

786

Sjøfugl i åpent hav

Utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder

Per Fauchald

NINA Rapport



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Sjøfugl i åpent hav

Utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder

Per Fauchald

Fauchald P. 2011. Sjøfugl i åpent hav. Utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder. - NINA Rapport 786. 33 s.

Tromsø, desember, 2011

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2381-2

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Per Fauchald

KVALITETSSIKRET AV

Kjell Einar Erikstad

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Sidsel Grønvik (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)

Direktoratet for naturforvaltning

Olje- og Energidepartementet

Oljeindustriens landsforening

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Brit Veie-Rosvoll

FORSIDEBILDE

Eirik Grønningsæter

NØKKEWORD

Barentshavet, Norskehavet, Nordsjøen, sjøfugl, kartlegging, romlig fordeling, habitat, GAM modellering, marin forvaltningsplan, arealforvaltning, miljørisiko, olje/sjøfugl

KEY WORDS

Barents Sea, Norwegian Sea, North Sea, mapping, spatial distribution, habitat, GAM modeling, marin ecosystem management, environmental risk assessment, seabird/oil

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Sluppen

7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21

0349 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Framsenteret

9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

Sammendrag

Fauchald P. 2011. Sjøfugl i åpent hav. Utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder. – NINA Rapport 786. 33 s.

Denne rapporten oppsummerer åpent hav arbeidet i SEAPOP fra 2005 til 2011. Datagrunnlag og metodikk presenteres og diskuteres i detalj. Noen viktige resultater presenteres, og det gis anbefalinger for videre arbeid.

Gjennom datainnsamling og metodeutvikling, har åpent hav studiene generert et unikt kartgrunnlag over utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder. Dette kartgrunnlaget brukes i planarbeidet for økosystemforvaltning, i arealforvaltning og i risikovurderinger av petroleumsvirksomhet. Åpent hav undersøkelsene har også vært sentrale for studier som integrerer sjøfugl som en del av de marine økosystemene. Spesifikt har undersøkelsene gitt svar på hvordan sjøfugl er fordelt i forhold til andre økosystemkomponenter, hvordan sjøfugl interagerer med sine byttedyr og hvordan endringer i det marine miljøet påvirker tallrikhet av sjøfugl i åpent hav.

Kartlegging av sjøfugl i åpent hav krever ekstensive tokt over gjentatte år, og dedikerte sjøfugltokt er derfor lite kostnadseffektivt. Det anbefales at man viderefører opportunistisk deltagelse på tokt for å dekke områder og sesonger med dårlig dekning. Dette gjelder spesielt Norskehavet i vinterhalvåret. Videre bør man, i samarbeid med de andre nordsjølandene, legge en plan for oppdatering av datagrunnlaget i Nordsjøen.

For å undersøke hvordan klima og tilgang på byttedyr påvirker endringer i tallrikhet og utbredelse av sjøfugl i Barentshavet, blir det anbefalt at tidsserien mht telling av sjøfugl på Havforskningsinstituttets økosystemtokt videreføres.

For å avgrense bestandene av sjøfugl i åpent hav og for å bedre forståelsen av hvordan bestandsutvikling og demografi er knyttet til endringer i de marine økosystemene, anbefales det at man utvikler et koordinert prosjekt hvor man undersøker sjøfugls vandringsmønster utenom hekkesesongen ved hjelp av lysloggere.

Per Fauchald, Norsk institutt for naturforskning, Framsenteret, 9296 Tromsø,
per.fauchald@nina.no

Abstract

Fauchald P. Seabirds at sea. The distribution of seabirds in Norwegian and adjacent waters. – NINA Report 786. 33 pp.

This report summarizes the seabirds at sea studies in the SEAPOP program from 2005 to 2011. Data coverage and methodology are presented and discussed in detail. Some important results are presented and recommendations are given for future work.

The seabirds at sea studies have, through data collection and development of methods, produced unique maps of the distribution of seabirds in Norwegian and adjacent waters. The maps are used for various management purposes, including ecosystem management, marine area planning, and risk assessments of oil drilling activities. The studies have also been important for integrating seabirds in studies of the marine ecosystem. Specifically, the studies have given new insight into how seabirds are distributed in relation to other ecosystem components, how seabirds interact with their prey, and how changes in the marine environment affect the abundance of seabirds at sea.

Extensive and repeated surveys are needed to give reliable predictions for the distribution of seabirds at sea. Dedicated seabird surveys are therefore not considered to be cost effective. It is recommended that opportunistic surveying, following ships of opportunity, is continued in areas and seasons with poor coverage. The Norwegian Sea during winter should be given high priority in this regard. It is also recommended that plans for updating the datasets for the North Sea is made in collaboration with the other North Sea countries.

It is recommended that the time series of seabird counts during the Ecosystem Survey conducted by the Institute for Marine Research in the Barents Sea is maintained. This time series gives information on how climate change and changes in the marine ecosystem affect the abundance and distribution of seabirds in the Barents Sea.

Finally, it is recommended that a coordinated project that makes use of geolocators to track the migration of individual seabirds at sea is developed and initiated. This project should aim at delineating the populations of seabirds at sea and establishing the link between population dynamic and demography in the colonies to changes in the marine ecosystems.

Per Fauchald, Norwegian Institute for Nature Research, Fram Centre, 9296 Tromsø,
per.fauchald@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
2 Materiale og Metode	9
2.1 Observasjonsmetodikk	9
2.2 Feilkilder	9
2.3 Studieområder, sesonger og arter	10
2.4 Datasett	12
2.4.1 Datakilder	12
2.4.2 Dekning	13
2.5 Dataanalyse	13
2.5.1 Aggregering av data	14
2.5.2 Tostegs analyser	14
2.5.3 Modellprediksjoner	15
2.5.4 Spesielt sårbare områder	15
2.5.5 Relasjon til andre økosystemkomponenter –samfunnsstruktur	15
2.5.6 Estimering av forskjeller mellom år	15
3 Resultater	16
3.1 Geografisk og sesongmessig fordeling av sjøfugl	16
3.2 Spesielt sårbare områder	21
3.3 Samfunns-struktur i Barentshavet og Nordsjøen	22
3.4 Variasjon i tallrikhet mellom år	23
4 Diskusjon	26
4.1 Sjøfuglsamfunn og endringer i tallrikhet	26
4.2 Datakvalitet og dekning	27
4.3 Metodiske begrensninger	28
4.4 Kan loggere erstatte kartlegging i åpent hav?	29
5 Anbefalinger for videre arbeid	30
5.1 Opportunistisk datainnsamling	30
5.2 Videreføring av tidsserien i Barentshavet	30
5.3 Integrering med studier av sjøfuglers vandringsmønster	30
6 Referanser	32

Forord

Etter flere år med kartlegging og metodeutvikling for sjøfugl i åpent hav i SEAPOP, var det behov for en oppsummering av metodikk og resultater samt en diskusjon om veien videre. I den forbindelse var det også viktig å utrede hvordan ny teknologi som muliggjør detaljert kartlegging av sjøfugl sine vandringer gjennom året, vil kunne påvirke åpent hav studiene i framtiden.

Jeg vil rette en stor takk til prosjektets trofaste og dyktige sjøfuglobservatører: Eirik Grønning-sæter og Stuart Murray. Takk til Torkild Tveraa og Mette Skern-Mauritzen som har deltatt på ulike stadier av metodeutviklingen.

29.11.11 Per Fauchald

1 Innledning

Sjøfugl er en iøynefallende del av vår marine fauna. Globalt er klimaendringer og høsting de viktigste påvirkningsfaktorene på marine økosystemer (MEA 2005). Disse driverne påvirker utbredelse og tallrikhet av viktige bestander, og gjennom kaskader i næringsnett har de fundamentalt forandret, og vil fortsette å endre, jordens marine økosystemer (Jackson et al. 2001). Sjøfuglbestandene er nært knyttet til tilgjengelighet av næring, og svingninger i bestandene gjenspeiler derfor slike generelle økosystemendringer. Kunnskap om hvordan sjøfugl er knyttet til det marine miljøet er derfor essensiell for å forklare de pågående endringene man observerer i bestandene av sjøfugl langs norskekysten.

Fordelingen av sjøfugl til havs er langt fra homogen. På stor skala reflekterer fordelingen av sjøfugl tilgjengeligheten av næring. Høye forekomster av sjøfugl er derfor knyttet til områder med høy biologisk produksjon (Hunt and Schneider 1987). Dette betyr at sjøfugl kan være gode indikatorer for særlig viktige marine områder hvor man ellers finner høy biologisk aktivitet, såkalte "hot-spots" (Worm et al. 2003, Durant et al. 2009, Nur et al. 2011). Sammenhengen mellom produktivitet og forekomst av sjøfugl til havs har derfor vært gjenstand for en mengde studier de siste 40 årene (se oppsummering i Hunt 1990, Fauchald 2009, Gremillet and Boulinier 2009). Ikke overraskende er sammenhengene tydeligst på stor skala. Globalt sett finner man de høyeste konsentrasjonene av sjøfugl i havområder med høy primærproduksjon (Hunt and Schneider 1987). Det vil si i sokkelområder, i kystnære områder, på relativt høye breddegrader, samt i de store "up-welling" områdene på vestsiden av kontinentene nord og sør for ekvator. På mindre skala er imidlertid sammenhengene langt fra entydige (Fauchald 2009). Framfor å finne alle arter konsentrert i noen få "hot spots" innenfor et havområde, finner man gjerne ulike arter fordelt i ulike områder (Ballance et al. 1997; Fauchald et al. 2011a). Denne fordelingen reflekterer nisjesegregering hvor ulike arter spesialisere seg på ulike næringskilder i ulike leveområder. De fleste studier viser også overraskende svake sammenhenger mellom konsentrasjoner av sjøfugl og byttedyr. Forklaringen ligger i at den romlige sammenhengene er et resultat av et spill hvor sjøfugl leter etter konsentrasjoner av byttedyr, men hvor byttedyrene flykter unna (Fauchald 2009). For å gjøre det enda mer komplisert, bruker sjøfugl hverandre i jakten på mat (Harrison 1991, Grünbaum and Veit 2003). Dykkende sjøfugl kan jage fisk opp mot overflaten hvor den blir tilgjengelig for overflatebeitende arter. Samtidig vil konsentrasjoner av sjøfugl indikere at næring er tilstede, og dermed tiltrekke seg fugler fra et større område. Resultatet av disse mekanismene er at sjøfugl gjerne samler seg i store flokker. Disse flokkene består gjerne av flere arter, de er forholdsvis flyktige, og de er ikke alltid assosiert med høye konsentrasjoner av næring.

