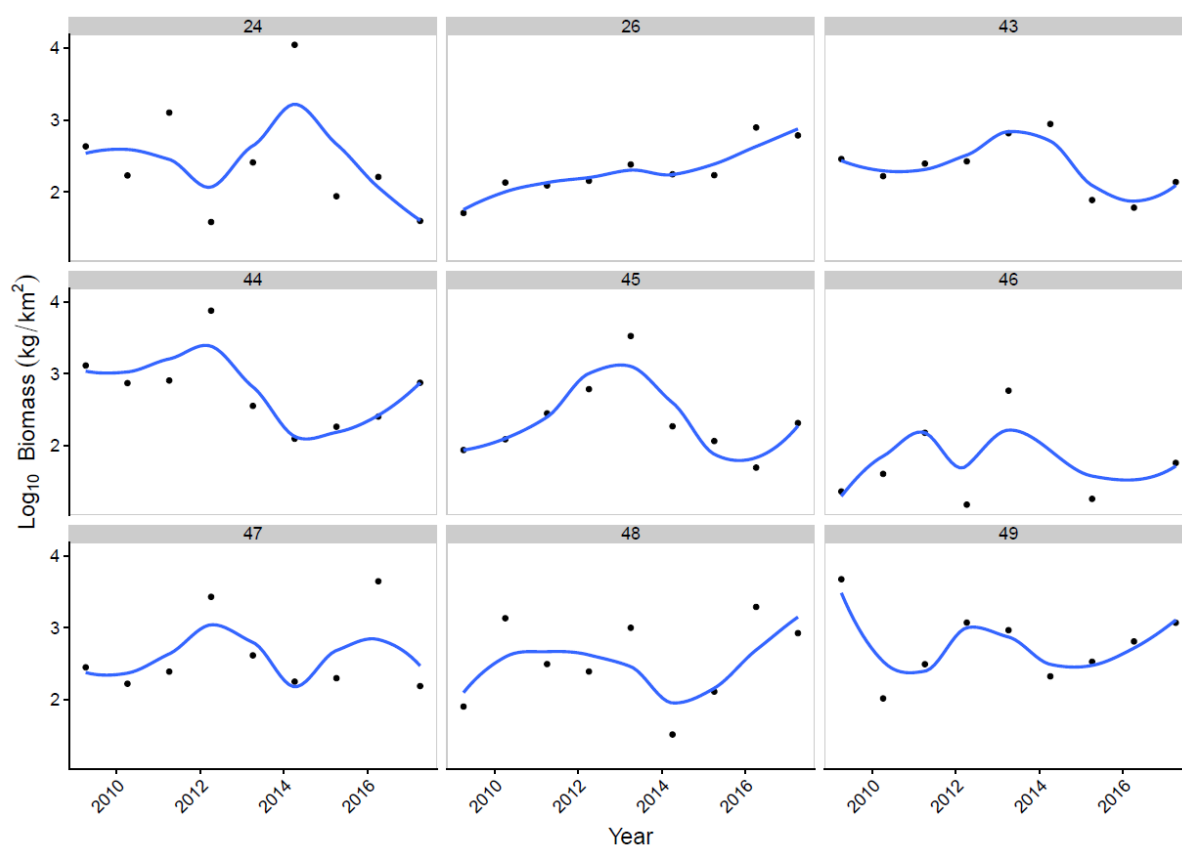
5.2 Supplerende metode

Fangst fra pelagisk og bentisk trål fra samme posisjon er kombinert for å beregne total biomasse av bentisk-pelagiske arter (kg km^{-2}) per polygon. Utvikling i indikatorverdi vurderes ved GAM eller loess smoothing av tidsserien.

5.3 Resultat av analyser



Figur A 5.1: Gjennomsnittlig biomasse av bentisk-pelagiske arter i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer med skyggelagt område illustrerer lineær modell \pm 95 % konfidensintervall (grå).



Figur A 5.2: Gjennomsnittlig biomasse av bentisk-pelagiske arter i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer illustrerer mønster i tid ved loess smoother.

Oppsummering

Biomasse av bentisk-pelagiske arter viser ingen tydelige generelle trender, og mønster i tid varierer mellom polygoner. En økende trend gjennom tidsperioden (2009-2017) observeres i sør-øst (polygon 26), men dette er ikke statistisk signifikant. I flere områder observeres en relativt høy biomasse av bento-pelagiske arter i 2012-2014.

5.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Data og deler av metoden for estimering av biomasse bør kvalitetskontrolleres. Dataene bør sjekkes for autokorrelasjon, og statistisk signifikans av forskjeller mellom perioder bør estimeres. Variasjonsmål for observerte målinger bør også utvikles.

6 Indikator: Bentiske filter predatorer

Fenomen: Minkende biomasse av bentiske filter predatorer

Egenskap: Funksjonelle grupper

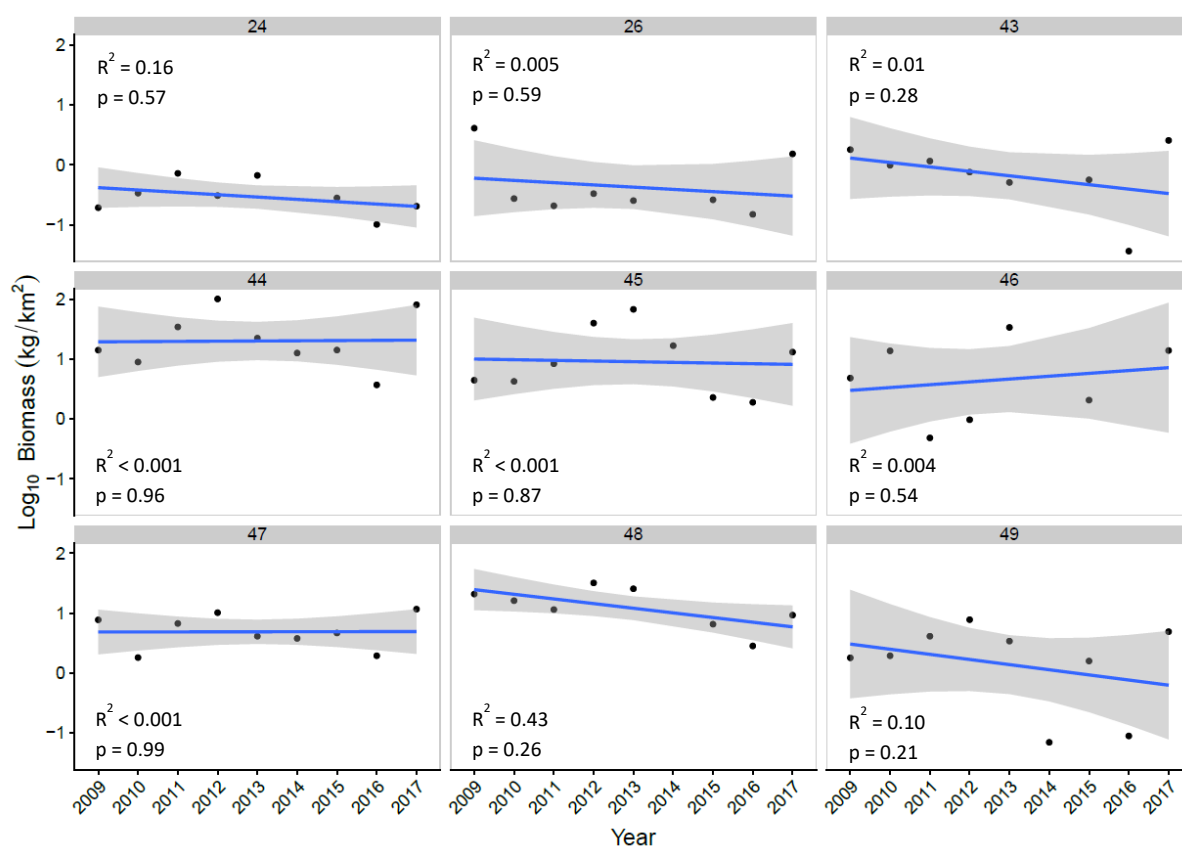
6.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

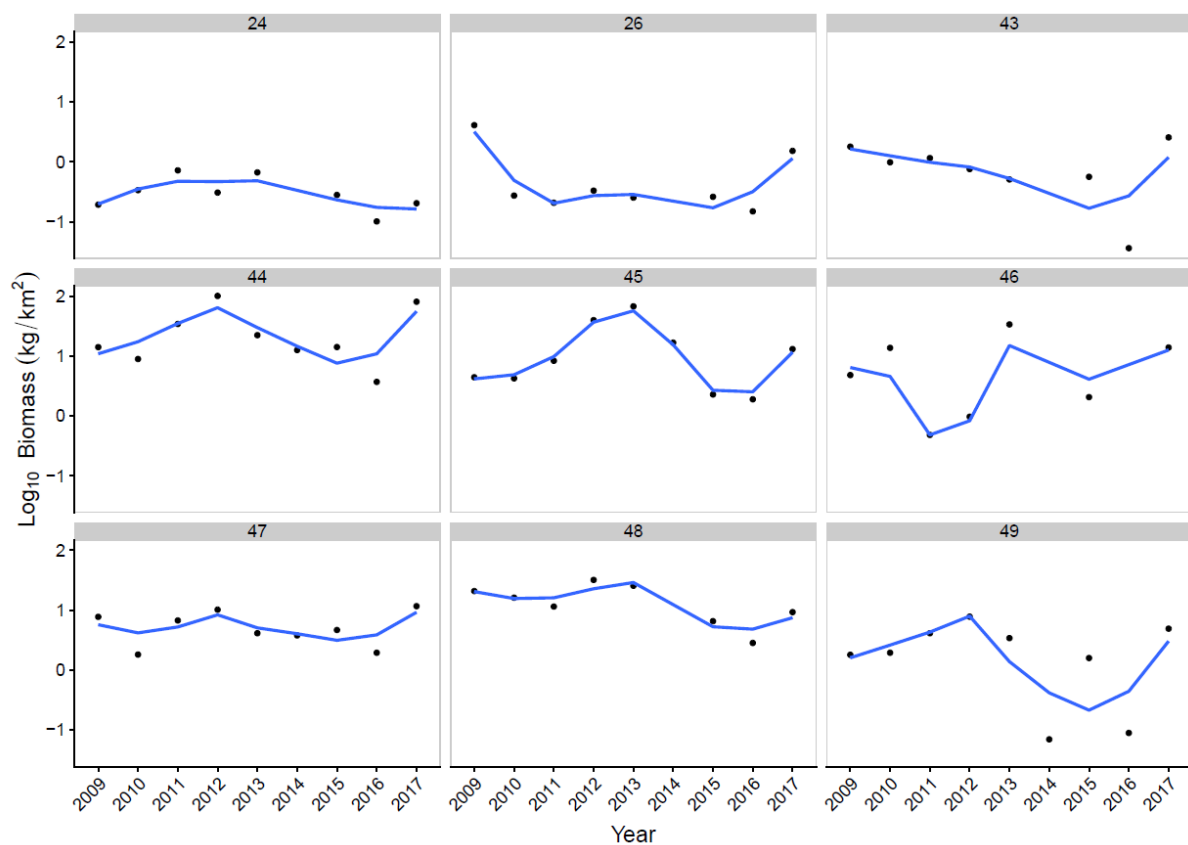
6.2 Supplerende metode

Utvikling i indikatorverdi vurderes ved GAM eller loess smoothing av tidsserien.

6.3 Resultat av analyser



Figur A 6.1: Gjennomsnittlig biomasse av bentiske filterpredatorer i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer med skyggelagt område illustrerer lineær modell \pm 95 % konfidensintervall (grå).



Figur A 6.2: Gjennomsnittlig biomasse av bentiske filterpredatorer i ni polygoner i arktisk del av Barentshavet. Fargede linjer illustrerer mønster i tid ved loess smoother.

Oppsummering

Biomasse av bentiske filtrerende predatorer viser en generell minkende trend, men med varierende mønster mellom polygonene, ingen av dette er statistisk signifikant. Dette gjelder særlig den siste perioden fra 2012 med unntak av siste året i tidsserien, 2017.

6.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Data og deler av metoden for estimering av biomasse bør kvalitetskontrolleres. Dataene bør sjekkes for autokorrelasjon, og statistisk signifikans av forskjeller mellom perioder bør estimeres.

Variasjonsmål for observerte målinger bør også utvikles.

7 Indikator: Arktiske *Calanus*-arter

Fenomen: Minkende andel arktiske *Calanus*-arter

Egenskap: Funksjonelt viktige arter og strukturer

7.1 Supplerende metadata

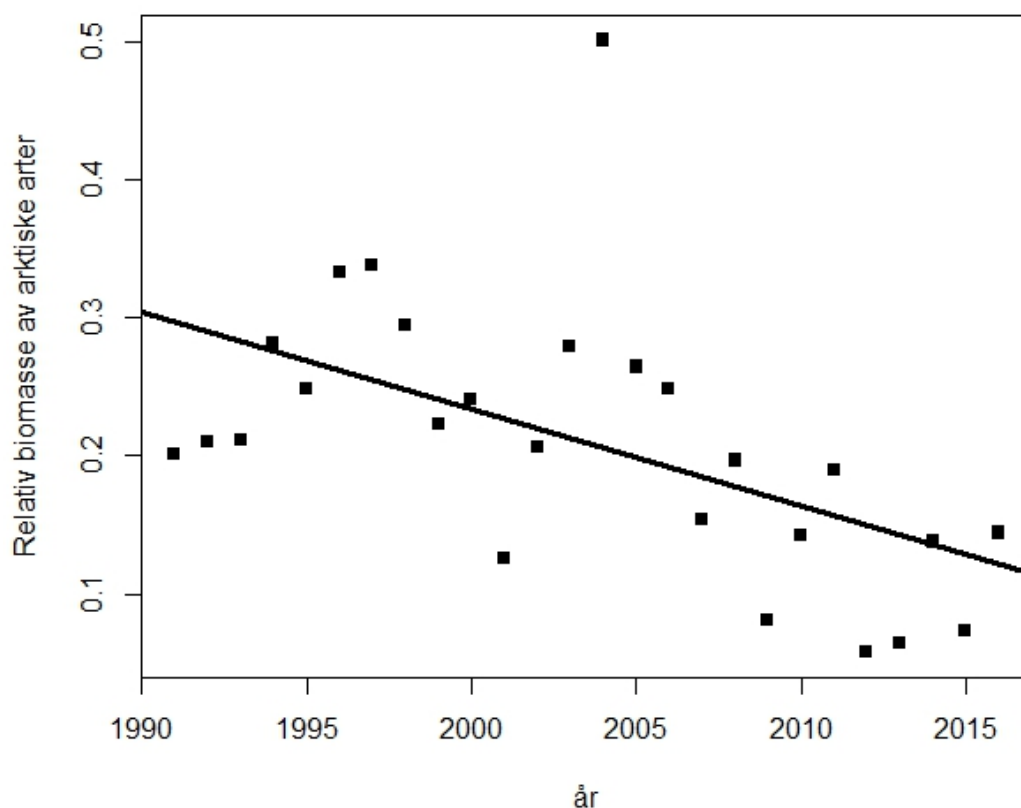
Ikke relevant.

7.2 Supplerende metode

Biomassedata for mesozooplankton kommer for tre størrelsesfraksjoner: 180-1000 μm , 1000-2000 μm og $> 2000 \mu\text{m}$. Voksne individer av de arktiske artene *Calanus glacialis* og *Calanus hyperboreus* er betydelig større enn individer av den atlantiske arten *Calanus finmarchicus*, og det er antatt at den største størrelsesfraksjonen utgjøres av de to førstnevnte artene. Relativ biomasse av arktiske *Calanus*-arter er estimert som biomasse av mesozooplankton $> 2000 \mu\text{m}$ / biomasse av mesozooplankton 180-2000 μm .