Ansamlinger av fugl i store og flyktige flokker, gjør sjøfugl spesielt utsatt for romlig avgrensede forstyrrelser som oljesøl eller bifangst i fiskeredskaper. Selv om skadeomfanget potensielt kan være stort (se for eksempel Strann et al. 1991, Cadiou et al. 2004, Castege et al. 2007), vil det være knyttet stor usikkerhet til om en gitt forstyrrelse vil overlappe med en ansamling av sjøfugl i tid og rom. Dette betyr i klartekst at en gitt forstyrrelse i noen tilfeller kan berøre svært mange fugl mens samme forstyrrelse i mange andre tilfeller vil ha liten effekt (Fauchald et al. 2002). Viktige spørsmål for studier av sjøfugl i åpent hav har derfor vært: Hvor forutsigbare er slike ansamlinger av sjøfugl? I hvilken grad kan vi lage detaljerte kart over fordelingen av sjøfugl? For å svare på det første spørsmålet trenger man gjentatte målinger over en lengre tidsperiode. For å svare på det andre spørsmålet, må man ha god geografisk dekning av målinger, samt statistiske metoder som håndterer svært aggregerte fordelinger og store datasett.

Systematiske observasjoner av fordelingen av sjøfugl til havs har vært gjort i nærmere hundre år (Jespersen 1924). På 1960 og -70 tallet ble observasjoner av sjøfugl en integrert del av store nordamerikanske oseanografiske undersøkelser (se for eksempel Wahl et al. 1989). Delvis inspirert av disse studiene, ble systematiske undersøkelser av sjøfugl igangsatt i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet på 1980-tallet. På samme tid ble observasjonsmetodikken standardisert (Tasker et al. 1984) slik at man bedre kunne sammenligne data fra ulike studier. Nordsjøen ble i løpet av 1980 og -90 tallet grundig kartlagt av ulike forskningsinstitusjoner fra

nordsjølandene. På 1990-tallet ble det opprettet en felles database (ESAS European Seabirds At Sea) for disse dataene. Som et ledd i utredningene av mulig petroleumsvirksomhet i Barentshavet, ble det av norske myndigheter og oljeselskaper igangsatt undersøkelser i Barentshavet og deler av Norskehavet på 1980-tallet (Anker-Nilssen et al. 1987). NINA og til dels Tromsø Museum var ansvarlig for denne innsamlingen, og dataene har siden vært ivaretatt og operasjonalisert av NINA. Fra midten av 1990-tallet ble aktiviteten kraftig redusert, og datainnsamling fram til opprettelsen av SEAPOP i 2005 var fragmentarisk.

Hovedoppgavene for åpent hav arbeidet i SEAPOP har vært:

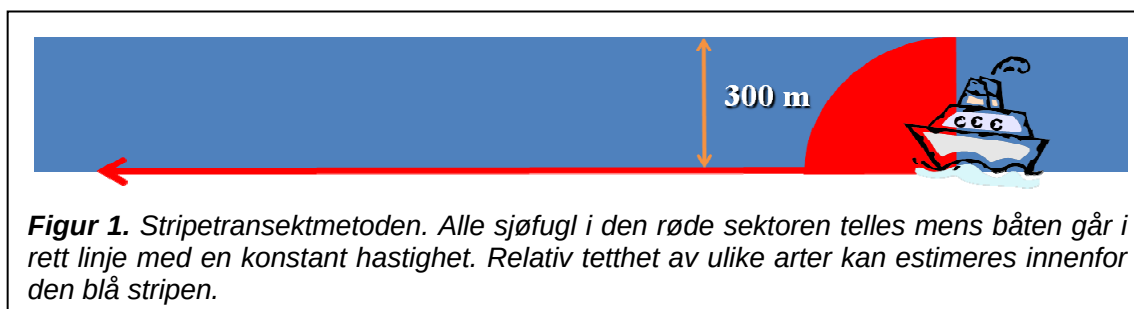
1. **Sammenstille historiske data.** Data over fordelingen av sjøfugl i norske farvann har vært lagret på ulike steder i ulike formater. Alle tilgjengelige data fra tokt samlet inn etter standard metodikk i norske farvann er blitt compilert og sammenfattet i en egen datafil.
2. **Dekke havområder og sesonger med dårlig dekning.** Gjennom ESAS samarbeidet er datatilfanget for Nordsjøen god. Fokus for datainnsamling har derfor vært Norskehavet og Barentshavet. Man har fulgt ordinære økosystemtokt i regi av Havforskningsinstituttet.
3. **Utvikle egnet statistisk metodikk.** En viktig oppgave har vært å utvikle egnet metodikk for estimering av forekomst av ulike arter i ulike sesonger og havområder. Fragmenterte og svært aggregerte data gjør slike analyser vanskelige. En rekke metoder og modeller har vært utprøvd, og den metodikken man har endt opp med er nå publisert internasjonalt (Fauchald et al. 2011a).

I denne rapporten gjennomgår vi arbeidet og resultatene fra åpent hav studiene i SEAPOP. Datatilfang og metodikk blir beskrevet og diskutert, og det blir gitt anbefalinger for videre arbeid.

2 Materiale og Metode

2.1 Observasjonsmetodikk

Data over fordelingen av sjøfugl til havs samles inn gjennom stripetransekt ("strip transect") metoden beskrevet i Tasker et al. (1984). Observatøren står som regel på brua, ca. 8-10 m over havoverflaten. Mens skipet går i rett linje med en konstant hastighet, telles alle sjøfugl innenfor en definert sektor (**figur 1**). Sektoren har en radius på 300 meter, og er avgrenset av en 90 graders vinkel mellom rett forut, og ut til den ene siden av båten. Sjøfugl bestemmes til art eller familie, og det noteres om fuglen var flygende eller satt på vannet. Observasjoner foregår utelukkende under gode observasjonsforhold. Det vil si at observasjonsforholdene må være slik at fugl med stor sannsynlighet vil oppdages innenfor 300 meters transektet.



I analysene har vi slått sammen fugl som flyr og sitter på vannet.

Noen arter følger aktivt fartøyet (skipsfølgere), og vil derfor bli overestimert med stripetransektmetoden. I våre farvann gjelder dette alle måkeartene og havhest. I en del tilfeller blir disse artene telt som punkttellinger innenfor sektoren ved jevne mellomrom. Punkttelling og stripetelling gir ulike tetthetsestimater, og i analysene skilles disse metodene fra hverandre ved å inkludere ulike metodikk som en faktor.

2.2 Feilkilder

Gitt at tellingen foregår uten feil, gir stripetransektmetoden mulighet for å estimere tetthet av fugl innenfor stripen som har vært fulgt. Feilkildene ved denne metoden er imidlertid store, og mange av disse feilkildene kan man ikke uten videre estimere eller korrigere.

Metoden antar at fuglene er i ro relativt til skipets bevegelse. Dette er nødvendigvis feil. Fugl som beveger seg mye, som en følge av migrasjon eller måten de leter etter næring på, har større sannsynlighet for å bli talt, og vil følgelig bli overestimert. Når fuglene aktivt responderer på fartøyet, fører dette også til feilkilder. Arter som aktivt følger etter båten vil bli overestimert fordi de har høyere sannsynlighet for å bli talt flere ganger. Arter som aktivt unngår båten blir derimot underestimert fordi de har mindre sannsynlighet for å befinne seg i sektoren. Arter som dykker har nødvendigvis lavere sannsynlighet for å bli oppdaget, og blir derfor underestimert. En del arter kan også aktivt dykke når fartøyet nærmer seg, noe som også fører til underestimering. Små og mørke arter er vanskelige å oppdage, og vil følgelig bli underestimert.

De overnevnte feilkildene er betydelige, og betyr at man ikke uten videre vil kunne få reelle estimater for tallrikhet eller tetthet av en gitt art. Det er viktig å merke seg at feilkildene i stor grad er knyttet til artsspesifikke forskjeller. Det betyr at man skal være forsiktig med å sammenligne estimater mellom ulike arter. Spesifikt vil store, lyse, overflatebeitende arter som følger etter båten bli systematisk overestimert. I våre farvann gjelder dette i første rekke alle måkeartene og havhest. Små mørke arter som dykker vil, på den andre siden bli systematisk underestimert. I våre farvann gjelder dette små alkefugl. Feilkildene vil derimot ikke variere så mye mellom sesonger, år eller havområder. Derfor kan man anta at de relative forskjellene man ser mellom år, havområder eller sesonger for en gitt art er reelle forskjeller, og ikke knyttet til denne typen feilkilder.