7.3 Resultater av analyser

Ratioen av biomasse av arktiske arter relativt til biomasse av atlantisk art har minket fra 1990 til 2016 (lineær regresjon med verdier som uavhengige observasjoner, $t_{24} = -3.1$, $p < 0.01$, Adj $R^2 = 0.26$).



Figur A 7.1: Ratio av biomasse av arktiske *Calanus*-arter i forhold til biomasse av den atlantiske arten. Ratioen er estimert som biomasse av mesozooplankton $> 2000 \mu\text{m}$ / biomasse av mesozooplankton 180-2000 μm .

Oppsummering

Den relative biomassen av arktiske arter er estimert til å ha minket til rundt det halve. Usikkerheten knyttet til denne indikatoren er først fremst relatert til antagelsen om at den største størrelsesfraksjonen kun representerer biomasse av *C. glacialis* og *C. hyperboreus*. Også annen stor plankton kan være representert her, som for eksempel pelagiske amfipoder. Dersom slike innslag er betydelige og varierer over tid, vil det gi en feilkilde som kan ha betydning. Videre vil unge stadier av de to arktiske artene være inkludert i de to minste størrelsesfraksjonene. Under visse forhold kan også dette gi feil i dataene.

7.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Dataene bør sjekkes for autokorrelasjon, og statistisk signifikans av forskjeller mellom perioder bør estimeres. Muligheter for variasjonsmål for observerte målinger bør også undersøkes.

8 Indikator: Polartorsk

Fenomen: Vedvarende nedgang i bestandsstørrelse av polartorsk

Egenskap: Funksjonelt viktige arter og strukturer

8.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

8.2 Supplerende metode

Overvåkingen foretas av Havforskningsinstituttet, i samarbeid med den russiske polarforskningsgrenen i VNIRO (tidligere PINRO). Mer informasjon om arten finnes i Havforskningsinstituttets temaark (<https://www.imr.no/hi/temasider/arter/polartorsk>) og data samt beregninger foretas av ICES Arctic Fisheries Working Group (AFWG.).

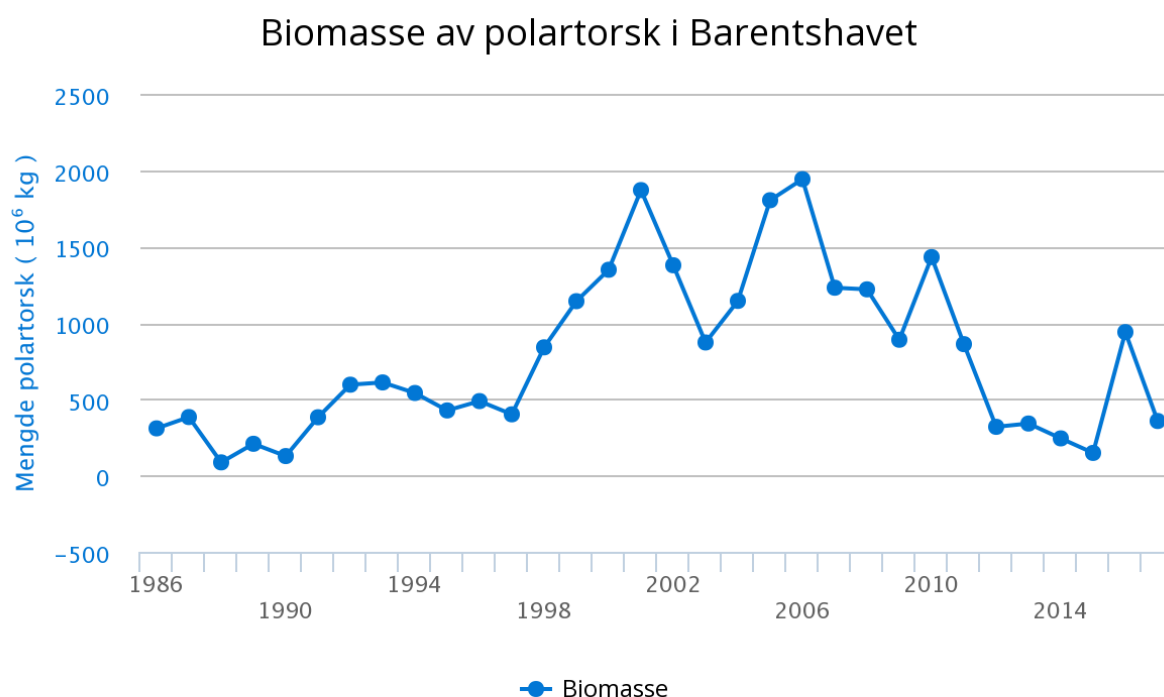
Datainnsamlingen er også beskrevet i: Biomasse av polartorsk i Barentshavet. Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen (MOSJ) (Havforskningsinstituttet 2019; URL: <http://www.mosj.no/no/fauna/hav/polartorsk.html>).

«Polartorskbestanden blir målt ved hjelp av akustikk og tråling under det årlige norsk-russiske økosystemtoktet i Barentshavet. Toktet går langs snitt eller transekt, og innsatsen har typisk vært relativt jevnt fordelt over Barentshavet, men dekninga går ikke langt nok nord til å få med seg hele utbredelsesområdet til polartorsken.

Standard metodikk for mengdeberegning ut fra akustiske tråltokt blir brukt. Denne går ut på at akustiske registreringer fra ekkolodd blir allokert til målart ut fra deres akustiske «signatur» (ekkestyrke, respons på ulike frekvenser osv.), samt trålfangster. De akustiske verdiene blir så konvertert til biomasse ved hjelp av målstyrken til fisk av målarten, dvs. hvor mye ekko fisken i gjennomsnitt vil gi. Dette er lengdeavhengig. Det er naturlig nok flere kilder til usikkerhet knytta til denne metodikken, både til målinga i seg selv, deteksjon, tolking, konvertering fra akustikk til mengde og graden av dekning. En gjennomgang av slik usikkerhet for sild i norske farvann er beskrevet i (Løland et al. 2007).

En grunnleggende forutsetning for å oppnå et totalestimat for en bestand er at hele utbredelsesområdet er dekket. Dette er ikke tilfellet for polartorsk i Barentshavet. Estimater kan derfor ikke regnes som et totalestimat for bestanden, men et estimat for den delen av bestanden som er i Barentshavet om høsten.»

8.3 Resultat av analyser



Data: Havforskningsinstituttet

Figur A 8.1: Utvikling i biomasse av polartorsk som oppholder seg i Barentshavet om høsten fra 1986 til 2017. (Havforskningsinstituttet (2019). Biomasse av polartorsk i Barentshavet. Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen (MOSJ). URL: <http://www.mosj.no/no/fauna/hav/polartorsk.html>)

Oppsummering

Den seneste 5-års perioden har det vært en lav bestand av polartorsk i Barentshavet. Det vurderes at en polartorskbestand på et slikt lavt nivå vil kunne ha negative konsekvenser for predatorer, som sjøpattedyr som er avhengige av polartorsk som byttedyr særlig gjennom vinteren, når lodde ikke er tilstede.

Det er også knyttet en usikkerhet til denne vurderingen, da det er stor fluktusjon i biomasse av polartorsk når man ser på hele tidsperioden. Dette kan skyldes både en endring i bestandsnivå og en endring i utbredelse. Målingene blir gjort i hele Barentshavet, men polartorsken vil også være utbredt lenger nord og øst enn det området som er dekket av toktene.

8.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Det bør undersøkes om det vil være mulig å bruke data på romlig fordeling av polartorsk for perioden 2004-nå fra økosystemtokt i Barentshavet. Muligheter for variasjonsmål i bestandsestimatene bør undersøkes.

9 Indikator: Lodde

Fenomen: Økt grad av ustabilitet i bestandsstørrelse av lodde

Egenskap: Funksjonelt viktige arter og strukturer

9.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

9.2 Supplerende metode

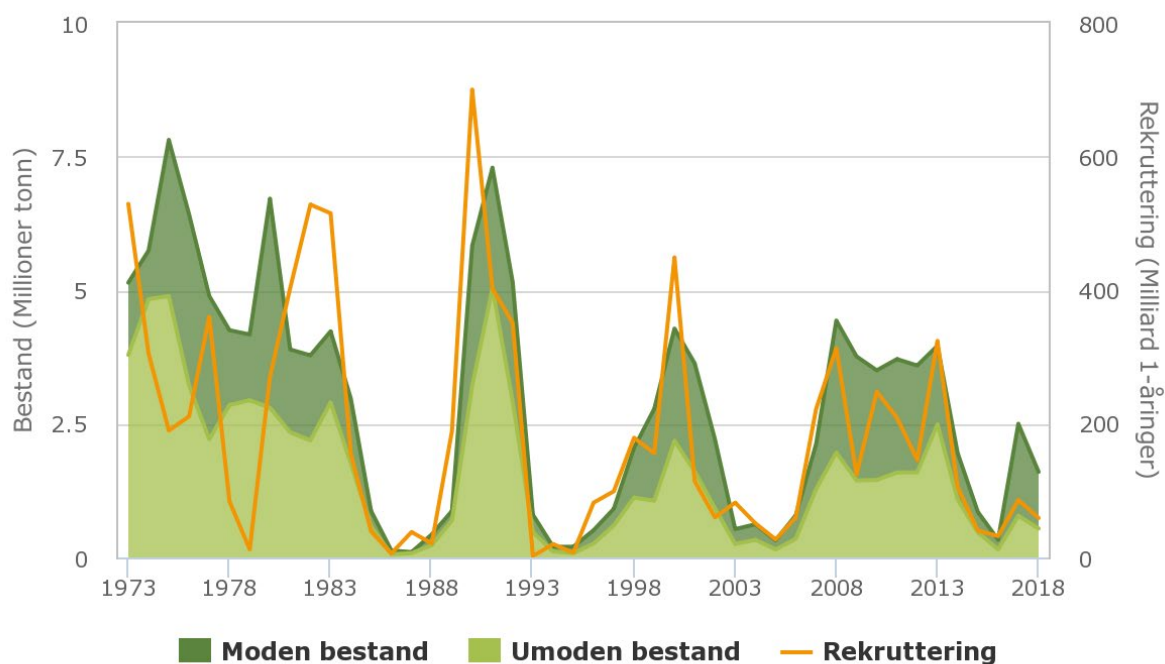
Indikatoren er basert på internasjonal rådgivning fra ICES (AFWG). Overvåkingen foretas av Havforskningsinstituttet, i samarbeid med den russiske polarforskningsgrenen i VNIRO (tidligere PINRO). Mer informasjon om arten finnes i Havforskningsinstituttets temaark (<https://www.imr.no/hi/temasider/arter/lodde--barentshavet>). Datainnsamlingen er også beskrevet på miljostatus.no:

«Bestandsvurderingen og utviklingen er basert på det årlige norsk-russiske fellestoktet i september. Dette er et akustisk tråltokt som stort sett dekker hele loddebestanden, og som gir et estimat på mengden av lodde og sammensetningen av bestanden. Mengdeestimatet blir gjort ved Havforskningsinstituttet i programvaren Stox. Mengdeanslaget blir brukt som et absolutt estimat på bestanden om høsten, men siden fiskeriet foregår påfølgende vinter og tidlig vår, blir bestanden fremskrevet seks måneder i tid fra tidspunktet målingene skjer. Dette skjer ved hjelp av modellen Bifrost som benytter mengdeestimatet samt estimater på modning, vekst og dødelighet (inkludert beitetrykk av torsk basert bestandsstørrelse, størrelsessammensetning og mageprøver) til å parameterisere ulike framskrivningsscenarier som blir kjørt i programmet CapTool. Vurdering av usikkerhet i toktestimat og andre inputdata er inkludert i disse modellkjøringene. I tillegg benyttes FangstFisk for å tilrettelegge fangstdata.»

I vurderingen av om fenomenet har inntruffet eller ikke legges det størst vekt på lengde på perioder med lav moden bestand, da dette er blitt koblet til høyt fisketrykk (Gjøsæter et al. 2009). Lange perioder med vedvarende lav bestand vil være forbundet med dårligere økologisk tilstand. Også varighet av perioder med høy bestand vurderes, siden disse periodene forventes å være kortere ved høyt fisketrykk (Gjøsæter et al. 2009).

9.3 Resultat av analyser

Loddebestand i Barentshavet



Kilde: Havforskningsinstituttet Lisens: Norsk Lisens for Offentlige Data (NLOD)

Figur A 9.1: Bestandsstørrelse av lodde i Barentshavet, fordelt på moden og umoden bestand. I tillegg vises antall rekrutter som en oransje linje. For vurdering av økologisk tilstand legges det størst vekt ved utvikling av moden bestand. (kilde: miljøstatus.no)

Oppsummering

Loddebestanden i Barentshavet har hatt store svingninger og kollapser, som tidligere har hatt dominoeffekter i økosystemet. Den seneste kollapsen har ikke hatt de samme økosystemkonsekvensene, muligens på grunn av bedre tilgang til alternative byttedyr for predatorer.

9.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

På grunn av loddebestandens store dynamikk, der bestanden kan falle med 90 % fra ett år til neste, er ikke enkeltårsdata egnet som indikatorer. For å jevne ut den dramatiske dynamikken men likevel beholde muligheten for å se på endring av varighet av topper og bunner i bestandskurven over tid, er en kumulativ indeks et bedre alternativ. Lodden blir fire til fem år, så et fireårs kumulativ snitt av årlig moden biomasse er foreslått. Dette vil fange opp historikk tilnærmet lik en loddegenerasjon.

Det bør undersøkes om det vil være mulig å bruke data på romlig fordeling av lodde for perioden 2004-nå fra økosystemtokt i Barentshavet. Muligheter for variasjonsmål i bestandsestimatene bør undersøkes.

10 Indikator: Nordøstarktisk torsk

Fenomen: Vedvarende endring i bestandsstørrelse av NØA torsk

Egenskap: Funksjonelt viktige arter og strukturer

10.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

10.2 Supplerende metode

Indikatoren er basert på internasjonal rådgivning fra ICES (AFWG). Overvåkingen foretas av Havforskningsinstituttet, i samarbeid med den russiske polarforskningsgrenen i VNIRO (tidligere PINRP). Mer informasjon om arten finnes i Havforskningsinstituttets temaark (<https://www.imr.no/hi/temasider/arter/torsk-nordarktisk-skrei>). Datainnsamlingen er også beskrevet i: Biomasse av polartorsk i Barentshavet. Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen (MOSJ) (Havforskningsinstituttet 2019; URL: <http://www.mosj.no/no/fauna/hav/torsk.html>):

«I beregningene av torskebestandens størrelse, brukes metoden XSA (eXtended Survivors Analysis) (Darby and Flatman 1994), som er en standardmetode brukt av ICES. I beregningene inngår foruten fangststatistikken (antall fisk fanget fordelt på aldersgrupper) 4 serier av tallrikhets-indekser (relative mål) fra forskningstokt, og 1 serie av fangst per enhet fangsttinnssats fra russisk kommersielt trålfiske. Toktindeksene som inngår er bunntålindeksen fra det norsk-russiske toktet i Barentshavet i februar, og en kombinasjon av den akustiske indeksen fra dette toktet og den akustiske indeksen fra gytebestandsundersøkelsene i Lofotenområdet i mars/april. Videre inngår bunntålindeksen fra det russiske toktet i Barentshavet i november/desember. Kannibalisme (antall torsk spist av torsk) er også inkludert i beregningene.

Havforskningsinstituttet utvikler en ny bestandsberegningsmodell – Fleksibest (Frøysa et al. 2002). Tidlige versjoner av denne modellen er brukt på forsøksbasis under ICES sine bestandsvurderinger de 3 siste årene, og modellen kan etter hvert bli et hovedverktøy for bestandsvurdering av nordøstarktisk torsk.

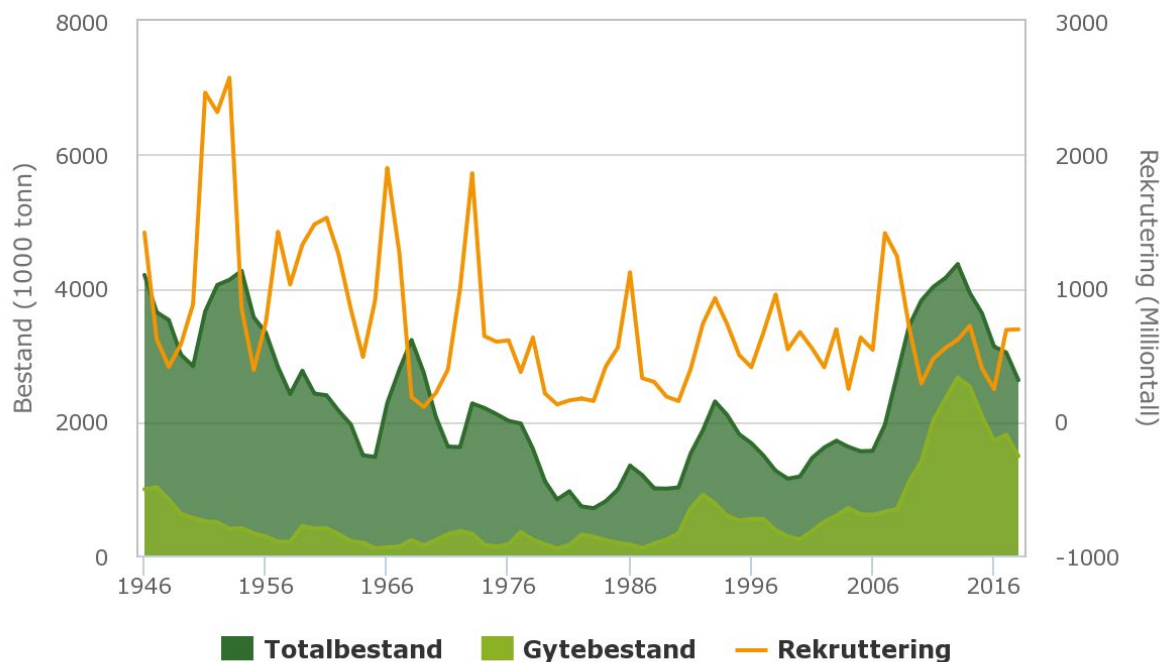
Modellen er relativt rigid og gir ikke mulighet til å ta inn informasjon om usikkerhet i tokt- og fangstdata. Den antar blant annet at antall fisk fanget fordelt på aldersgrupper er eksakt, noe som ikke er tilfelle. (Både rapporteringen av total fangst i tonn og aldersfordelingen kan være beheftet med usikkerhet/bias.)

Den nordøstarktiske torskebestandens utbredelsesområde ekspanderte i den varme perioden etter 2004. Datagrunnlaget både fra forskningstoktene og fiskeriene er påvirket av dette. Dette har trolig bidratt til økende usikkerhet i bestandsberegningene de siste årene.»

I tillegg brukes utbredelseskart fra økosystemtokt i Barentshavet i august-september for å vurdere i hvor stor grad torsk befinner seg i den arktiske delen av Barentshavet (van der Meeren and Prozorkevich 2019).

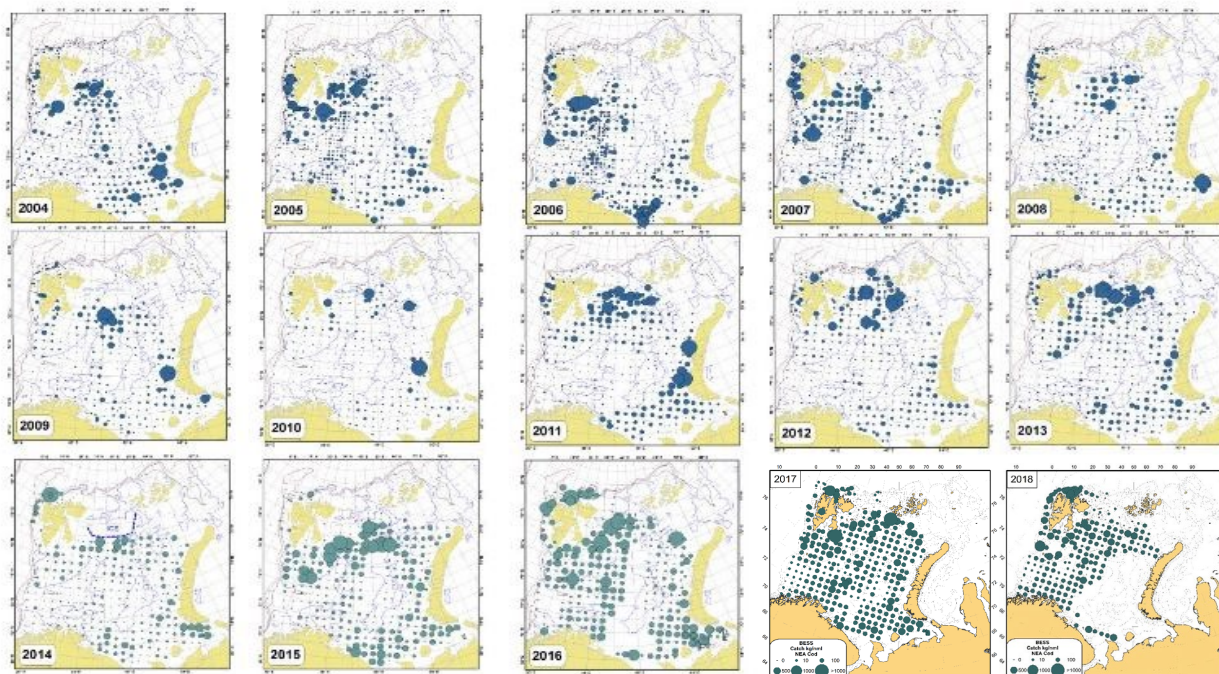
10.3 Resultat av analyser

Bestand av nordøstarktisk torsk



Kilde: Havforskningsinstituttet Lisens: Norsk Lisens for Offentlige Data (NLOD)

Figur A 10.1: Bestandsstørrelse av NØA torsk i Barentshavet, fordelt på totalbestand og gytebestand. I tillegg vises antall rekrutter som en oransje linje. (kilde: miljøstatus.no).



Figur A 10.2: Romlig utbredelse av NØA torsk i Barentshavet, basert på felles norsk-russisk økosystemtokt i august-september. (van der Meeren and Prozorkevich 2019).

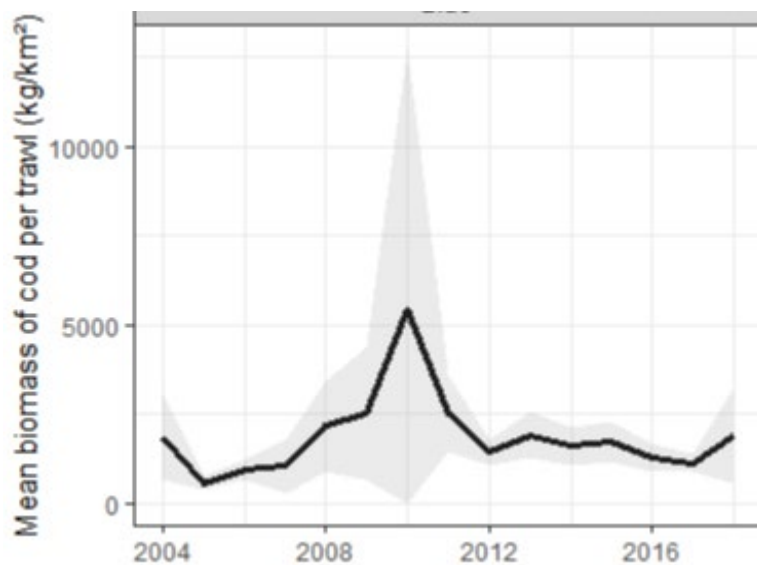
Oppsummering

Selv om det fra 2013 og til nå har vært en nedgang i torskebestanden i Barentshavet, er bestanden fortsatt på et høyt nivå, og langt over langtidsgjennomsnittet fra 1946-2017. Basert på romlige data fra 2004-2018 ser det ut til at det er økt mengde torsk i den arktiske delen av Barentshavet i den siste halvdelen av perioden. Det vurderes derfor til at det er god evidens for at endringer av biologisk betydning har skjedd.

10.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Stor torsk har bredest diett og vandrer lengst, så romlig fordeling av stor torsk er av særlig stor interesse. I arktisk del av Barentshavet kan det antas at det er stor torsk som dominerer. Dette kan testes men dataene vil kreve opparbeiding av nærmest rådata fra økosystemtoktdataene.

Det bør undersøkes om det vil være mulig å bruke data på romlig fordeling av torsk for perioden 2004-nå fra økosystemtokt i Barentshavet. Foreløpige analyser av gjennomsnittlig biomasse / km² i hele den arktiske delen av Barentshavet viser ingen klare trender.



Figur A 10.3: Gjennomsnittlig biomasse (kg/km²) av torsk i arktisk del av Barentshavet. Grå skraverings er 95% konfidensintervall og representerer romlig variasjon. Figuren er basert på data fra økosystemtokt i Barentshavet, og bruker et datasett der pelagiske og bentiske tråltrekk er summert på hver stasjon.

11 Indikator: Størrelse på temperaturnisjer

Fenomen: Minkende andel arktiske vannmasser

Egenskap: Landskapsøkologiske mønstre

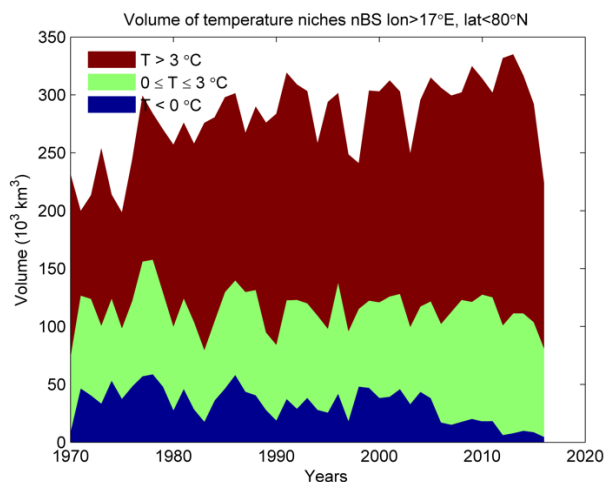
11.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

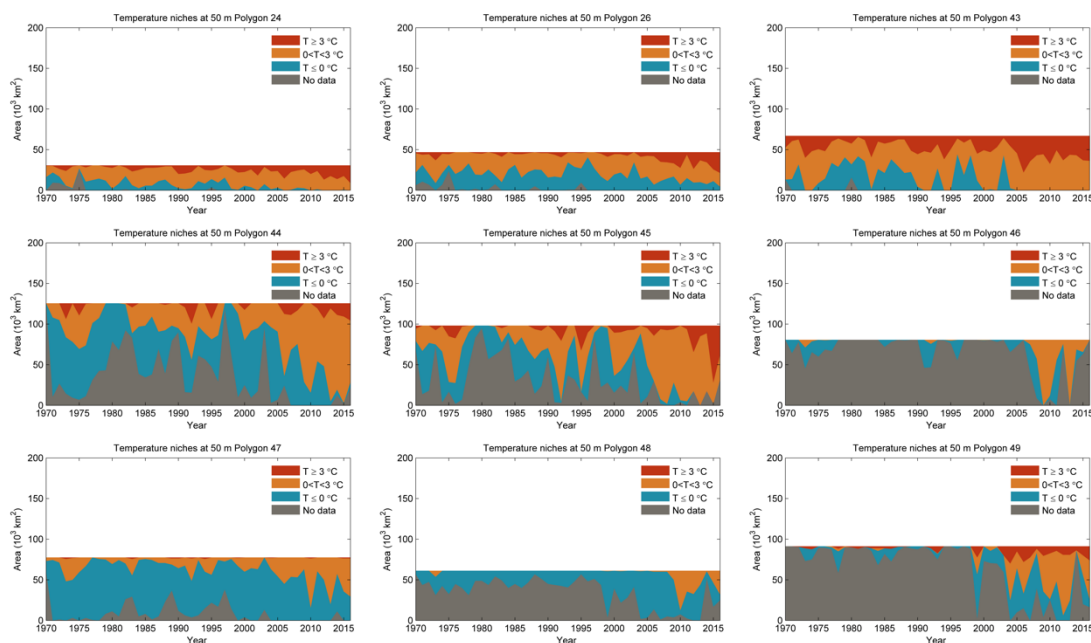
11.2 Supplerende metode

Temperaturnisjer er beregnet for hele det dekte volumet av arktisk del av Barentshavet sør for 80°N og øst for 17°E. Det faktiske habitatet er i tre dimensjoner og derfor vises dette helhetlige bildet av habitatet med arktisk vann med temperatur $<0^{\circ}\text{C}$. Dette gir samtidig et bilde av både økningen i dekt areal/volum av det nordlige Barentshavet, samt nedgangen i arktisk vann og økningen i blandede og atlantiske vannmasser gjennom perioden 1970–2016 (Figur A 11.1). Det er sannsynlig at en stor del av det ikke dekte arealet/volumet i perioden 1970–1990 var arktisk vann ettersom denne vannmassen er knyttet til sjøis og at forskingsfartøyene ikke gikk inn i disse delene av Barentshavet grunnet tilstedeværelse av sjøis. Utviklingen i hver polygon er vist for 50 m dybde ettersom dette er det typiske kjernedypet for arktisk vann (Lind et al. 2016). Usikkerhetsestimat på middelverdier er oppgitt som standardfeil, lik forholdet mellom standardavvik og \sqrt{n} for den aktuelle tidsperioden, der n er antall år i tidsperioden.

11.3 Resultat av analyser



Figur A 11.1: Temperaturnisjer for hele den arktiske delen av Barentshavet (hele volumet som er dekt av data).



Figur A 11.2: Temperaturnischer for hver polygon i den arktiske delen av Barentshavet ved 50 m dybde. Det er sannsynlig at mye av arealet som er uten data tilsvarer arktiske vannmasser, jmf. metode over.

Oppsummering

Det er en tydelig, kraftig nedgang i mengden arktisk vann med $T < 0^{\circ}\text{C}$ etter 2005 for den arktiske delen av Barentshavet sett under ett (Figur A 11.1). Samtidig er det en økning i mengden blandede vannmasser med $0^{\circ}\text{C} < T < 3^{\circ}\text{C}$ og en kraftig økning av Atlantisk vann med $T > 3^{\circ}\text{C}$. Noe av denne økningen i Atlantisk vann kan skyldes at man dekker en større del av Barentshavet de seneste årene, men dette kan høyst sannsynlig ikke forklare hele økningen.

Indikatoren dokumenterer at det på det meste har vært opp mot minst $59\,000\text{ km}^3$ vann med $T < 0^{\circ}\text{C}$ i Barentshavet, med et middel på $39\,000 \pm 2000\text{ km}^3$ i perioden 1970–1990. Denne har sunket til om lag en femtedel, $11\,000 \pm 1700\text{ km}^3$ de seneste årene (Figur A 11.1).