I motsetning til de artsspesifikke feilkildene, kan feilkilder som er knyttet til innsamlingen av data i mange tilfeller kontrolleres og/eller estimeres. Dette gjelder feilkilder knyttet til observasjonsforhold (vær og sikt), ulike fartøyer, ulike observatører, og distanse til fuglene som observeres. I mange tilfeller vil det imidlertid være vanskelig å skille effektene fra hverandre fordi det er fullstendig overlapp mellom for eksempel observatør og år/sesong/havområde eller mellom observatør og fartøy. I tillegg har det vært ulik praksis mht. å notere de ulike faktorene, og store mengder data hadde måttet bli forkastet hvis disse feilkildene skulle vært tatt med i analysene. Stripetransektmetoden er imidlertid en relativt enkel metode, noe som vil redusere forskjellene mellom observatører, fartøyer og observasjonsforhold. Vi antar derfor at feilkildene knyttet til observasjonsforhold er små, og at de er tilfeldig fordelt mellom havområder, år og sesonger.

2.3 Studieområder, sesonger og arter

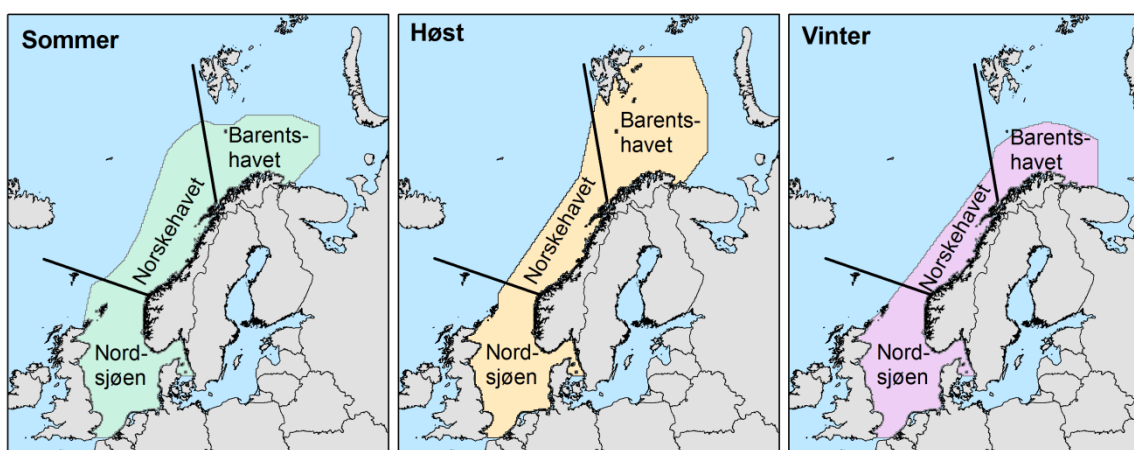
Alle norske havområder samt tilgrensende områder hvor data var tilgjengelig, og som samlet utgjorde fullstendige pelagiske økosystemer, ble inkludert i analysene. Studieområdet omfatter tre mer eller mindre avgrensede pelagiske økosystemer: Nord-sjøen (inkludert Skagerrak og Kattegat), Norskehavet og Ba-

Tabell 1. Areal (km²) av studieområdet fordelt på sesonger og havområder. Sommer er 1.april – 31.juli, høst er 1.august – 31.oktober, vinter er 1.november – 31.mars.

	Sommer	Høst	Vinter
Barentshavet	445 300	813 900	366 000
Norskehavet	600 400	413 400	283 200
Nordsjøen	615 200	573 200	569 200
Totalt	1 660 900	1 800 500	1 218 400

rentshavet (**tabell 1, figur 2**). Totalt dekker studieområdet mer enn 1.2 millioner kvadratkilometer i tre sesonger (**tabell 1**). Legg merke til at studieområdet er begrenset i nord av isutbredelsen om vinteren og sommeren i Barentshavet. Studieområdet i Norskehavet og Barentshavet var ytterligere begrenset av datagrunnlaget.

Sjøfuglenes utbredelse forandrer seg gjennom året. Det var derfor nødvendig å analysere ulike sesonger separat. Inndeling i sesonger ble gjort med utgangspunkt i når på året sjøfuglene generelt er tilknyttet hekkeplassen, og når man regner med at fuglene er knyttet til overvintringsområdene. En avveining ble gjort mellom ønsket om en størst mulig oppløsning mht sesong samtidig som dekningsgraden av data innenfor hver sesong måtte være tilstrekkelig.



Figur 2. Studieområdet fordelt på definerte havområder og sesonger.

Tabell 2. Arter som er med i analysene. Funksjonelle grupper er: Pelagisk dykkende arter (PDy), pelagisk overflatebeitende arter (POv), og kystnære overflatebeitende arter (KOv). Atferd er: Unnvikende (U) i forhold til fartøy og skipsfølger (F). For hver sesong og havområde er tetthet oppgitt som antall individer observert per 1000 km utkjørt transekt.

Norsk navn	Vitenskapelig navn	Funksjonell gruppe	Atferd	Nordsjøen			Norskehavet			Barentshavet		
				Sommer	Høst	Vinter	Sommer	Høst	Vinter	Sommer	Høst	Vinter
Alkekonge	<i>Alle alle</i>	PDy	U	0*	1	65	240	84	4036	79	284	97
Lunde	<i>Fratercula arctica</i>	PDy	U	96	44	13	657	885	1194	391	292	51
Alke	<i>Alca torda</i>	PDy	U	63	93	184	11	5	59	31	4	18
Polarlomvi	<i>Uria lomvia</i>	PDy	U	0*	0*	0*	18	15	1	210	743	1643
Lomvi	<i>Uria aalge</i>	PDy	U	564	684	432	45	69	155	110	55	65
Havhest	<i>Fulmarus glacialis</i>	POv	F	778	893	398	2484	6034	1984	2616	12855	4844
Krykkje	<i>Rissa tridactyla</i>	POv	F	288	338	353	725	381	639	1924	2983	5258
Fiskemåke	<i>Larus canus</i>	KOv	F	43	55	201	8	1*	24*	13*	14*	0*
Gråmåke	<i>Larus argentatus</i>	KOv	F	146	150	496	130	137	912	214	561	674
Svartbak	<i>Larus marinus</i>	KOv	F	26	109	191	124	163	460	151	223	176
Polarmåke	<i>Larus hyperboreus</i>	KOv	F	0*	0*	1	79	87	7	93	336	850
Havsule	<i>Morus bassanus</i>	PDy	F	68	81	57	22	38	31	5	2	4

* angir sesong og havområde hvor den aktuelle arten ikke er analysert.

Tre sesonger ble definert, og alle analyser er gjort separat for hver av disse sesongene. Sommer er perioden mellom 1. april og 31. juli. Denne sesongen representerer den perioden på året hvor de fleste arter vil ha en tilknytning til hekkeplassen. Høst er perioden mellom 1. august og 31. oktober. Dette vil for en del arter representere en periode med myting og migrasjon. Vinter er perioden mellom 1. november og 31. mars. Denne perioden representerer overvintringsperioden.

I analysene har vi fokusert på de mest tallrike artene og arter som er typiske pelagiske arter. Rene kystnære arter er ekskludert, da disse blir kartlagt i andre deler av SEAPOP programmet, og da dataene over disse artene i åpent hav toktene kun er fragmentariske fra perioder hvor toktene har gått langs land. **Tabell 2** viser arter som er med i analysene, hvilken funksjonell gruppe de tilhører, atferd i forhold til fartøy, og gjennomsnittlig tetthet i de ulike sesonger og havområder. Arter ble ekskludert fra

Tabell 3. Rødlitestatus for sjøfugl analysert i denne rapporten i hht. Kålås et al. 2010.

Norsk navn	Vitenskapelig navn	Status fastlands Norge	Status Svalbard
Alkekonge	<i>Alle alle</i>		
Lunde	<i>Fratercula arctica</i>	VU	
Alke	<i>Alca torda</i>	VU°	EN
Polarlomvi	<i>Uria lomvia</i>	VU°	NT
Lomvi	<i>Uria aalge</i>	CR	VU
Havhest	<i>Fulmarus glacialis</i>	NT°	
Krykkje	<i>Rissa tridactyla</i>	EN	NT
Fiskemåke	<i>Larus canus</i>	NT	
Gråmåke	<i>Larus argentatus</i>		
Svartbak	<i>Larus marinus</i>		
Polarmåke	<i>Larus hyperboreus</i>		NT
Havsule	<i>Morus bassanus</i>		

Rødlitestatus: Utdødd (EX), utdødd i vill tilstand (EW), regionalt utdødd (RE), kritisk truet (CR), sterkt truet (EN), sårbar (VU), nær truet (NT), datamangel (DD). °Nedgradert pga positiv påvirkning fra bestander i naboregionen.

analysene i sesonger og havområder hvor de var så fåtallig at analysene ikke lot seg gjennomføre.