Utviklingen i hver polygon viser tap av hele habitatet med $T < 0^{\circ}\text{C}$ i polygoner 24, 43, 44 og 45 (Figur A 11.2). Det har også vært en nedgang i dekning av dette habitatet i polygon 26, og tendenser til større svingninger de siste årene i polygoner 46, 47, 48 og 49. Dette er områder som har hatt mye arktisk vann med $T < 0^{\circ}\text{C}$ tradisjonelt sett. Nedgang og bortfall av habitat med $T < 0^{\circ}\text{C}$ har i hovedsak foregått i perioden etter om lag 2005.

11.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Indikatoren kan utvikles ved å kombinere den med andre forhold som også er vesentlig for det arktiske habitatet, som sterk lagdeling, isdekke og lav grad av næringssalter tilgjengelig for primærproduksjon. Det bør også gjøres statistisk analyse av trender.

12 Indikator: Utbredelse av havis

Fenomen: Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis

Egenskap: Landskapsøkologiske mønstre og Abiotiske forhold

12.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

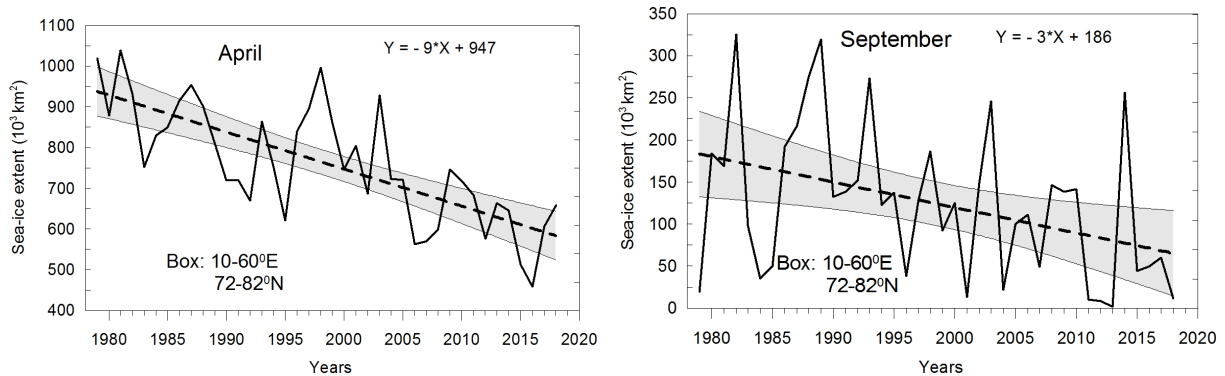
12.2 Supplerende metode

The used dataset is generated from brightness temperature data derived from the following sensors: the Nimbus-7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR), the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) -F8, -F11 and -F13 Special Sensor Microwave/Imagers (SSM/I), and the DMSP-F17 Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS). The data is provided in the polar stereographic projection at a grid cell size of 25 x 25 km. The product is designed to provide a consistent time series of sea ice concentrations (the fraction of ocean area covered by sea ice) spanning the coverage of several passive microwave instruments. The data is generated using the NASA Team algorithm developed by the Oceans and Ice Branch, Laboratory for Hydrospheric Processes at NASA Goddard Space Flight Center. The data include gridded daily (every other day for SMMR data) and monthly averaged sea ice concentrations. The present indicator of sea ice only includes monthly averaged data.

Sea ice concentration is the percent areal coverage of ice within the data element (grid cell). Sea ice extent is the integral sum of the areas of all grid cells with at least 15% ice concentration, while sea ice area is the integral sum of the product of ice concentration and area of all grid cells with at least 15% ice concentration, i.e. sum of the area of each cell multiplied by the fractional concentration for that cell (see eg. Comiso 2006). A cut-off at 15% ice concentration is commonly used for delineating the ice edge, as it provides the most consistent agreement between satellite and ground observations (eg. Comiso 2012).

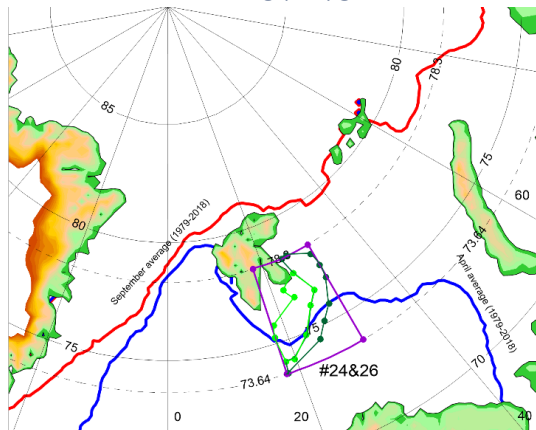
The average area covered by sea ice in April (sea ice maximum) and September (sea ice minimum) is expressed as % of total area for a squared box (oriented along latitudes and longitudes) covering the entire Atlantis-polygon. Time-series of inter-annual variability of sea ice are (%) are plotted for a box covering the whole Barents Sea, and for separate polygons. Exceptions are polygons 48 and 49, and 24 and 26, for which data are analysed for pairs of polygons due to their small size and irregular shape. Trends for the whole period (1979-2018) were analysed using least-squares linear regression analysis.

12.3 Resultat av analyser



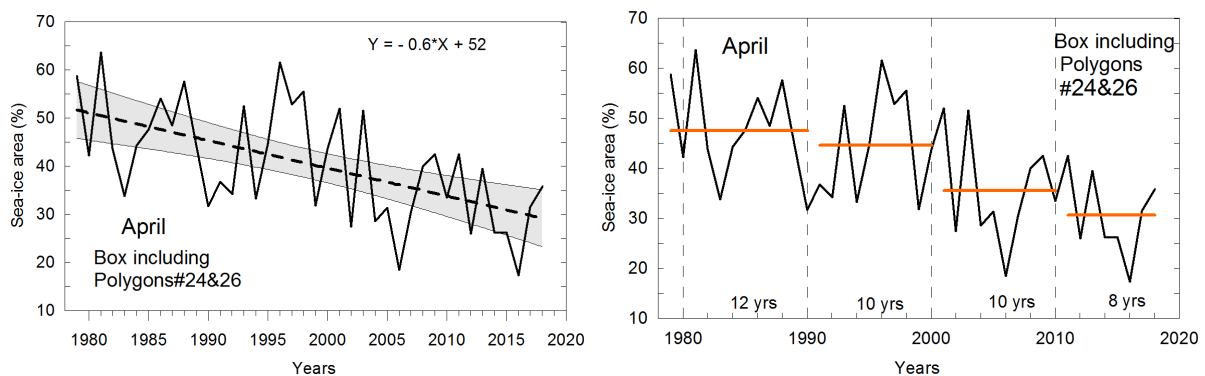
Figur A 12.1: Inter-annual variability of sea ice extent (15%) in a box covering the entire Barents Sea (10-60°E; 72-82°N) for the period of 1979-2018 in April and September. Linear trends (dashed lines) with 95% confidence intervals (grey shading) are shown. The rates of decadal decrease in sea ice extent in the Barents Sea were -9.5% and -16% in April and September respectively.

12.3.1 Box including polygons 24 & 26

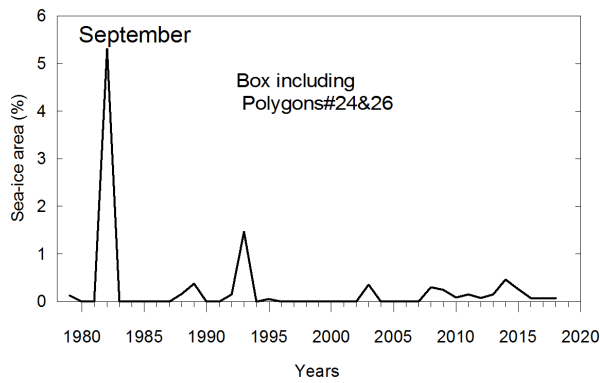


Sea-ice area calculation domain (box around polygons#24&26) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line). The size of polygons#24&26 is about 92 000 sq. km.

The size of box#24&26 is about 160 000 sq. km.



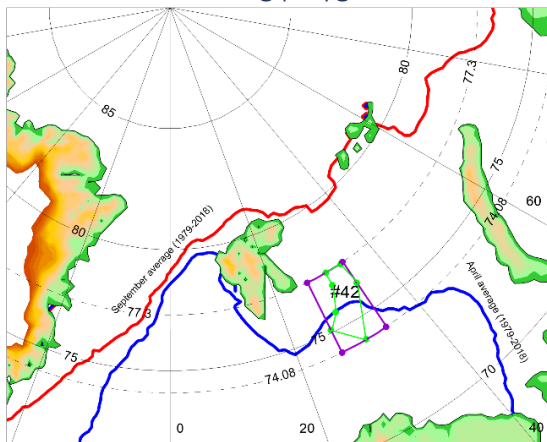
Figur A 12.2: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -11%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel).



Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

Figur A 12.3: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

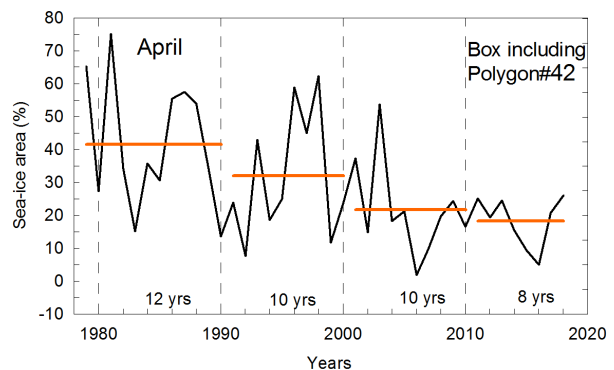
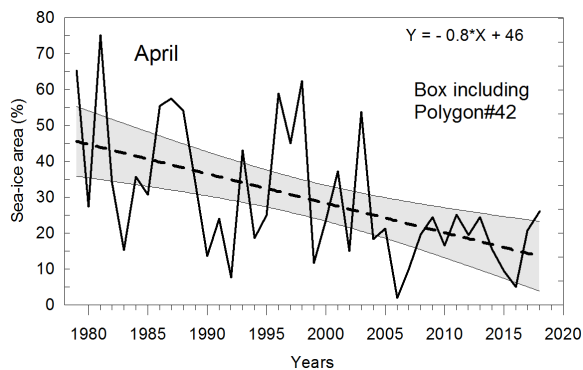
12.3.2 Box including polygon 42



Sea-ice area calculation domain (box around polygon#42) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line).

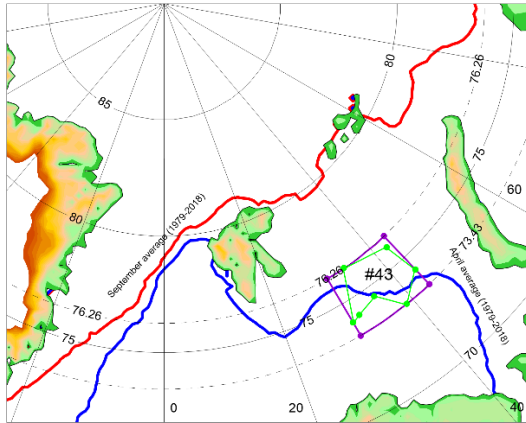
The size of polygon#42 is about 38 000 sq. km.

The size of box#42 is about 75 000 sq. km.



Figur A 12.4: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -18%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel). In September there were no sea ice present in this area.

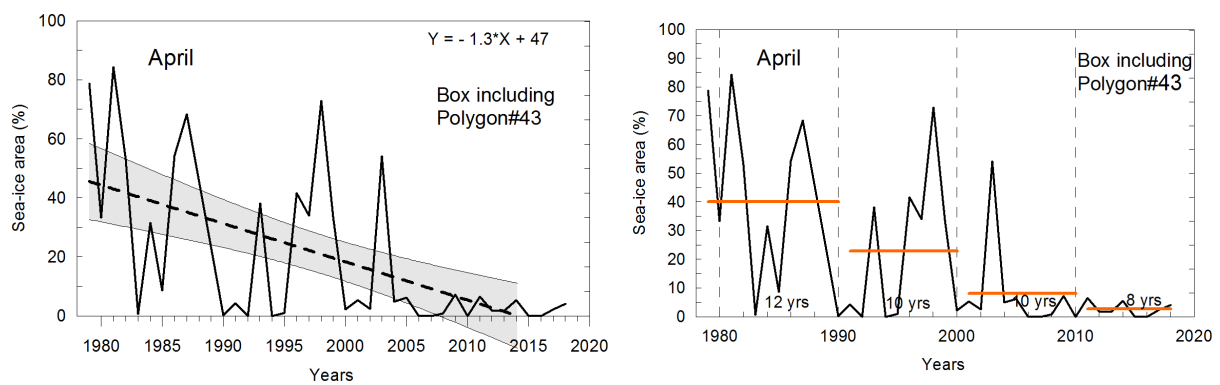
12.3.3 Box including polygon 43



Sea-ice area calculation domain (box around polygon#43) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line).

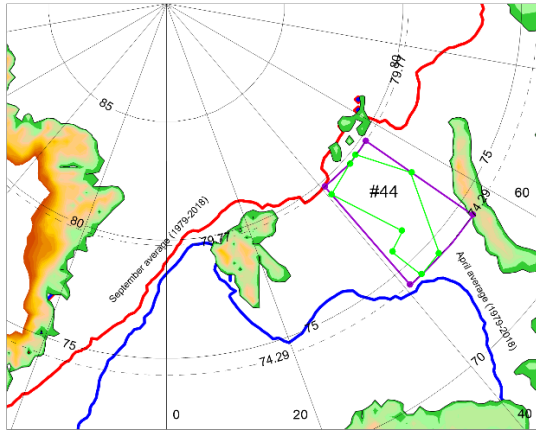
The size of polygon#43 is about 70 000 sq. km.

The size of box#42 is about 110 000 sq. km.



Figur A 12.5: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -28%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel). In September there were no sea ice present in this area. In the last part of the period, sea ice was almost absent from this area also in April, and the linear model used showed deviation from the assumption of normally distributed residuals.

12.3.4 Box including polygon 44



Sea-ice area calculation domain (box around polygon#44) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line).

The size of polygon#44 is about 130 000 sq. km.

The size of box#44 is about 210 000 sq. km.

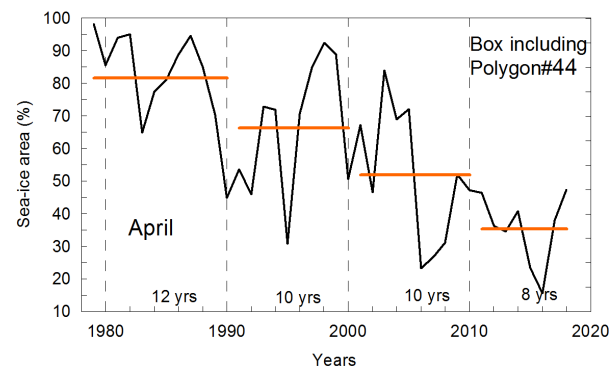
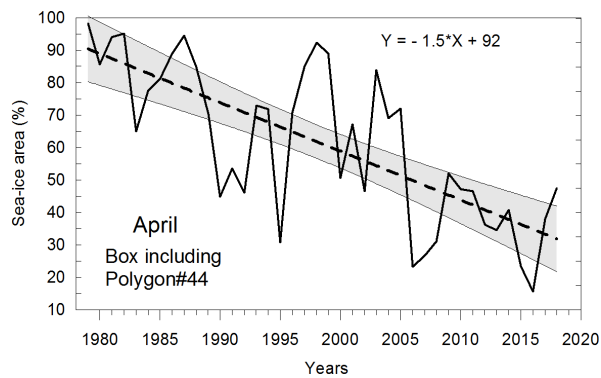
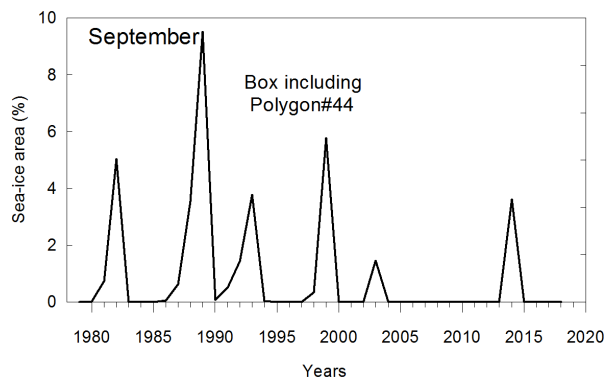


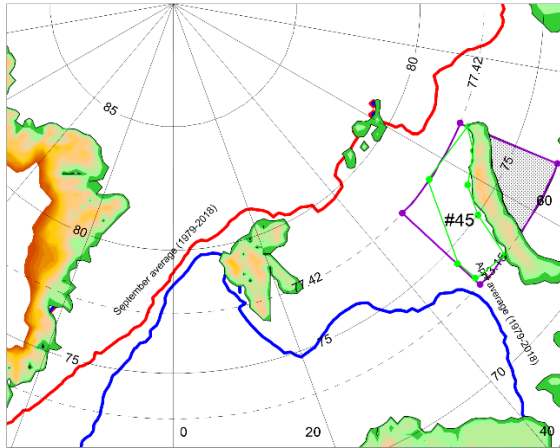
Figure A 12.6: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -16%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel).



Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

Figure A 12.7: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

12.3.5 Box including polygon 45



Sea-ice area calculation domain (box around polygon#45) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line). Grey shading shows the area which was excluded from calculation domain.

The size of polygon#45 is about 100 000 sq. km.

The size of box#45 is about 130 000 sq. km.

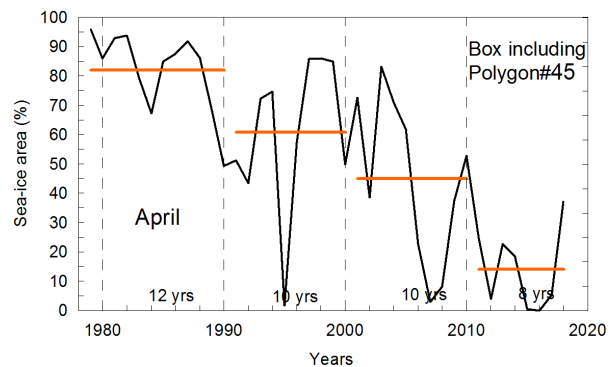
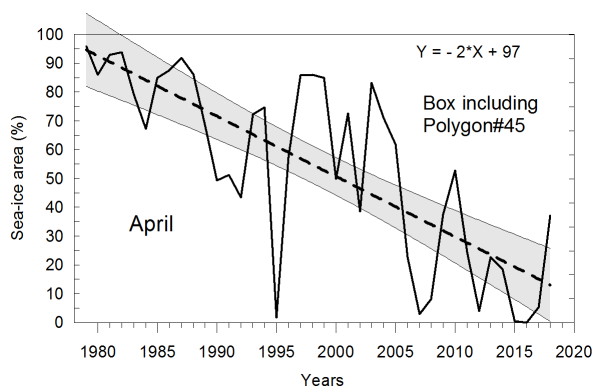
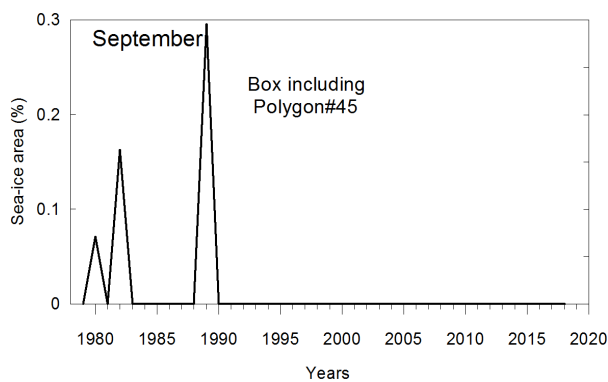


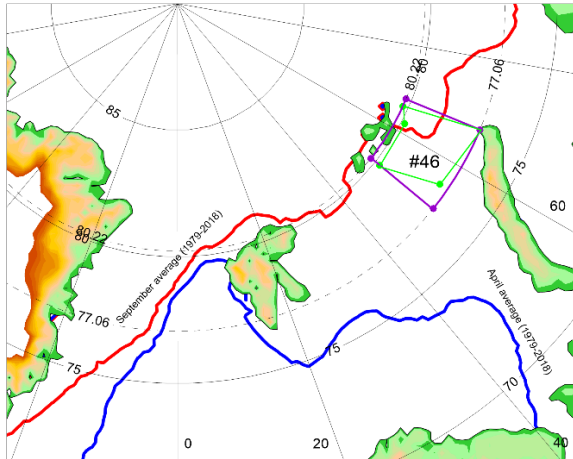
Figure A 12.8: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -22%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel).



Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September

Figure A 12.9: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

12.3.6 Box including polygon 46



Sea-ice area calculation domain (box around polygon#46) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line).

The size of polygon#46 is about 85 000 sq. km.

The size of box#46 is about 120 000 sq. km.

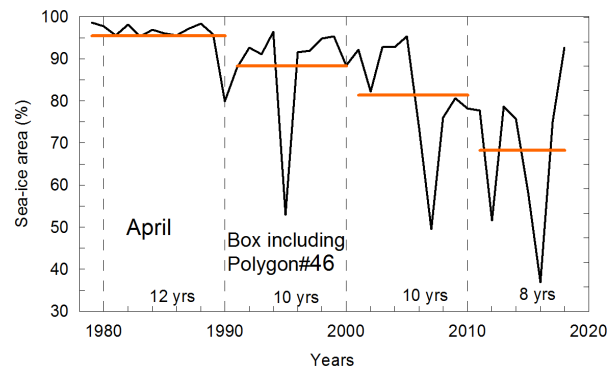
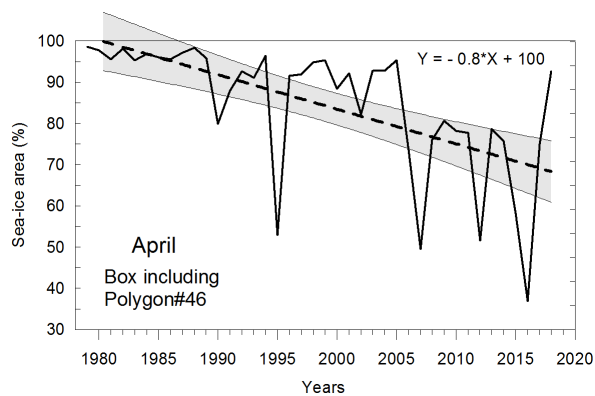


Figure A 12.20: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -8%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel).

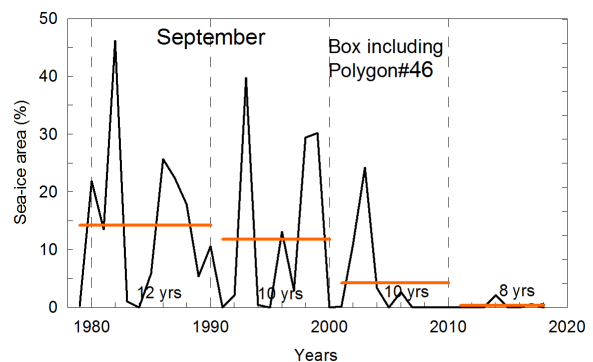
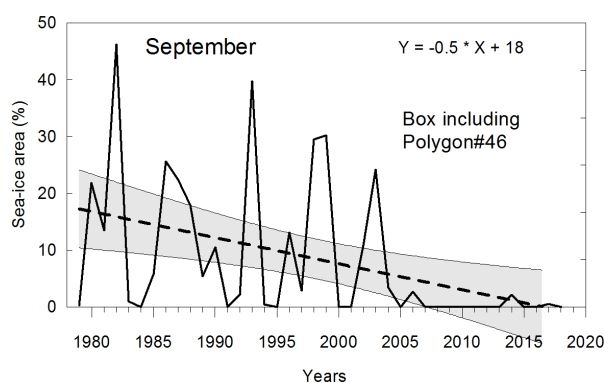
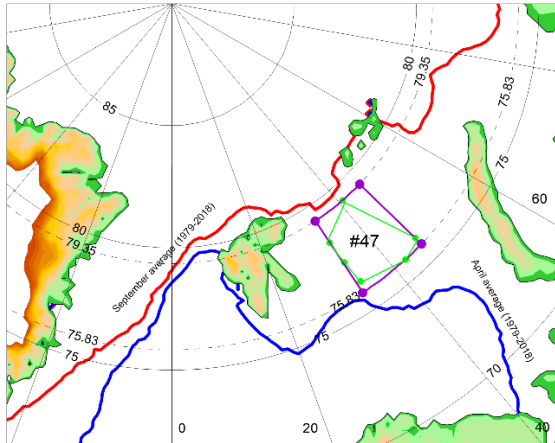


Figure A 12.31: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in September was -26%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel). In the last part of the period, sea ice was almost absent from this area in September, and the linear model used showed deviation from the assumption of normally distributed residuals.

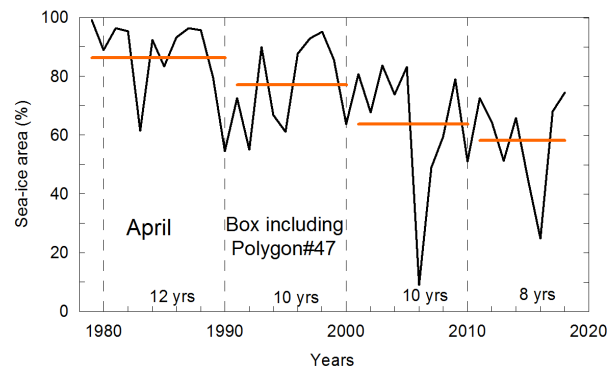
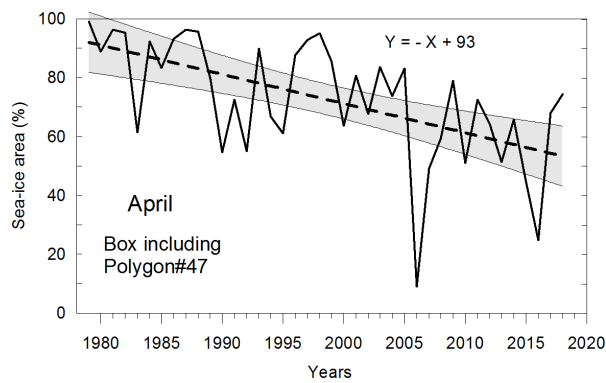
12.3.7 Box including polygon 47



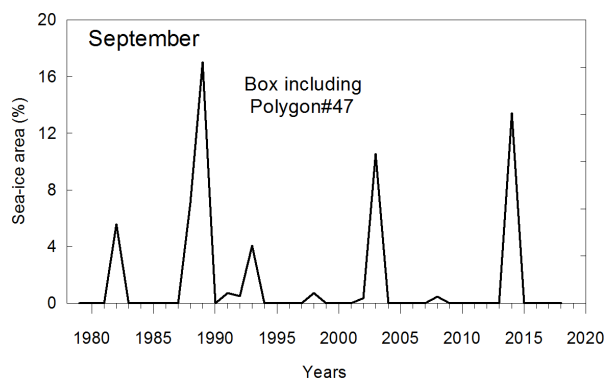
Sea-ice area calculation domain (box around polygon#47) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line).

The size of polygon#47 is about 82 000 sq. km.

The size of box#47 is about 110 000 sq. km.



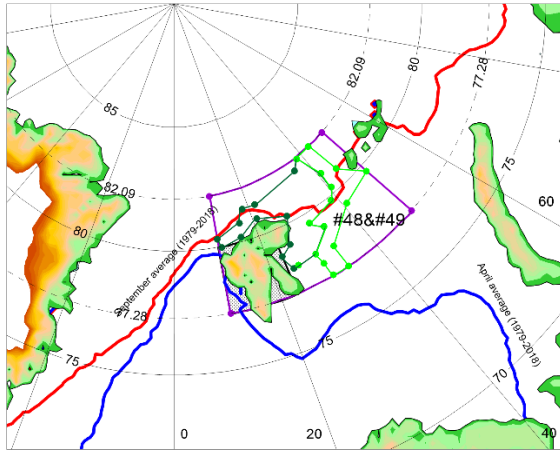
Figur A 12.42: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -11%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel).



Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

Figur A 12.53: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September.

12.3.8 Box including polygons 48 & 49



Sea-ice area calculation domain (box around polygons#48&49) and position of monthly mean sea-ice extent (15%) averaged for the period 1979-2018 in April (blue line) and September (red line). Grey shading shows the area which was excluded from calculation domain.

The size of polygons#48&49 is about 160 000 sq. km.

The size of box#48&49 is about 290 000 sq. km.

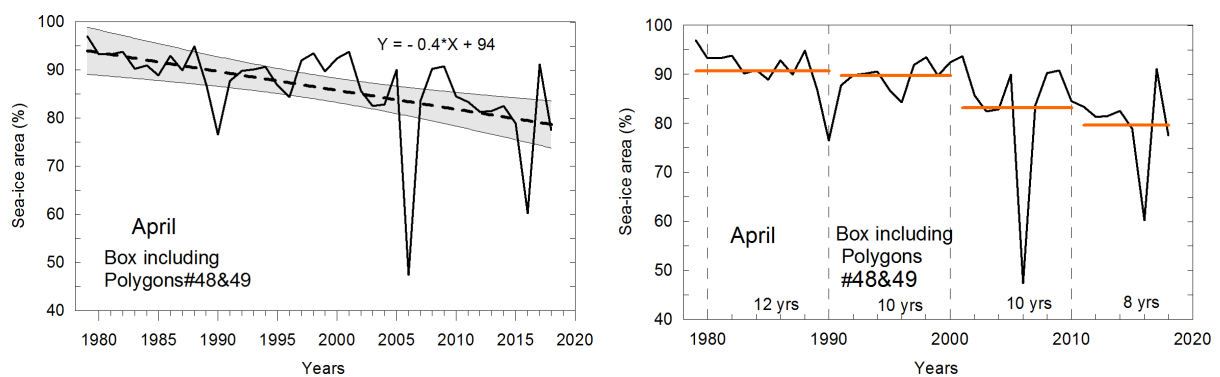


Figure A 12.64: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in April. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in April was -4%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel).

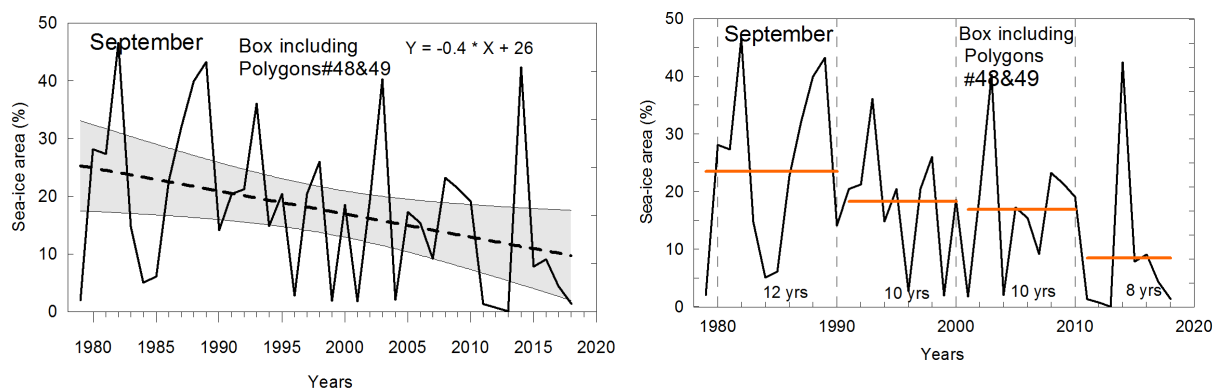


Figure A 12.75: Inter-annual variability of sea-ice area (%) in the period of 1979-2018 in September. Linear trends are illustrated as dashed lines with 95% confidence intervals (grey shading) (left panel). Based on least-squares linear regression, the rate of decadal decrease in September was -16%. Mean values of sea ice area calculated for the periods 1979-1990 (within the reference period for climate), 1991-2000, 2001-2010 and 2011-2018 (right panel). The linear model used showed deviation from the assumption of normally distributed residuals.

Summary of results

Despite large interannual variation, the area covered by sea ice in the Barents Sea has been steadily decreasing both in April and September during the studied period from 1979 to now. In the arctic part of the Barents Sea the decline was most prominent in winter (April) when the sea ice area was declining in all Atlantis-polygons. The largest reductions in winter sea ice were observed in the southern and eastern polygons (42, 43, 44, 45), situated close to the average maximum sea ice extent. In these polygons sea ice area decreased by 16-28% per decade. In northern polygons the decline has been less severe, and they are still covered by 70-80% sea ice in April. The observed reduced area covered by sea ice in April means that an increasing part of the arctic Barents Sea is no longer influenced by sea ice cover.

Most of the polygons in the arctic Barents Sea only had occasional years with some sea ice present in summer (September). However, in the most northern areas (polygon 46, 48 and 49) the area covered by sea ice in September has decreased by 16-26% per decade. From 2005 onwards, it is mainly the most northwestern area that have been partly ice covered in September, while the rest of the area is not covered by sea ice in summer.

12.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatorene

The data needs to be re-analysed with appropriate statistical methods, and including significance evaluation or the detected trends.

In the future we plan to use the Ocean and Sea Ice Satellite Application Facilities (OSI SAF) data of sea ice concentration (SIC) (<http://osisaf.met.no>), which has higher resolution compared to the NSIDC dataset. The OSI SAF SIC dataset is presented on two grids, at 10 km and 12.5 km spatial sampling for the period 1979-present. In addition, it may be considered to use new radar satellite products, with higher resolution compared to passive microwave sensors.

13 Indikator: Artsutskiftingsrater bunnfisk

Fenomen: Forhøyede artsutskiftingsrater bunnfisk

Egenskap: Biologisk mangfold

13.1 Supplerende metadata

Antall arter tilstede i hver polygon hvert år presenteres som støttedata for tolking av artsutskiftingsrater. På samme måte som for indikatorverdiene er det brukt bootstrapping av stasjoner innen hver polygon og år for resultater uavhengige av sampling-intensitet.

13.2 Supplerende metode

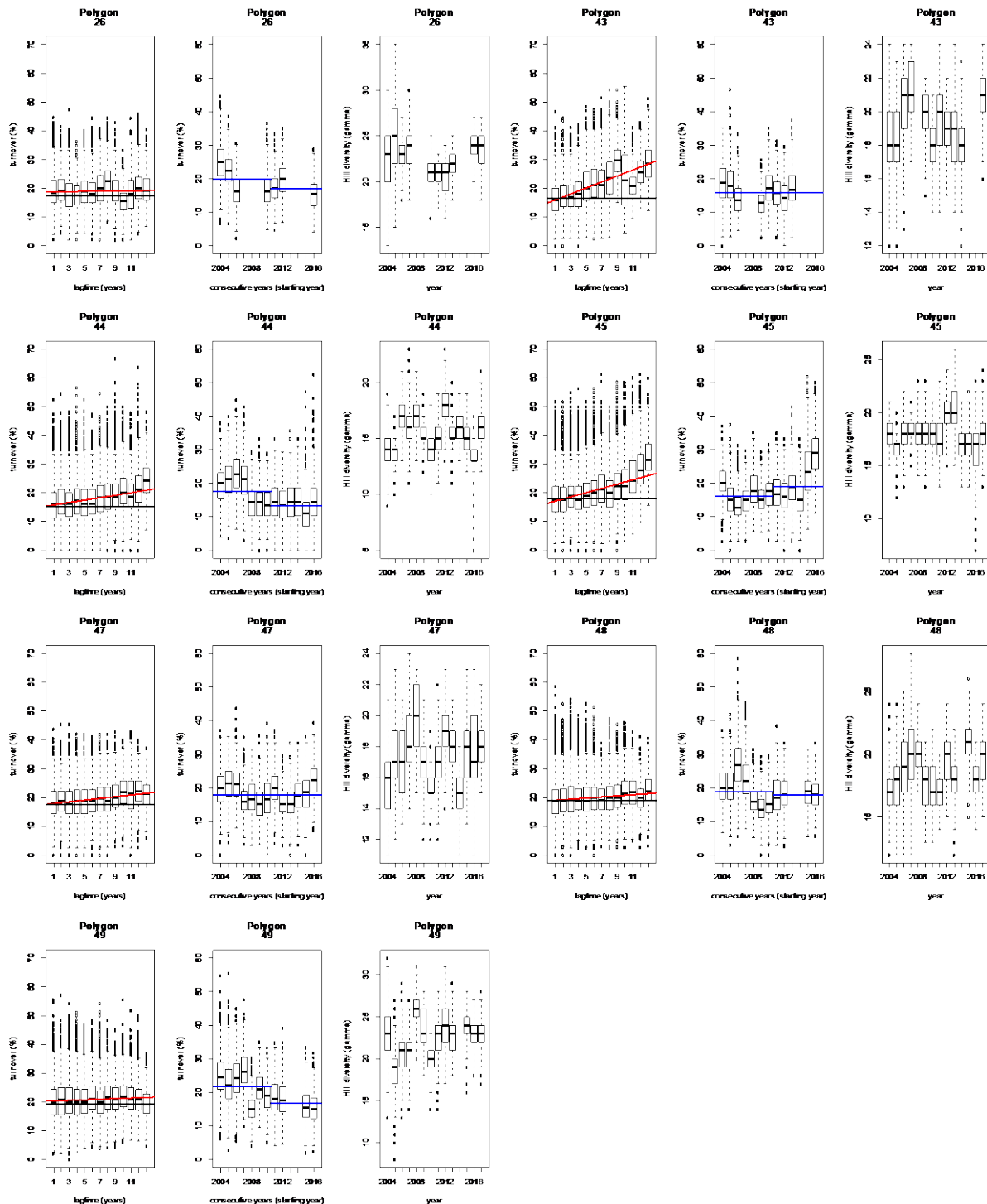
Artsutskiftingsrater beregnes som betadiversitet mellom parvise år (Marion et al. 2017), ved bruk av «Hill diversity framework» og multiplikativ oppdeling av gammadiversitet. ($\gamma = \alpha * \beta$). For mer detaljer henvises til Certain and Planque (2015). Det er brukt binære artsmatriser, der alle arter registreres som tilstede eller fraværende. Siden sannsynligheten for registrering av sjeldne arter øker med antall stasjoner har vi valgt å trekke ut et bestemt antall tilfeldige stasjoner fra hvert polygon og år og gjøre beregningene av forskjeller i artssammensetning mellom år basert på disse. Dette har vi gjort «maksimalt» (basert på tilgjengelige data) antall ganger, og vi presenterer median og 95% konfidensintervall fra disse «repeterte» beregningene.

Konsistente endringer fra en samfunnstype til en annen vurderes ved plot av betadiversitet mellom årene (y) og avstand mellom årene (x). En økende trend viser at år nært i tid er mer like enn år med større avstand, og dette indikerer en gradvis endring av artssammensetningen. Den observerte betadiversiteten sammenlignes med en nullmodell der vi antar at artssammensetningen er den samme i hele perioden, og at eventuelle forskjeller er årsaket av «sampling-effekter». I nullmodellen randomiseres år, og så trekkes samme antall stasjoner for hvert år, og beregningene av betadiversitet gjøres på samme måte som tidligere. Forhøyede artsutskiftingsrater med økende avstand mellom år er nå vurdert ved å visuelt sammenligne estimer og nullmodell for hver «avstand i tid» (lagtime) ved å se på overlappende 95% konfidensintervall. For å illustrere hvor mye artssammensetningen har endret seg i forskjellige polygoner har vi også brukt regresjon for avstandsmatriser (Goslee and Urban 2007), og vi bruker det estimerte stigningstallet fra disse til å vise eventuelle romlige mønster på kart.

Perioder med forhøyet endringsrate identifiseres fra plot av betadiversitet mellom påfølgende år gjennom tidsserien. For å identifisere perioder med høy artsutskiftingsrate sammenlignes gjennomsnittlig artsutskiftingsrate mellom påfølgende år for tidlig (2004-2010) og sen (2011-2017) periode. For å illustrere hvor høy artsutskiftingsraten har vært mellom påfølgende år i de forskjellige polygonene, presenteres gjennomsnittlige verdier for tidlig og sen periode i kart.

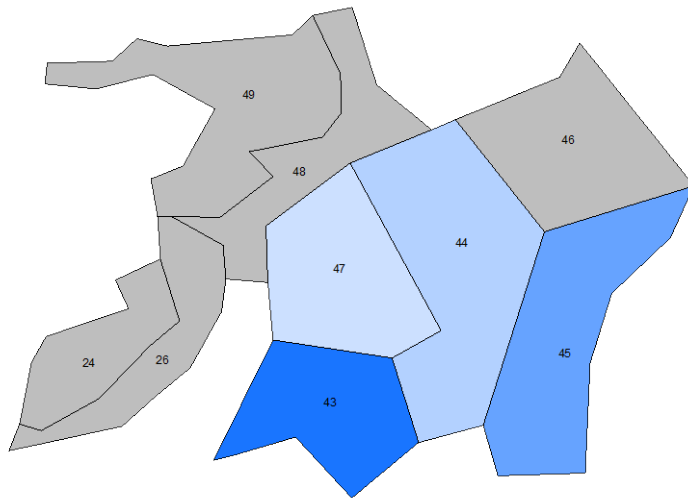
13.3 Resultat av analyser

a) Lagtime b) Påfølgende år c) Antall arter a) Lagtime b) Påfølgende år. c) Antall arter



Figur A 13.1: Bunnfisk artsutskiftingsrater i 7 polygoner i arktisk del av Barentshavet. Basert på 83 taksa fra 2004-2017. Boksene viser median og inneholder 50% av datapunkter. a) Artsutskiftingsrate (betadiversitet) plottet mot økende avstand mellom år for perioden 2004-2017. Lineær regresjon vises med rød linje og verdier for nullmodell som representerer stabil artssammensetning gjennom hele perioden vises i grått (median \pm 95% CI). b) Artsutskiftingsrate mellom påfølgende år. Gjennomsnitt (median) og 95% CI for to perioder; 2004-2010 og 2011-2017, vises med blå linje og grå skygge. c) Antall arter (taksa) (gammadiversitet) for hvert år.

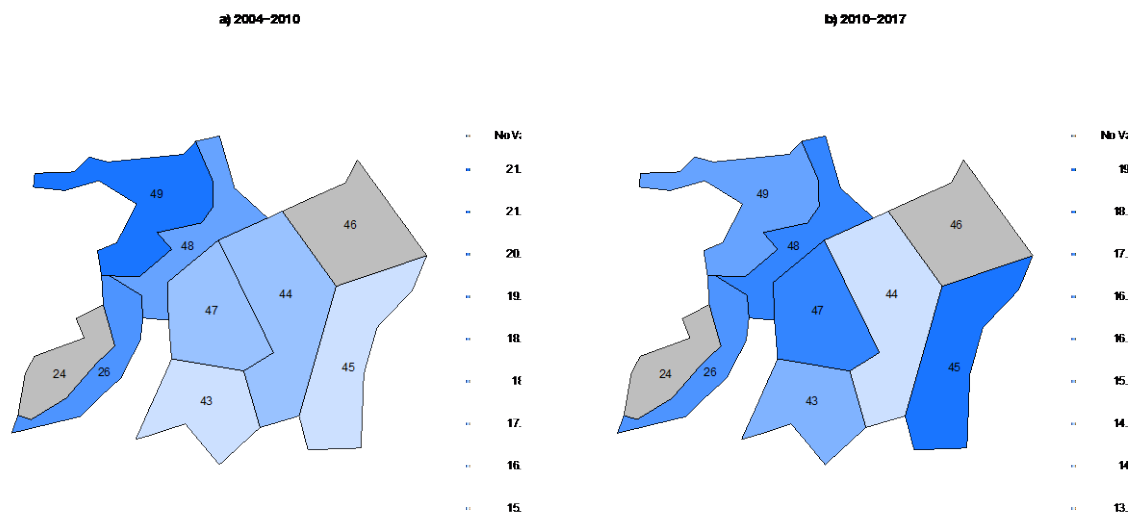
Stigningsstall fra regresjon



Figur A 13.2: Kart som illustrerer hvor mye artssammensetningen har endret seg i ni Atlantis polygoner i arktisk del av Barentshavet. Stigningsstall er fra regresjon av avstandsmatriser, og grå indikerer ikke signifikant resultat av regresjonen eller manglende data.

Tabell A 13.1: Resultat fra regresjon av avstandsmatriser (100 permutasjoner)

polygon	stigningskoeffisient	p-verdi
26	0,01	0,9
43	1,04	0,01
44	0,42	0,01
45	0,68	0,01
47	0,30	0,01
48	0,19	0,13
49	0,12	0,38



Figur A 13.3: Kart som viser gjennomsnittlig artsutskiftingsrate mellom påfølgende år. a) Tidlig periode (2004-2010) med 16-22% artsutskifting mellom påfølgende år, og b) sein periode (2011-2017) med 13-19% artsutskifting.

Oppsummering

Størst endringer i artssammensetning i bunnfisksamfunnet observeres i polygoner i sør-øst (43, 44, 45), der det er 25-30% artsutskifting mellom start og slutt i tidsperioden 2004-2017 (Figur A 13.1a, 13.2, Tabell A 13.1). I polygon 45 er det særlig de siste årene (2015-2017) at artssammensetningen har forandret seg mye fra år til år, mens i polygon 44 skjedde de største endringene tidlig i perioden (2004-2008) (Figur A 13.1b). I polygon 43 har det vært en mer jevn artsutskifting gjennom hele perioden (Figur A 13.1b). Det er også tendenser til større endringer mellom år i starten av tidsperioden for områdene i vest (polygon 26 og 49) (Figur A 13.1b). Den første delen av tidsperioden (2004-2010) var de sør-østlige delene av arktisk del av Barentshavet forholdsvis mer stabilt, da de største endringene fra år til år skjedde i nordlige og vestlige deler (Figur A 13.3). I senere år (2011-2017) er det generelt mindre endringer mellom år, og størst endringer mellom år skjer helt i øst (polygon 45) (Figur A 13.3).

Polygon 24 og 46 mangler tilstrekkelig med data for å inngå i analysen.

13.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Forhøyede artsutskiftingsrater med økende avstand mellom år må vurderes statistisk ved å sammenligne estimator og nullmodell for hver «avstand i tid» (lagtime) med parvise t-test eller annen hensiktsmessig metode.