Fordi vinterdrakten er ganske lik, er det vanskelig å skille lomvi og polarlomvi vinterstid. Dette er spesielt et problem i Barentshavet hvor disse to artene gjerne opptrer i samme flokker på denne tiden av året (Erikstad and Vader 1989). I datasettene fra Barentshavet om vinteren ble 21 855 individer identifisert som polarlomvi, 1 489 individer ble identifisert som lomvi og 15 726 individer ble klassifisert som uidentifisert lomvi (URISP). Fordi 94 % av de identifiserte individene var polarlomvi, antok vi at en stor overvekt av de uidentifiserte individene også ville være polarlomvi. Vi slo derfor sammen URISP med polarlomvi mens lomvi ble analysert separat. Dette vil føre til en svak underestimering av lomvi og en svak overestimering av polarlomvi i Barentshavet vinterstid.

8 av de 12 analyserte artene er oppført på den norske rødlista (**tabell 3**). Dette gjelder lunde, alke, polarlomvi, lomvi, havhest, krykkje, fiskemåke og polarmåke.

2.4 Datasett

2.4.1 Datakilder

Datagrunnlag, definert som totalt utkjørt transektlengde, fordelt på datakilde, havområde og tidsperiode er gjengitt i **tabell 4**.

ESAS-data

Datasettet fra ESAS (European Seabirds At Sea) omfatter data fra Nordsjøen fra 1981 til 2006. En rekke europeiske forskningsinstitusjoner, inkludert NINA, har bidratt med data til databasen. Alle data innsamlet etter standard metodikk (se over) ble ekstrahert fra denne databasen.

Data fra AKUP og forskningstokt

På 1980 og -90 tallet, ble en rekke tokt, finansiert av AKUP (Arbeidsutvalget for konsekvensutredning av petroleumsvirksomhet), gjennomført for å kartlegge sjøfuglforekomstene i Barentshavet og Norskehavet. På 2000 tallet ble det gjennomført noen mer spesifikke forskningstokt i de samme havområdene. Disse toktene ble finansiert av diverse oljeselskap samt Norges forskningsråd. NINA administrerer data fra disse kildene.

SEAPOP data

I 2005 startet kartlegging av sjøfugl i Barentshavet og Norskehavet i regi av SEAPOP. Toktene har primært vært gjennomført som deler av Havforskningsinstituttets økosystemtokt. Fra 2008 ble SEAPOP utvidet til også å inkludere Nordsjøen. Datatilfanget fra tokt i Nordsjøen gjennom ESAS samarbeidet har imidlertid vært ansett for å være så vidt god, at man har valgt å prioritere videre kartlegging av de nordlige havområdene.

Tabell 4. Datagrunnlag for sjøfugl i åpent hav fordelt på datakilder og havområde.

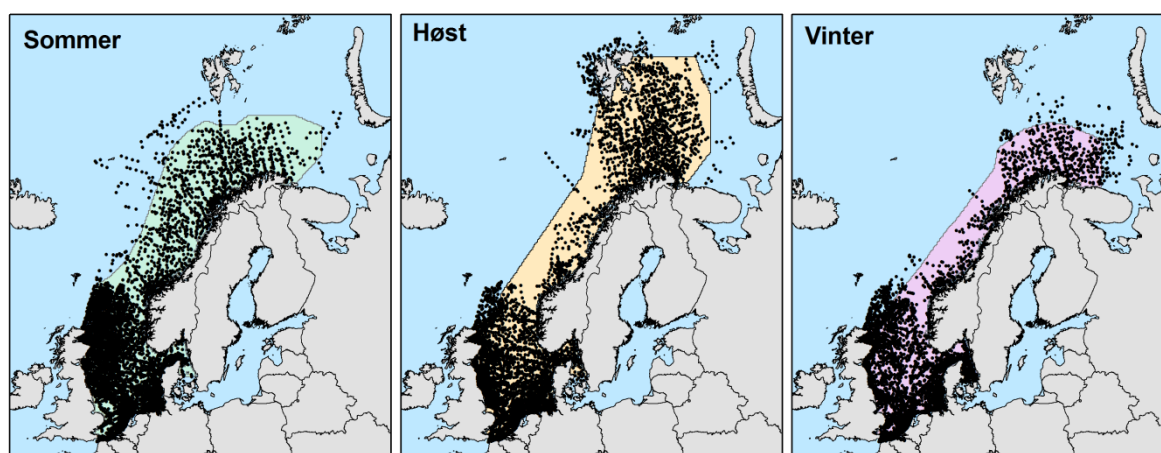
Datakilde	Havområde	Tidsperiode	Toktlengde (km)
ESAS	Nordsjøen	1981-2006	512 072
AKUP/Forskningstokt	Barentshavet	1983-2004	43 029
	Norskehavet	1984-2000	41 050
SEAPOP	Barentshavet	2005-2011	48 021
	Norskehavet	2005-2011	13 765
Totalt			657 937

2.4.2 Dekning

Totalt inneholder datagrunnlaget 657 937 km utkjørte transekter. Dataene er imidlertid svært ulikt fordelt mellom havområder, sesonger og tidsperioder. Spesielt god dekning finnes i dataene fra Nordsjøen på 1980 og -90 tallet (**tabell 5, figur 3**). Det er spesielt dårlig dekning i Norskehavet på høsten og vinteren (**tabell 5, figur 3**).

Tabell 5. Datagrunnlag for sjøfugl i åpent hav fordelt på havområder, sesong og tidsperioder. Sommer er 1.april – 31.juli, høst er 1.august – 31.oktober, vinter er 1.november – 31.mars.

Havområde	Tidsperiode	Toktlengde (km)		
		sommer	høst	vinter
Barentshavet	1980-89	9 163	6 451	5 334
	1990-99	3 158	688	10 501
	2000-09	4 907	31 607	4 050
	2010-11	2 993	8 671	0
	Sum	20 221	47 417	19 885
Norskehavet	1980-89	6 141	2 644	4 261
	1990-99	16 208	6 077	5 536
	2000-09	11 248	1 049	216
	2010-11	0	469	0
	Sum	33 597	10 239	10 013
Nordsjøen	1980-89	80 067	67 073	67 328
	1990-99	105 751	71 733	79 728
	2000-09	12 644	10 437	17 310
	2010-11	0	0	0
	Sum	198 462	149 243	164 366



Figur 3. Dekning av data i studieområdet. Hvert punkt representerer aggregerte observasjoner innenfor en radius på 25 km.

2.5 Dataanalyse

Transektdataene dekker kun tynne striper over de store havområdene hvor man ønsker å predikere sjøfuglenes utbredelse. Som en følge av flokkdannelse, inneholder dataene stor lokal variasjon i tetthet. I den grad denne variasjonen ikke kan forklares av spesifikke geografiske områder, er det ønskelig å fjerne den fra prediksjonene. For å fjerne denne typen tilfeldig lokal variasjon, og for å kunne predikere tettheter i heldekkende områder, også i områder hvor man har lite data, ble dataene modellert med geografisk fikserte forklaringsvariable i tostegs modeller. Modellene ble deretter brukt til å predikere tettheten av de ulike artene i et rutenett hvor

forklaringsvariablene var kjent. Tilsvarende analyser for Nordsjøen er presentert i Fauchald et al. (2011a).

Analysene ble utført separat for alle arter, sesonger og havområder. For å bedre estimatene i grensene mellom havområdene, ble data fra 200 km inn i tilgrensende havområder inkludert i analysene av et gitt havområde.

2.5.1 Aggregering av data

Før dataene ble modellert, ble dataene aggregert på en romlig skala som var hensiktsmessig i forhold til det totale analyseområdet. Hensikten med denne typen aggregering er å tilpasse observasjonsskalaen til skalaen til det geografiske mønsteret man ønsker å predikere. Dermed reduseres betydningen av pseudoreplikasjon, utvalgsstørrelsen blir mer håndterbar, og man glatter ut tilfeldig lokal variasjon (Fauchald et al. 2000, Ciannelli et al. 2008).

Vi valgte å bruke en observasjonsskala på 50 km. Som en følge av hyppige opphold i observasjonene og endring av transektretning, var aggregeringen av data komplisert å gjennomføre på en systematisk måte. Vi valgte en prosedyre hvor aggregeringen foregikk suksessivt og kronologisk langs de utkjørte transektene. En observasjon ble inkludert i et aggregert punkt hvis distansen fra punktet til midtpunktet i det aggregerte punktet var mindre enn 25 km, og hvis tidsforskjellen mellom punktet og gjennomsnittet i det aggregerte punktet var mindre enn 6 timer. Opphold i observasjoner og endring i transektretning gjorde at utkjørt transekt varierte mellom aggregerte punkter. Transektlengde ble derfor korrigert for i analysene. Aggregerte punkter hvor transektlengde var mindre enn 5 km ble ekskludert fra utvalget.

2.5.2 Tostegs analyser

Pelagiske organismer, inkludert sjøfugl har en aggregert romlig fordeling (Ciannelli et al. 2008). Dette betyr i praksis at romlige data av denne typen organismer inneholder mange observasjoner hvor man ikke har talt noen individer, og noen observasjoner hvor man har talt svært mange individer. På grunn av de mange nullobservasjonene, kalles denne typen data for *zero-inflated* data. Tostegs modellering er en effektiv måte å håndtere denne typen data på (Welsh et al. 1996, Barry and Welsh 2002, Zuur et al. 2009).

Hensikten med modellene er å estimere sammenhengen mellom observert tetthet av sjøfugl og geografisk fikserte forklaringsvariable, for deretter å bruke disse estimatene til å predikere tettheten i heldekkende områder hvor forklaringsvariablene er kjent.