Frem mot en operasjonell versjon er det viktig at den taksonomiske informasjonen i data som brukes er blitt validert av eksperter som kjenner systemet. Det må tas valg for hvordan en skal håndtere tilfeller da det både er registrert for eksempel individer på slekt-nivå og i tillegg har registreringer av noen spesifikke arter innen den samme slekten; eg *Themisto* sp., *Themisto libellula* og *Themisto abyssorum*. Hvis all informasjonen beholdes i analysene vil disse bli behandlet som tre forskjellige arter. En ekspert må kunne svare på om *Themisto* sp. mest sannsynlig er en tredje art (eller flere) eller hvis det mest sannsynlig er *T. libellula* og *T. abyssorum* som bare ikke er blitt bestemt til art.

Dette vil være avgjørende for om en velger å beholde alle tre i analysene, eller fordele *Themisto* sp. på de to andre artene. Alternativt kan en velge å kun bruke høyere taksonomisk nivå, for eksempel familie eller slekt (Terlizzi et al. 2009, Ellingsen et al. 2017).

Bruk av binære artsmatriser vektlegger sjeldne arter like mye som vanlige. Dette kan være en av årsakene til at vi ser relativt høye artsutskiftingsrater i mange grupper (c 15-20% mellom to år). Ved vurdering av hvor mye samfunnsstrukturen endres vil det være verdifullt å ta hensyn både til sjeldne arter, men også om det skjer endringer i dominansforhold (altså om det er de samme artene som er de mest vanlige). Siden metoden som er brukt baseres på «Hill diversity framework» vil det være enkelt å utvide denne indikatoren til også å inneholde estimer på artsutskiftingsrater som vektet de mest vanlige artene høyere, og at de sjeldne artene dermed ikke blir så betydellesfulle. Dette gjøres ved å endre parameteren q , fra 0 som er brukt nå, til for eksempel 2. Diversitetsestimer beregnet med en q -verdi på 2 tilsvarer Simpson indeks (reciprocal of Simpson index). Bruk av disse to estimer ($q=0$ og $q=2$) vil komplettere hverandre, og er blitt foreslått som en god kombinasjon for å forstå endringer i samfunnsstrukturen (Hillebrand et al. 2018, Yokota et al. 2018).

14 Indikator: Artsutskiftingsrater sjøfugl

Fenomen: Forhøyede artsutskiftingsrater sjøfugl

Egenskap: Biologisk mangfold

14.1 Supplerende metadata

Antall arter tilstede i hver polygon hvert år presenteres som støttedata for tolking av artsutskiftingsrater. På samme måte som for indikatorverdiene er det brukt bootstrapping av stasjoner innen hver polygon og år for resultater uavhengige av sampling-intensitet.

14.2 Supplerende metode

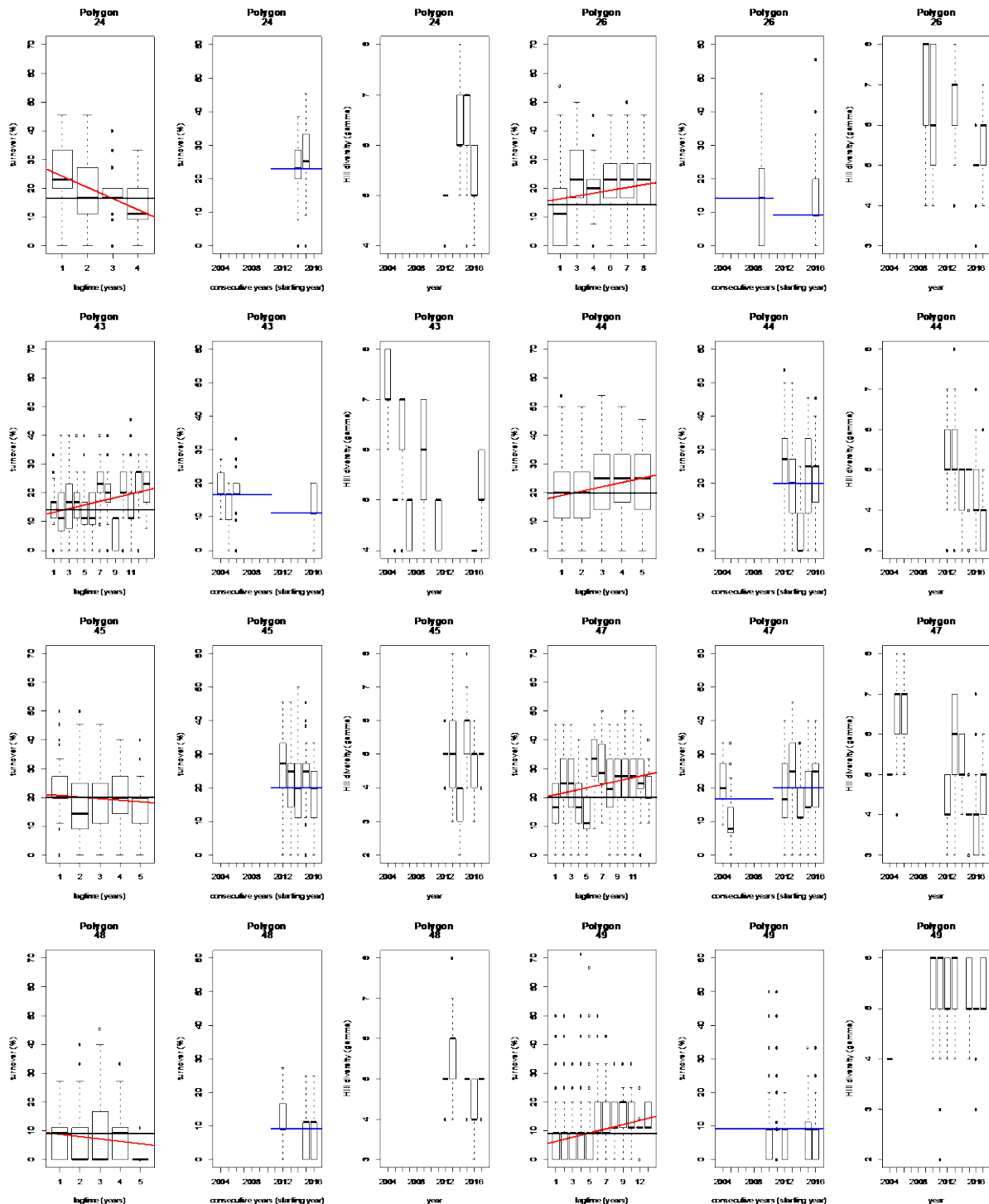
Artsutskiftingsrater beregnes som betadiversitet mellom parvise år (Marion et al. 2017), ved bruk av «Hill diversity framework» og multiplikativ oppdeling av gammadiversitet. ($\gamma = \alpha * \beta$). For mer detaljer henvises til Certain and Planque (2015). Det er brukt binære artsmatriser, der alle arter registreres som tilstede eller fraværende. Siden sannsynligheten for registrering av sjeldne arter øker med antall stasjoner har vi valgt å trekke ut et bestemt antall tilfeldige stasjoner fra hvert polygon og år og gjøre beregningene av forskjeller i artssammensetning mellom år basert på disse. Dette har vi gjort «maksimalt» (basert på tilgjengelige data) antall ganger, og vi presenterer median og 95% konfidensintervall fra disse «repeterte» beregningene.

Konsistente endringer fra en samfunnstype til en annen vurderes ved plot av betadiversitet mellom årene (y) og avstand mellom årene (x). En økende trend viser at år nært i tid er mer like enn år med større avstand, og dette indikerer en gradvis endring av artssammensetningen. Den observerte betadiversiteten sammenlignes med en nullmodell der vi antar at artssammensetningen er den samme i hele perioden, og at eventuelle forskjeller er årsaket av «sampling-effekter». I nullmodellen randomiseres år, og så trekkes samme antall stasjoner for hvert år, og beregningene av betadiversitet gjøres på samme måte som tidligere. Forhøyede artsutskiftingsrater med økende avstand mellom år er nå vurdert ved å visuelt sammenligne estimer og nullmodell for hver «avstand i tid» (lagtime) ved å se på overlappende 95% konfidensintervall. For å illustrere hvor mye artssammensetningen har endret seg i forskjellige polygoner har vi også brukt regresjon for avstandsmatriser (Goslee and Urban 2007), og vi bruker det estimerte stigningstallet fra disse til å vise eventuelle romlige mønster på kart.

Perioder med forhøyet endringsrate identifiseres fra plot av betadiversitet mellom påfølgende år gjennom tidsserien. For å identifisere perioder med høy artsutskiftingsrate sammenlignes gjennomsnittlig artsutskiftingsrate mellom påfølgende år for tidlig (2004-2010) og sen (2011-2017) periode. For å illustrere hvor høy artsutskiftingsraten har vært mellom påfølgende år i de forskjellige polygonene, presenteres gjennomsnittlige verdier for tidlig og sen periode i kart.

14.3 Resultat av analyser

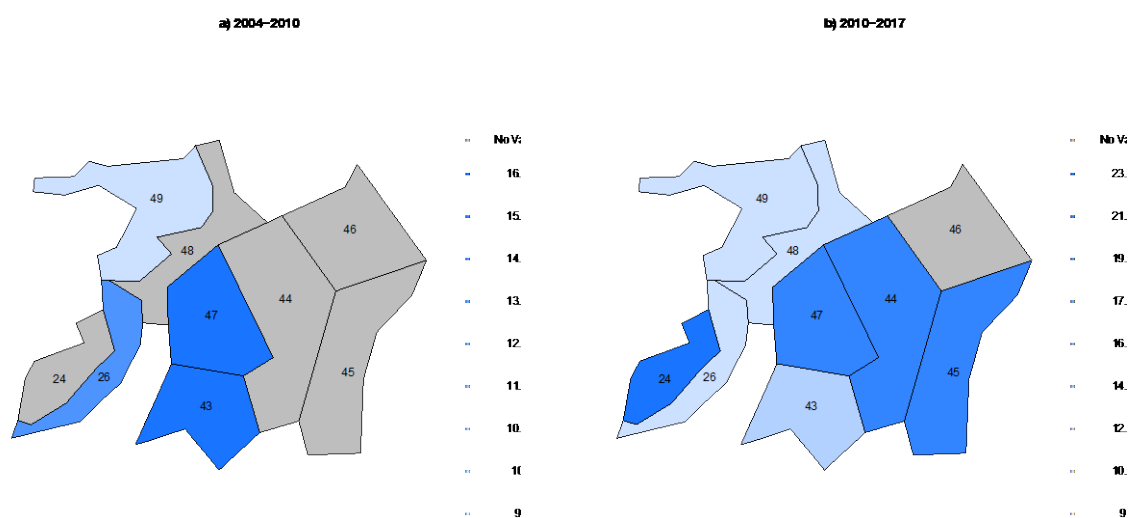
a) Lagtime b) Påfølgende år c) Antall arter a) Lagtime b) Påfølgende år. c) Antall arter



Figur A 14.1: Sjøfugl artsutskiftingsrater i 8 polygoner i arktisk del av Barentshavet. Basert på 12 arter fra 2004-2017. Boksene viser median og inneholder 50% av datapunkter. a) Artsutskiftingsrate (betadiversitet) plottet mot økende avstand mellom år for perioden 2004-2017. Lineær regresjon vises med rød linje og verdier for nullmodell som representerer stabil artssammensetning gjennom hele perioden vises i grått (median \pm 95% CI). b) Artsutskiftingsrate mellom påfølgende år. Gjennomsnitt (median) og 95% CI for to perioder; 2004-2010 og 2011-2017, vises med blå linje og grå skygge. c) Antall arter (gammadiversitet) for hvert år.

Tabell A 14.1: Resultat fra regresjon av avstandsmatriser (100 permutasjoner)

polygon	stigningskoeffisient	p-verdi
24	-0,04	0,10
26	0,01	0,15
43	0,01	0,02
44	0,02	0,31
45	0,00	0,78
47	0,01	0,08
48	-0,01	0,43
49	0,01	0,14



Figur A 14.2: Kart som viser gjennomsnittlig artsutskiftingsrate mellom påfølgende år. a) Tidlig periode (2004-2010) med 9-17% artsutskifting mellom påfølgende år, og b) sein periode (2011-2017) med 9-23% artsutskifting. Grå polygoner mangler data.

Oppsummering

Artsutskiftingsraten av sjøfugl i arktisk del av Barentshavet er mellom cirka 10 og 20% per år. Lavt antall arter av sjøfugler, og lite tilgjengelige data særlig i den første delen av tidsperioden gjør at det er vanskelig å konkludere at det ikke har skjedd noen endringer. Men det er lite i analysene her som tyder på at det har vært en forandring i artssammensetning gjennom perioden, eller at artsutskiftingen har øket eller minket i løpet av tidsperioden. Helt i sør (polygon 43) observeres en svak endring i artssammensetning, og det kan være tegn til det samme i en nærliggende polygon (47). I den senere delen av tidsperioden, 2011-2017, var det størst endringer fra år til år i sør-østlige deler av arktisk del av Barentshavet.

Polygon 46 mangler tilstrekkelig med data for å inngå i analysen.

14.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Samme som for 13.4, artsutskiftingsrater bunnfisk.

15 Indikator: Varmeinnhold hav

Fenomen: Økende varmeinnhold

Egenskap: Abiotiske forhold

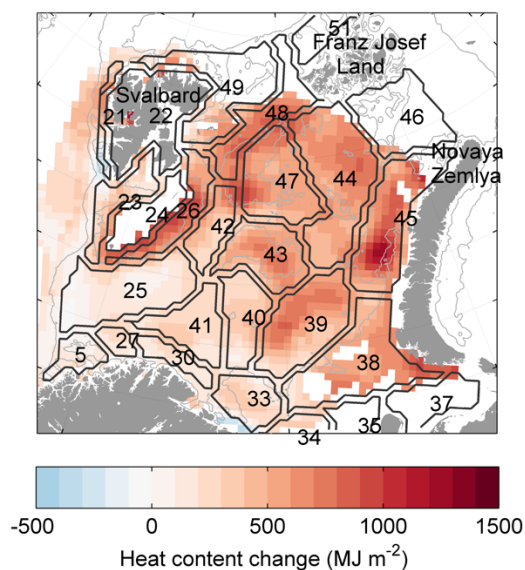
15.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

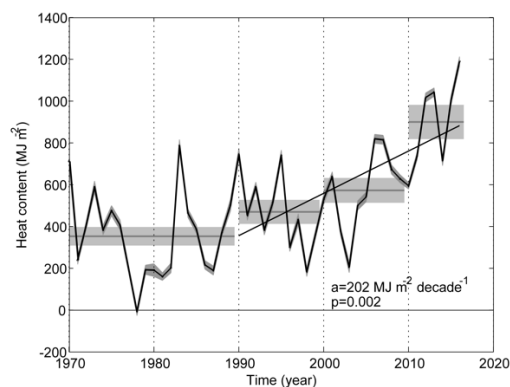
15.2 Supplerende metode

Varmeinnhold er beregnet for områder som har tilstrekkelig god datadekning gjennom perioden. Områder nord for 80°N er utelatt fra analysen ettersom de bare er dekt enkelte år, for å unngå bias fra dekning av rene atlantiske områder på sokkelskråningen nord for Barentshavet disse enkeltårene. Disse ville ha dominert i utviklingen slik at man ikke kunne se utviklingen i den arktiske delen av polygoner 49 og 48 de senere årene. Usikkerhetsestimat på middelverdier er oppgitt som standardfeil, σ/\sqrt{n} , for den aktuelle tidsperioden, der σ er standardavviket og n er antall år i tidsperioden. Tilsvarende er usikkerhetsestimat for sum av varmeinnhold i de øvre 100 m estimert som $\sigma\sqrt{n}$. En tosidig Mann-Kendall test ble brukt for å teste om lineære trender var signifikant på 1 % nivå, tilsvarende som beskrevet i (Lind et al. 2018).

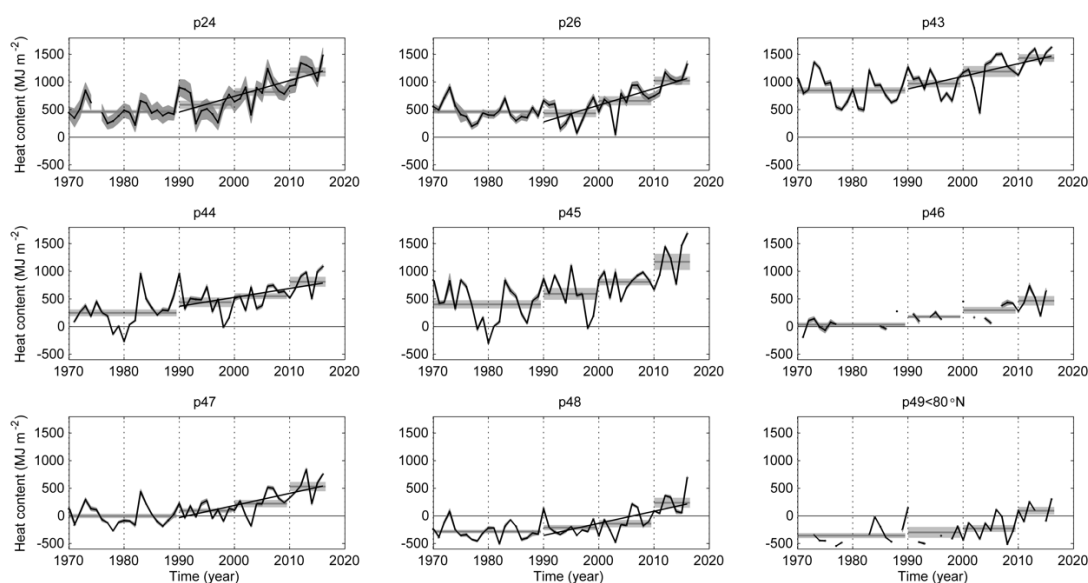
15.3 Resultat av analyser



Figur A 14.1: Endring av varmeinnhold fra 2000 til 2016 estimert fra lineær trend i hver gittercelle for de øvre 100 m. Områder dekket av hver polygon og polygonnummer er indikert med sorte konturer og tall.



Figur A 14.2: Varmeinnhold for de øvre 100 m av havet for hele den arktiske delen av Barentshavet. Middelverdi for referanseperioden 1970–1989 og hvert tiår deretter er vist i grå linje, og standardfeilen er vist i grå skravering. Lineær trend er vist med sort linje for perioden 1990–2016 med stigningstallet a og p -verdien indikert.



Figur A 14.3: Varmeinnhold for de øvre 100 m av havet for hver polygon i den arktiske delen av Barentshavet. Middelverdi for referanseperioden 1970–1989 og hvert tiår deretter er vist i grå linje, og standardfeilen er vist i grå skravering. Lineær trend er vist med sort linje for perioden 1990–2016 hvis den er signifikant på 1 %-nivå.

Oppsummering

Det er økende varmeinnhold i hele Barentshavet mellom 2000 og 2016, og den sterkeste økningen er i nordlige og østlige deler (Figur A 14.1). I den arktiske delen av Barentshavet har det vært stigende varmeinnhold etter 1990 (Figur A 14.2). Den estimerte lineære trenden er statistisk signifikant på 1 % nivå og estimert til en økning på $202 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decade}^{-1}$. Merk likevel at det har vært en akselererende økning i varmeinnhold gjennom de siste tre tiårene, og varmeinnholdet har totalt økt fra et middel på $350 \pm 45 \text{ MJ m}^{-2}$ i perioden 1970–1990, til $900 \pm 82 \text{ MJ m}^{-2}$ for 2010–2016. Utviklingen i hver polygon er noe mer varierende i perioden 1970–2000, men økende i alle polygonene etter år 2000 og den estimerte lineære trenden er positiv og økende i polygoner 24, 26, 43, 44, 47 og 48 (Figur A 14.3).

15.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Indikatoren ansees som hensiktsmessig i sin nåværende form.

16 Indikator: Ferskvannsinhold hav

Fenomen: Minkende ferskvannsinhold

Egenskap: Abiotiske forhold

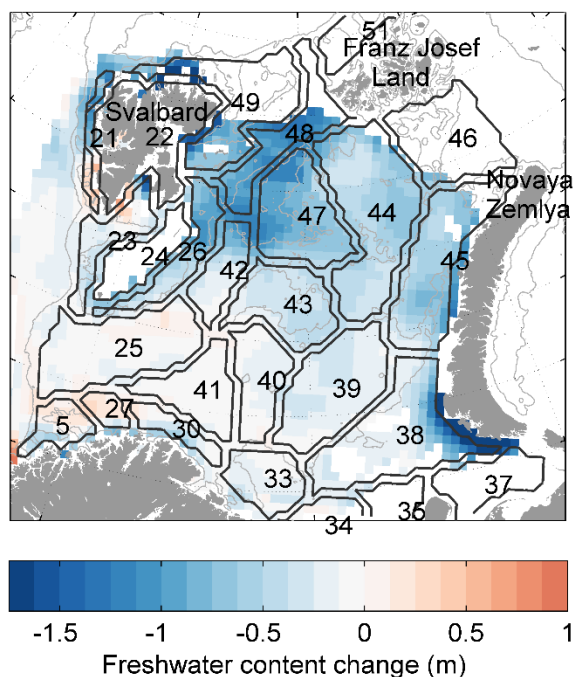
16.1 Supplerende metadata

Ikke relevant.

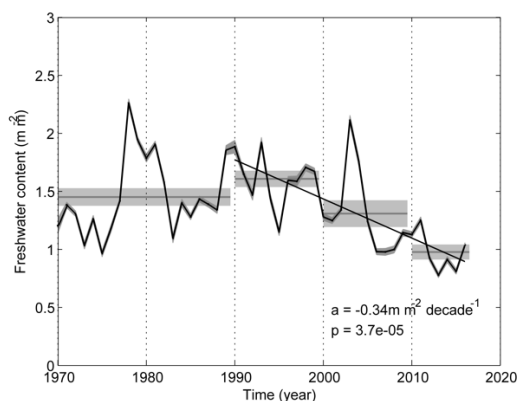
16.2 Supplerende metode

Ferskvannsinhold er beregnet for områder som har tilstrekkelig god datadekning gjennom perioden. Områder nord for 80°N er utelatt fra analysen ettersom de bare er dekt enkelte år, for å unngå bias fra dekning av rene atlantiske områder på sokkelskråningen nord for Barentshavet disse enkeltårene. Disse ville ha dominert i utviklingen slik at man ikke kunne se utviklingen i den arktiske delen av polygoner 49 og 48 de senere årene. Usikkerhetsestimat på middelverdier er oppgitt som standardfeil, σ/\sqrt{n} for den aktuelle tidsperioden, der σ er standardavviket og n er antall år i tidsperioden. Tilsvarende er usikkerhetsestimat for sum av ferskvannsinhold i de øvre 100 m estimert som $\sigma\sqrt{n}$. En tosidig Mann-Kendall test ble brukt for å teste om lineære trender var signifikant på 1 % nivå, tilsvarende som beskrevet i (Lind et al. 2018).

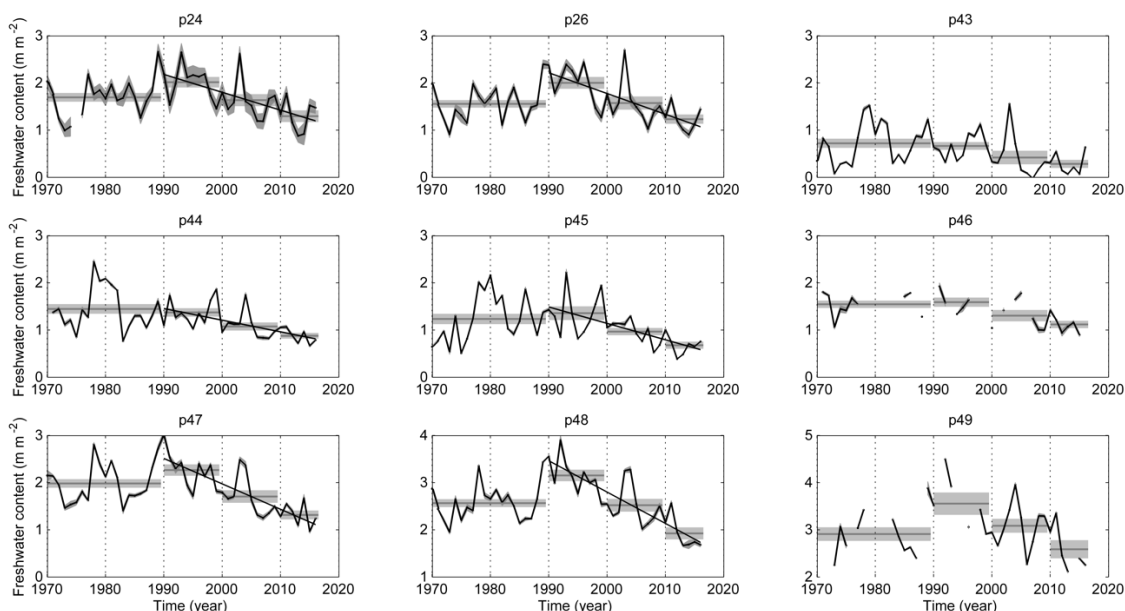
16.3 Resultat av analyser



Figur A 15.1: Endring av ferskvannsinhold fra 2000 til 2016 estimert fra lineær trend for de øvre 100 m. Områder dekket av hver polygon og polygonnummer er indikert med sorte konturer og tall.



Figur A 15.2: Ferskvannsinhold for de øvre 100 m av havet (sort kurve) for hele den arktiske delen av Barentshavet med standardfeilen for summen vist med grå skraver. Middelverdien er vist for referanseperioden 1970–1989 og hvert tiår deretter er vist i grå linje, og standardfeilen er vist i grå skraver. Lineær trend er vist med sort linje for perioden 1990–2016 med stigningstallet a og p -verdien indikert.



Figur A 15.3: Ferskvannsinhold for de øvre 100 m av havet for hver polygon i den arktiske delen av Barentshavet. Middelverdi for referanseperioden 1970–1989 og hvert tiår deretter er vist i grå linje, og standardfeilen er vist i grå skraver. Lineær trend er vist med sort linje for perioden 1990–2016 hvis den er signifikant på 1 %-nivå. Merk ulike grenser på vertikalaksene på polygoner 48 og 49 i forhold til øvrige polygoner.

Oppsummering

Det er minkende ferskvannsinhold i hele nordlige og østlige Barentshavet mellom 2000 og 2016 (Figur A 15.1). I den arktiske delen av Barentshavet har det vært nedgang i ferskvannsinhold etter år 2000 (Figur A 15.2). Den estimerte lineære trenden er statistisk signifikant på 1 % nivå og estimert til en nedgang på $0.34 \text{ m m}^{-2} \text{ dekad}^{-1}$. Ferskvannsinholdet har totalt minket fra et middel på $1.45 \pm 0.08 \text{ m m}^{-2}$ i perioden 1970–1989, til $0.98 \pm 0.06 \text{ m m}^{-2}$ for 2010–2016. Etter 1990 har det vært en nedadgående utvikling i ferskvannsinhold i alle polygonene (Figur A 15.3).

16.4 Anbefalinger for videreutvikling av indikatoren

Indikatoren ansees som hensiktsmessig i sin nåværende form på kort sikt.

Referanser

- Børshheim, K. Y., S. Milutinović, and K. F. Drinkwater. 2014. TOC and satellite-sensed chlorophyll and primary production at the Arctic Front in the Nordic Seas. *Journal of Marine Systems* **139**:373-382.
- Certain, G., and B. Planque. 2015. Biodiversity baseline for large marine ecosystems: an example from the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science* **72**:1756-1768.
- Comiso, J. C. 2006. Abrupt decline in the Arctic winter sea ice cover. *Geophysical Research Letters* **33**.
- Comiso, J. C. 2012. Large Decadal Decline of the Arctic Multiyear Ice Cover. *Journal of Climate* **25**:1176-1193.
- Darby, C. S., and S. Flatman. 1994. Virtual population analysis: version 3.1 (Windows/DOS) user guide. Ministry of Agriculture, fisheries and food, Directorate of Fisheries Research, Lowestoft.
- Ellingsen, K. E., N. G. Yoccoz, T. Tveraa, J. E. Hewitt, and S. F. Thrush. 2017. Long-term environmental monitoring for assessment of change: measurement inconsistencies over time and potential solutions. *Environmental Monitoring and Assessment* **189**:595.
- Frøysa, K. G., B. Bogstad, and D. W. Skagen. 2002. Fleksibest—an age-length structured fish stock assessment model. *Fisheries Research* **55**:87-101.
- Gjøsæter, H., B. Bogstad, and S. Tjelmeland. 2009. Ecosystem effects of the three capelin stock collapses in the Barents Sea. *Marine Biology Research* **5**:40-53.
- Goslee, S. C., and D. L. Urban. 2007. The ecodist Package for Dissimilarity-based Analysis of Ecological Data. *Journal of Statistical Software* **22**:1-19.
- Hansen, C., M. Skern-Mauritzen, G. I. van der Meeren, A. Jähkel, and K. F. Drinkwater. 2016. Set-up of the Nordic and Barents Seas (NoBa) Atlantis model. Havforskningsinstituttet.
- Henson, S. A., C. Beaulieu, and R. Lampitt. 2016. Observing climate change trends in ocean biogeochemistry: when and where. *Global Change Biology* **22**:1561-1571.
- Hillebrand, H., B. Blasius, E. T. Borer, J. M. Chase, J. A. Downing, B. K. Eriksson, C. T. Filstrup, W. S. Harpole, D. Hodapp, S. Larsen, A. M. Lewandowska, E. W. Seabloom, D. B. Van de Waal, and A. B. Ryabov. 2018. Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: Consequences for conservation and monitoring. *Journal of Applied Ecology* **55**:169-184.
- Lind, S., R. B. Ingvaldsen, and T. Furevik. 2016. Arctic layer salinity controls heat loss from deep Atlantic layer in seasonally ice-covered areas of the Barents Sea. *Geophysical Research Letters* **43**:5233-5242.
- Lind, S., R. B. Ingvaldsen, and T. Furevik. 2018. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import. *Nature Climate Change* **8**:634-639.
- Løland, A., M. Aldrin, E. Ona, V. Hjellvik, and J. C. Holst. 2007. Estimating and decomposing total uncertainty for survey-based abundance estimates of Norwegian spring-spawning herring. *ICES Journal of Marine Science* **64**:1302-1312.
- Marion, Z. H., J. A. Fordyce, and B. M. Fitzpatrick. 2017. Pairwise beta diversity resolves an underappreciated source of confusion in calculating species turnover. *Ecology* **98**:933-939.
- Terlizzi, A., M. J. Anderson, S. Bevilacqua, S. Frascchetti, M. Włodarska-Kowalczyk, and K. E. Ellingsen. 2009. Beta diversity and taxonomic sufficiency: Do higher-level taxa reflect heterogeneity in species composition? *Diversity and Distributions* **15**:450-458.
- van der Meeren, G. I., and D. Prozorkevich. 2019. Survey report from the joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2018. IMR/PINRO Joint Report Series, 2, 2019.
- Yokota, M., J. Takeda, N. Suzuki, and K. Sakuramoto. 2018. A protocol for the analysis of aquatic biodiversity by multiple β diversities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **75**:1606-1613.
- Yool, A., E. E. Popova, and A. C. Coward. 2015. Future change in ocean productivity: Is the Arctic the new Atlantic? *Journal of Geophysical Research: Oceans* **120**:7771-7790.