Første steg i tostegs modellene var å modellere tilstedeværelse/ikke-tilstedeværelse av fugl. I dette steget ble det brukt binomisk fordeling med logit link funksjon. I steg to modellerte vi antallet fugl i de observasjonene hvor fugl faktisk var tilstede. I dette steget ble det brukt Gamma fordeling med log link funksjon (Fox et al. 2000). Ideelt skulle man på dette trinnet ha brukt en trunkert Poisson eller trunkert negativ binomial fordeling (Welsh et al. 1996). Sannsynligvis fordi en del observasjoner hadde svært høye verdier ville ikke disse modellene konvergere, men Gamma modellene fungerte tilfredsstillende som en tilnærming.

For å modellere sammenhengene med de geografisk fikserte forklaringsvariablene, ble det brukt ikke-lineære Generalized Additive Models (GAM) fra *mgcv* biblioteket (Wood 2006) i R v.2.10.1 (R Development Core team, 2009). Forklaringsvariable var x (vest-øst) og y (sør-nord) –retning, dyp (d) og distanse til kyst (c). Geografisk posisjon ble modellert med en todimensjonal glattingfunksjon: $g(x,y)$. d og c ble modellert med endimensjonale glattingfunksjoner: $s(\cdot)$. Tensor produkt glatting med kubiske regresjonssplinter ble brukt som basis. Optimal glatting ble definert av *Generalized Cross Validation* (GCV).

I første steg ble sannsynligheten for tilstedeværelsen av fugl modellert med logit link og binomial fordeling:

$$\text{logit}(p) = g(x, y) + s(d) + s(c) \quad (1)$$

I andre steg ble antallet fugl modellert i de observasjonene hvor antallet fugl var større enn null med $\log_e$ link og Gamma fordeling:

$$\log_e(E\{n|\text{tilstede}\}) = g(x, y) + s(d) + s(c) \quad (2)$$

hvor E er forventning. Utkjørt distanse ($\log_e$ -transformert) i hver observasjon ble brukt som *offset* i modellene.

2.5.3 Modellprediksjoner

Basert på estimatene i modellene ble *predict* funksjonen i *mgcv* biblioteket brukt til å predikere forventet geografisk fordeling av fugl på et 10x10 km² rutenett som dekket det aktuelle havområdet. Predikert sannsynlighet for tilstedeværelsen av fugl ($\hat{p}_i$) i rute i ble funnet ved hjelp av den binomiale modellen (ligning 1). På samme måte ble forventet antall fugl i rute i funnet med Gamma modellen (ligning 2). Forventet antall fugl i en gitt rute er dermed gitt ved (Barry and Welsh 2002):

$$\hat{U}_i = \hat{p}_i \hat{n}_i \quad (3)$$

2.5.4 Spesielt sårbare områder

For å identifisere spesielt sårbare områder mht. arter oppført på den Norske rødlisten, ble *kjerneområdene* definert for hver enkelt art. Den modellerte tettheten ble sortert fra høyest til lavest, og kjerneområdet ble avgrenset til de ruter som samlet inneholdt 75 % av den modellerte forekomsten i studieområdet.

2.5.5 Relasjon til andre økosystemkomponenter –samfunnsstruktur

I enkelte havområder og sesonger finnes data på andre økosystemkomponenter som er viktig for sjøfugl. Dette gjelder primært pelagisk stimfisk, fiskeyngel og dyreplankton som alle er viktige næringsemner. For å studere slike sammenhenger, ble den geografiske utbredelsen av slike dyregrupper estimert ved hjelp av tilsvarende modeller som brukt for sjøfugl (Fauchald et al. 2011a; b; Mauritzen et al. subm.). For Barentshavet ble akustisk måling av sild (*Clupea harengus*), lodde (*Mallotus villosus*) og polartorsk (*Boreogadus saida*) fra Havforskningsinstituttets økosystemtokt inkludert. For Nordsjøen ble tråltreksdata over sild og brisling (*Sprattus sprattus*) samlet inn gjennom IBTS (International Bottom Trawl Survey) (<http://datras.ices.dk/Home/>), samt CPR (Continuous Plankton Recorder) data over store zooplankton dvs. krill (*Euphausiacea* spp), *Calanus finmarchicus*, *C. helgolandicus* og *Pseudocalanus* spp./ *Paracalanus* spp. fra SAHFOS (<http://www.sahfos.ac.uk/>) inkludert. For å undersøke hvordan leveområdene til de ulike artene var fordelt i forhold til hverandre, ble datasettene med de modellerte utbredelsesmønstrene analysert med prinsipal komponent analyser (PCA).

2.5.6 Estimering av forskjeller mellom år

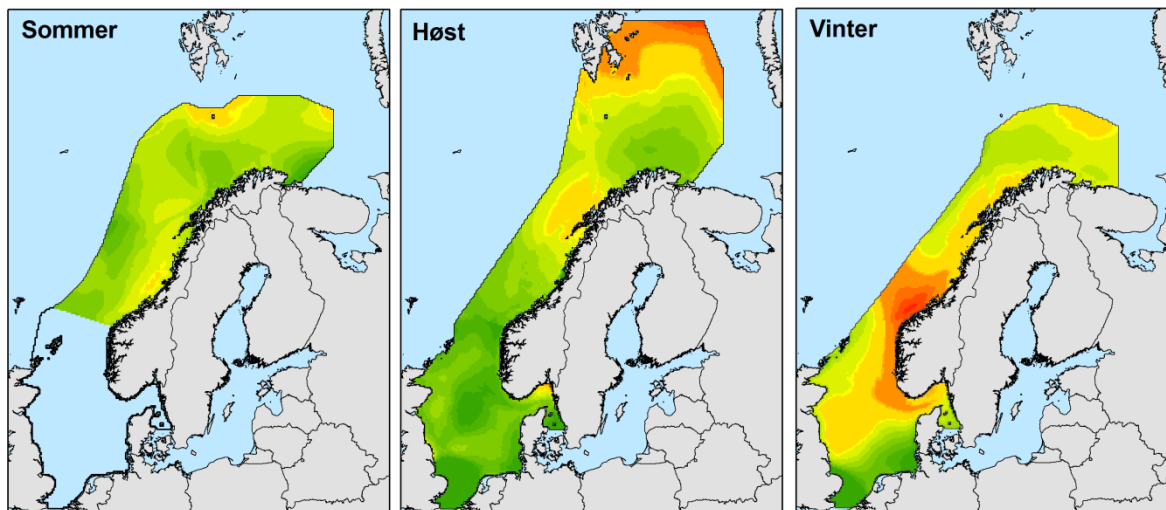
Tallrikhet av fugl i et havområde endrer seg mellom år (Fauchald et al. 2011 a,b). Totalt sett er datasettene i åpent hav for fragmenterte til å estimere denne variasjonen. Derfor ble ikke år tatt med i analysene som estimerte generell geografisk utbredelse. I noen havområder har man imidlertid relativt systematisk dekning av samme havområde i samme sesong gjennom flere suksessive år. I slike tilfeller kan man estimere effekten av år ved å inkludere år som en faktor i analysene over (ligning 1,2 og 3: se Fauchald et al. 2011, a,b). Slike analyser ble gjort for Nordsjøen på vinteren og sommeren, og for Barentshavet på vinteren og høsten.

3 Resultater

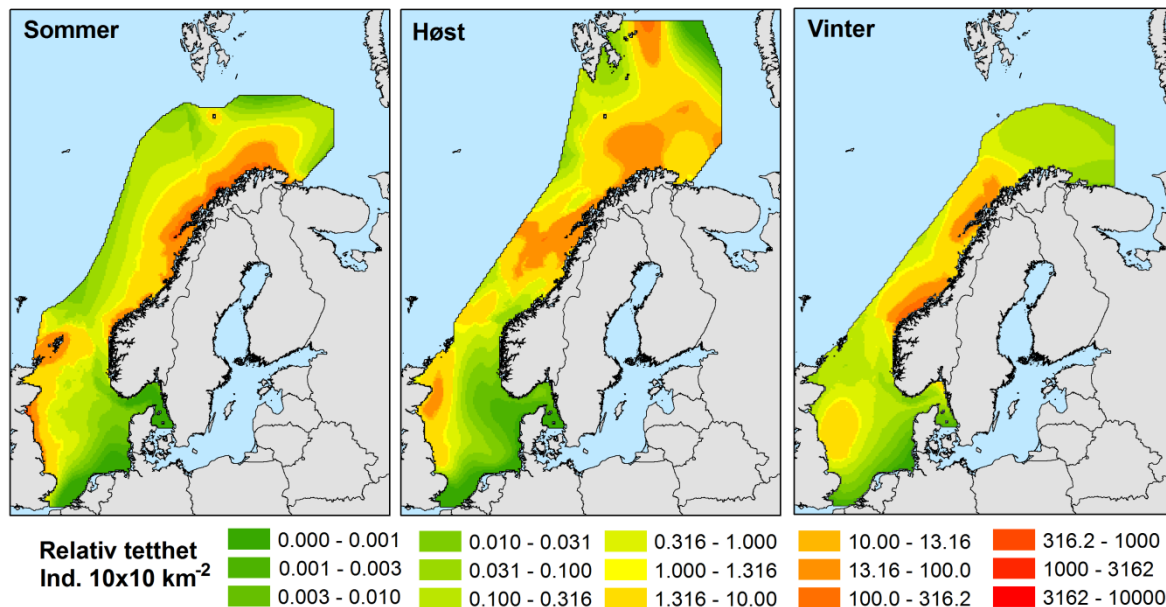
3.1 Geografisk og sesongmessig fordeling av sjøfugl

Predikert fordeling av de ulike artene er vist i **figur 4,5,6,7 og 8**. Forventet antall individer i hver 10x10 km² rute er oppgitt. Verdiene er ikke korrigert for oppdagbarhet, og må derfor tolkes relativt fra art til art. Legg merke til at fargeskalaen er logaritmisk og lik for alle arter. Havområdene er analysert separat noe som resulterer i forskyvninger/bråe endringer i forventet tetthet i grensen mellom havområdene for noen arter. Havområder uten predikerte verdier for en art er ikke analysert pga. svært lav tetthet av arten.

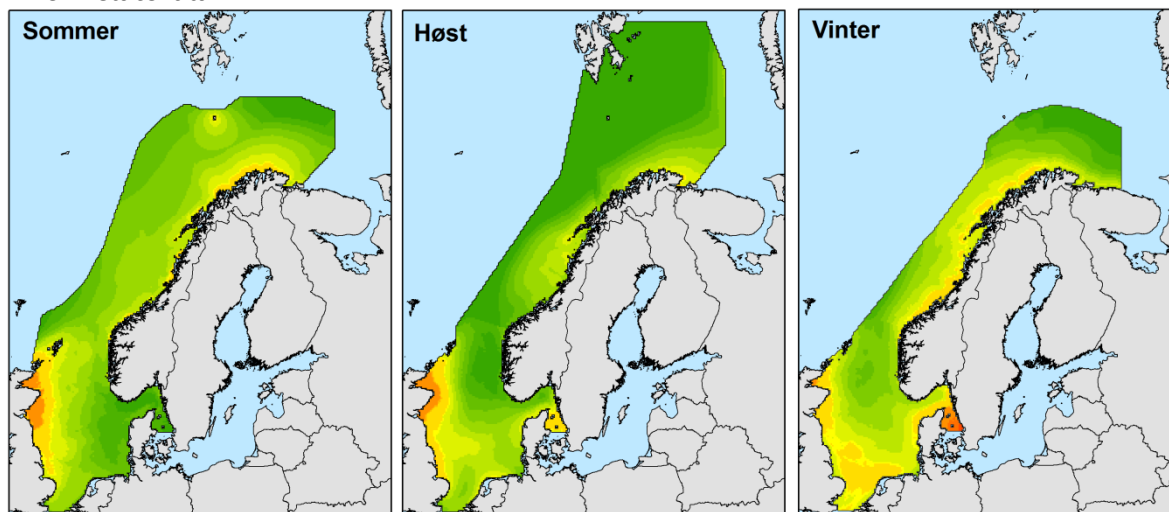
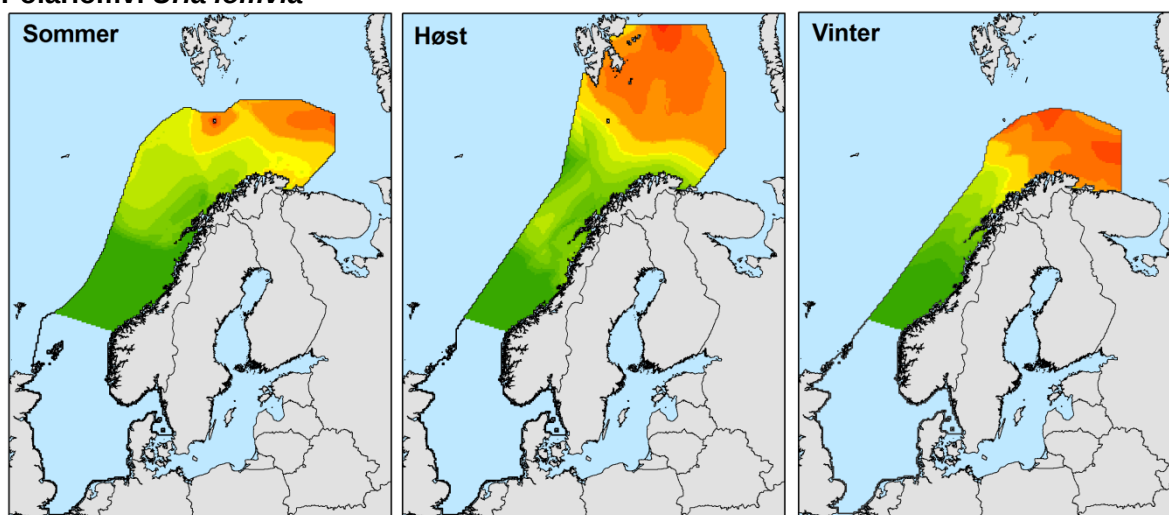
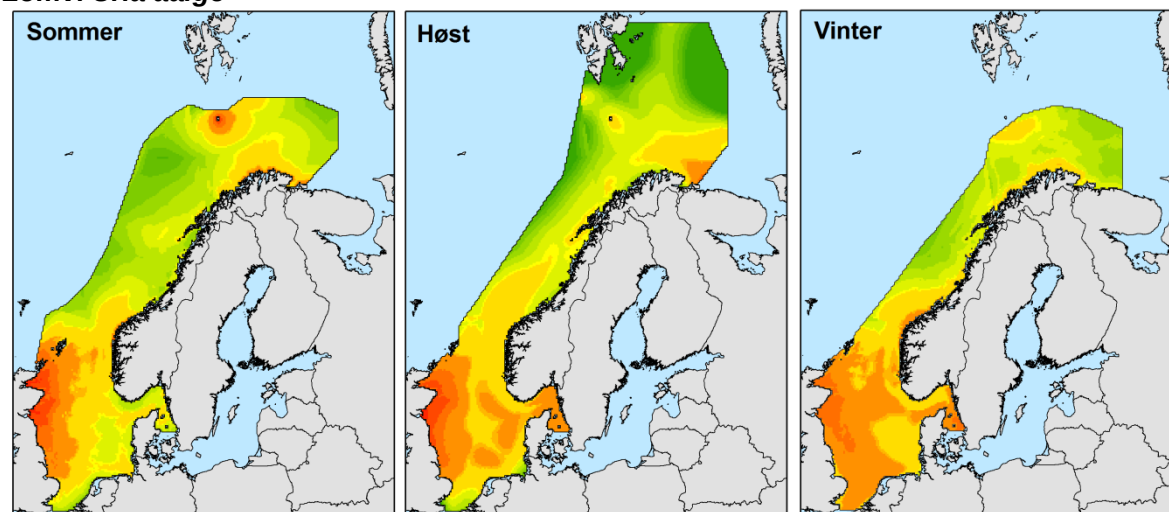
Alkekonge *Alle alle*



Lunde *Fratercula arctica*

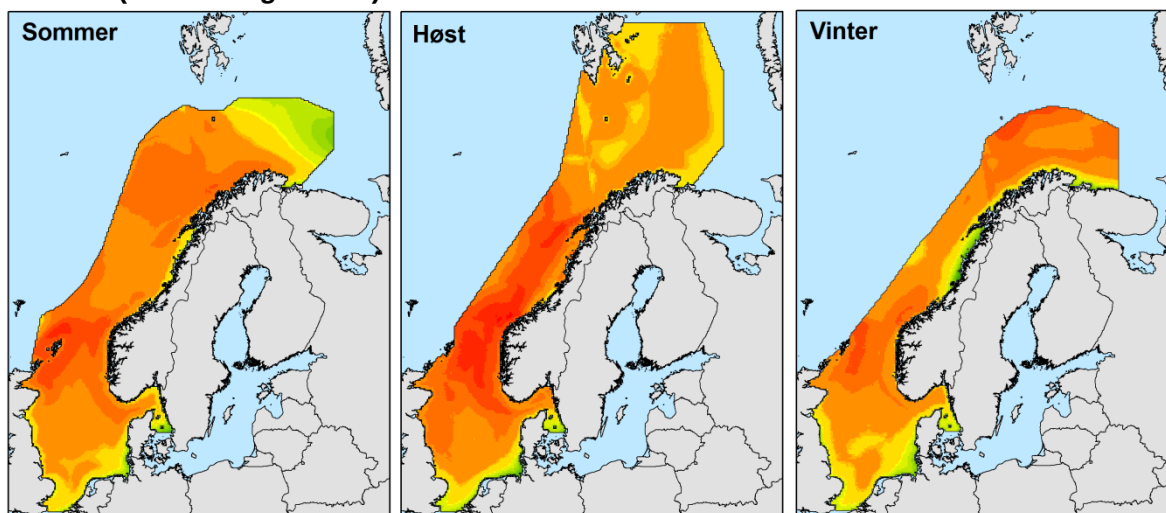
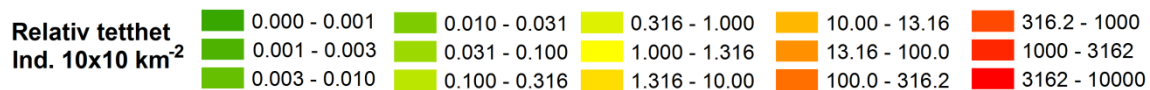
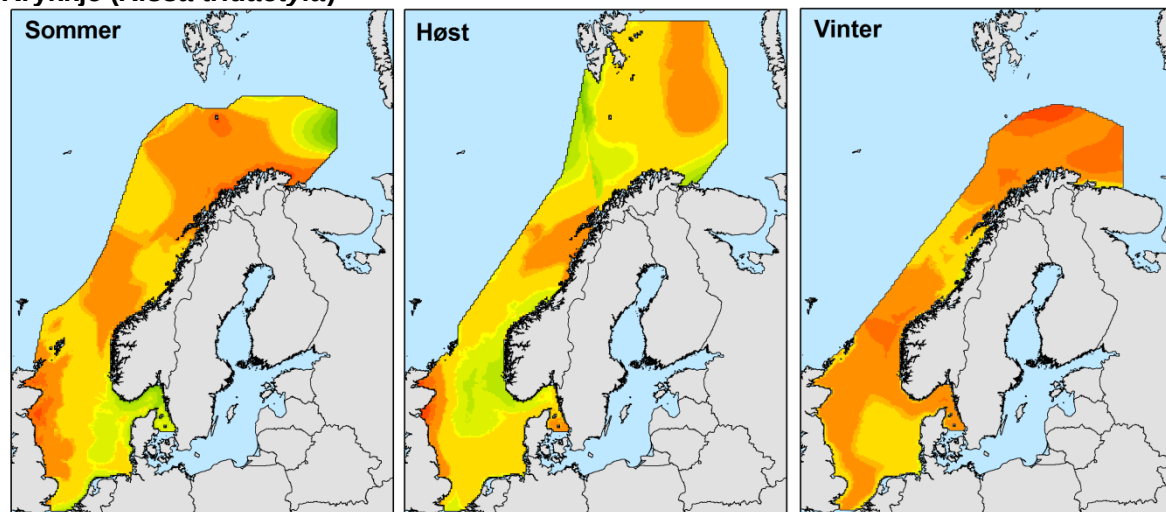


Figur 4. Modellert fordeling av alkekonge og lunde om sommeren (1.4-1.7), høsten (1.8-31.10) og vinteren (1.11-31.3). Merk at estimatene ikke er korrigert for oppdagbarhet.

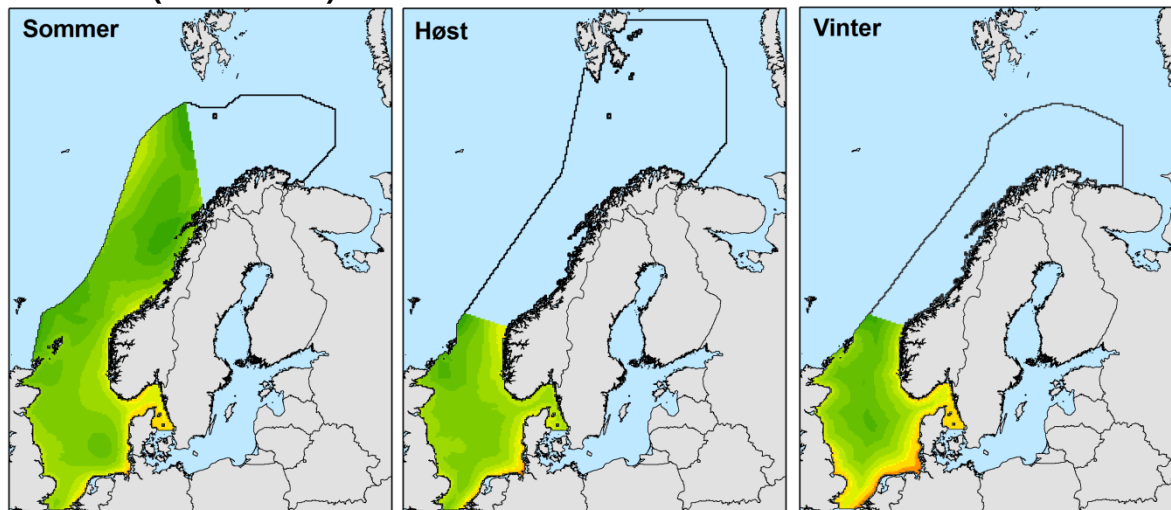
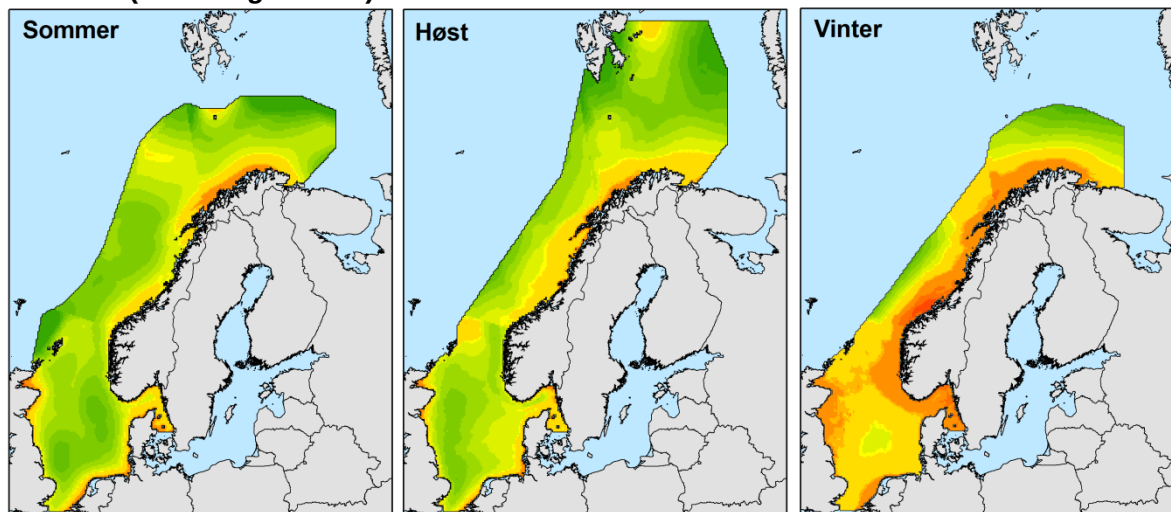
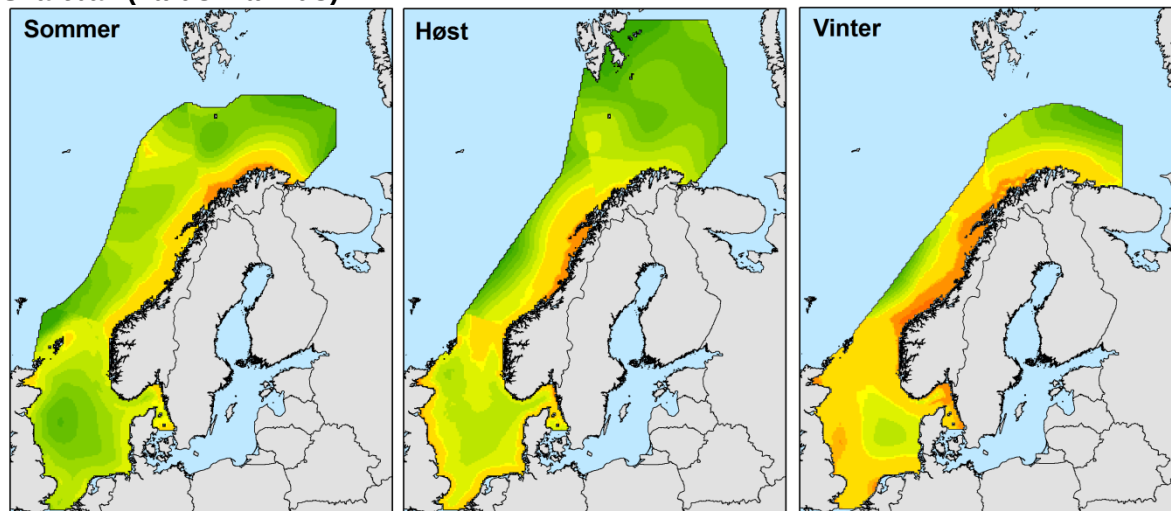
Alke *Alca torda***Polarlomvi *Uria lomvia*****Lomvi *Uria aalge***

Relativ tetthet	0.000 - 0.001	0.010 - 0.031	0.316 - 1.000	10.00 - 13.16	316.2 - 1000
Ind. 10x10 km ²	0.001 - 0.003	0.031 - 0.100	1.000 - 1.316	13.16 - 100.0	1000 - 3162
	0.003 - 0.010	0.100 - 0.316	1.316 - 10.00	100.0 - 316.2	3162 - 10000

Figur 5. Modellert fordeling av alke, polarlomvi og lomvi om sommeren (1.4-1.7), høsten (1.8-31.10) og vinteren (1.11-31.3). Merk at estimatene ikke er korrigert for oppdagbarhet.

Havhest (*Fulmarus glacialis*)**Krykkje (*Rissa tridactyla*)**

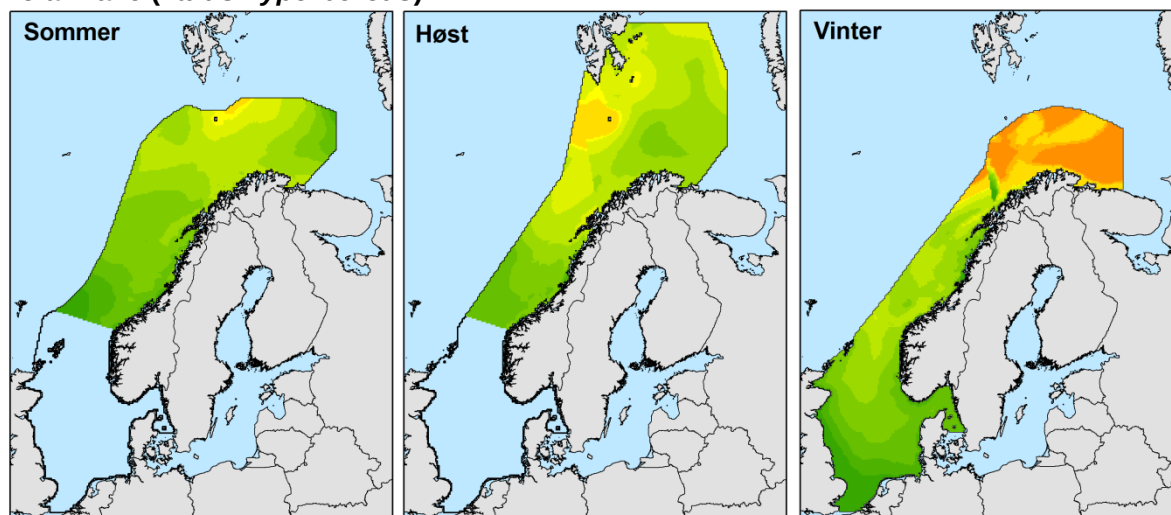
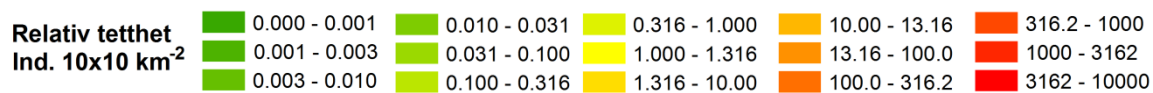
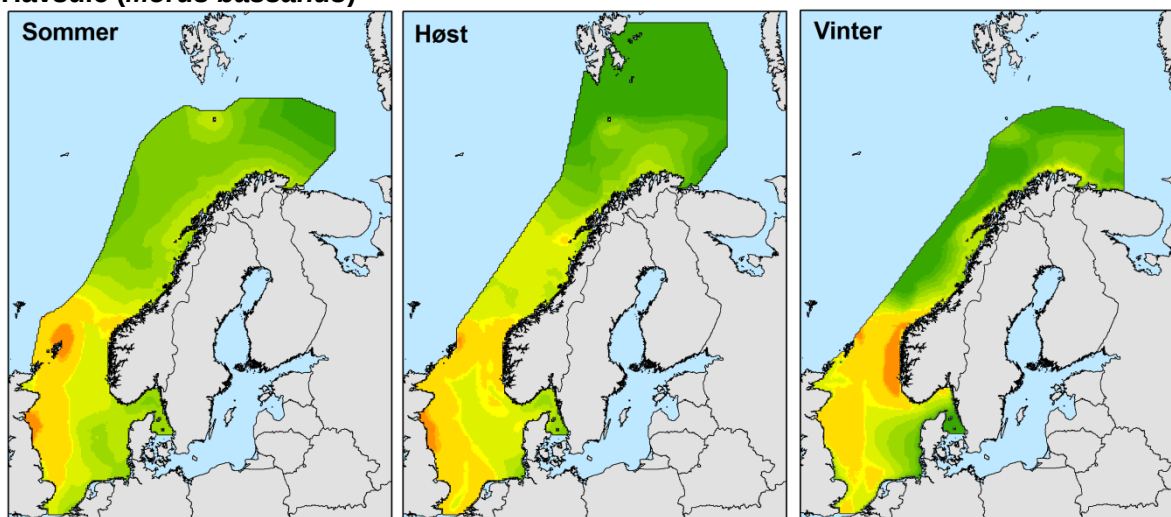
Figur 6. Modellert fordeling av havhest og krykkje om sommeren (1.4-1.7), høsten (1.8-31.10) og vinteren (1.11-31.3). Merk at estimatene ikke er korrigert for oppdagbarhet.

Fiskemåke (*Larus canus*)**Gråmåke (*Larus argentatus*)****Svartbak (*Larus marinus*)**

Relativ tetthet
Ind. 10x10 km²

0.000 - 0.001	0.010 - 0.031	0.316 - 1.000	10.00 - 13.16	316.2 - 1000
0.001 - 0.003	0.031 - 0.100	1.000 - 1.316	13.16 - 100.0	1000 - 3162
0.003 - 0.010	0.100 - 0.316	1.316 - 10.00	100.0 - 316.2	3162 - 10000

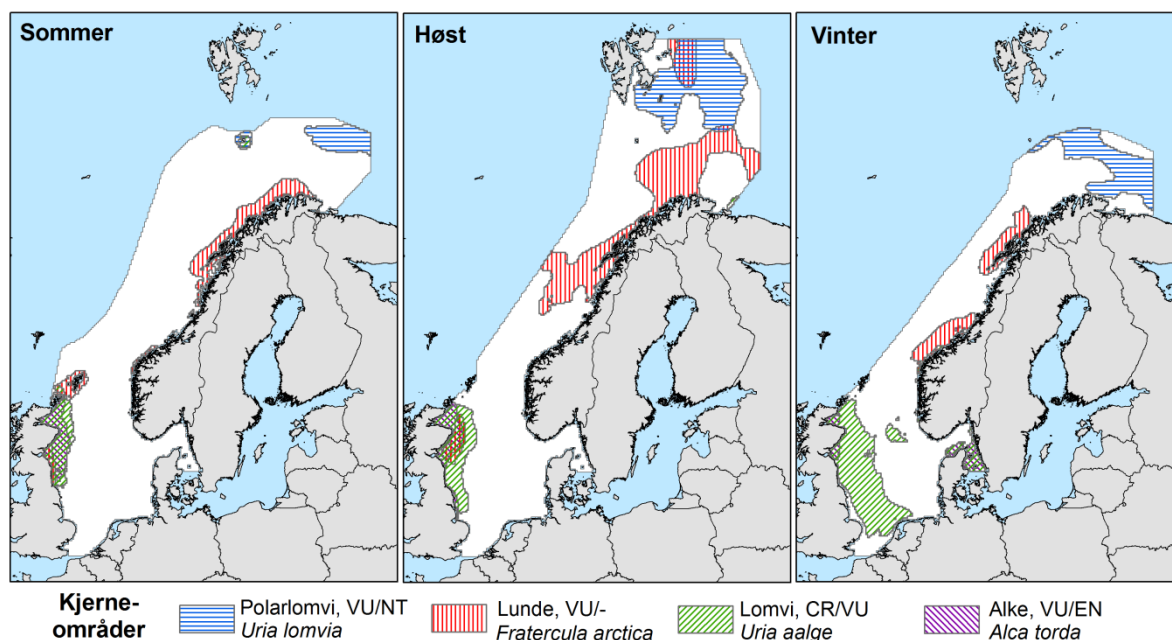
Figur 7. Modellert fordeling av fiskemåke, gråmåke og svartbak om sommeren (1.4-1.7), høsten (1.8-31.10) og vinteren (1.11-31.3). Merk at estimatene ikke er korrigert for oppdagbarhet.

Polarmåke (*Larus hyperboreus*)**Havsule (*Morus bassanus*)**

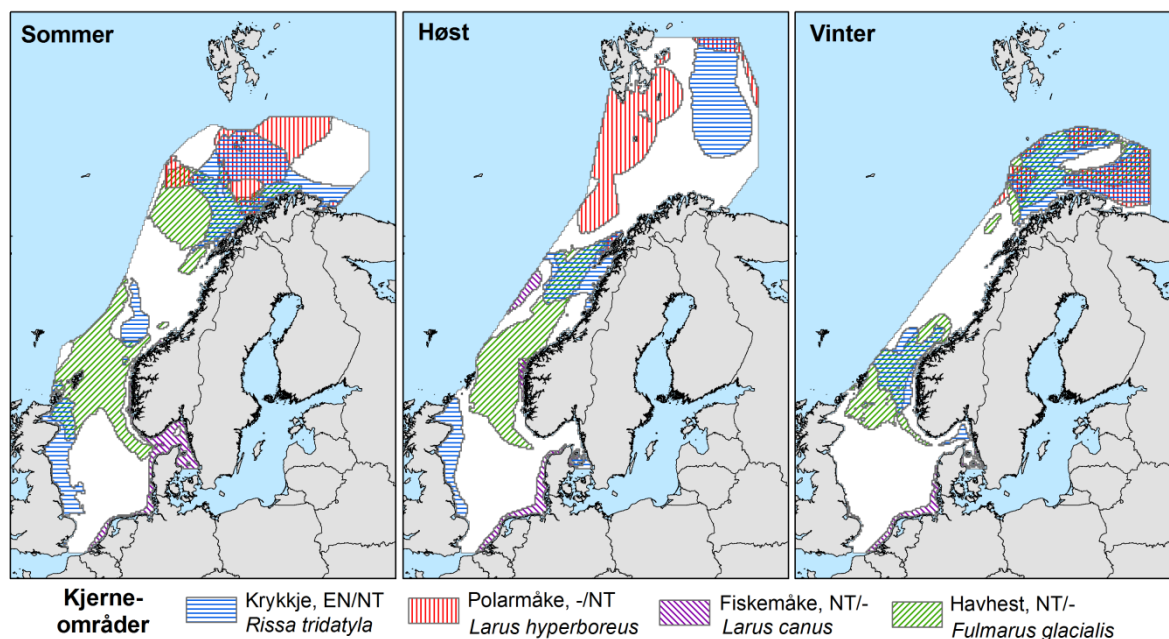
Figur 8. Modellert fordeling av polarmåke og havsule om sommeren (1.4-1.7), høsten (1.8-31.10) og vinteren (1.11-31.3). Merk at estimatene ikke er korrigert for oppdagbarhet.

3.2 Spesielt sårbare områder

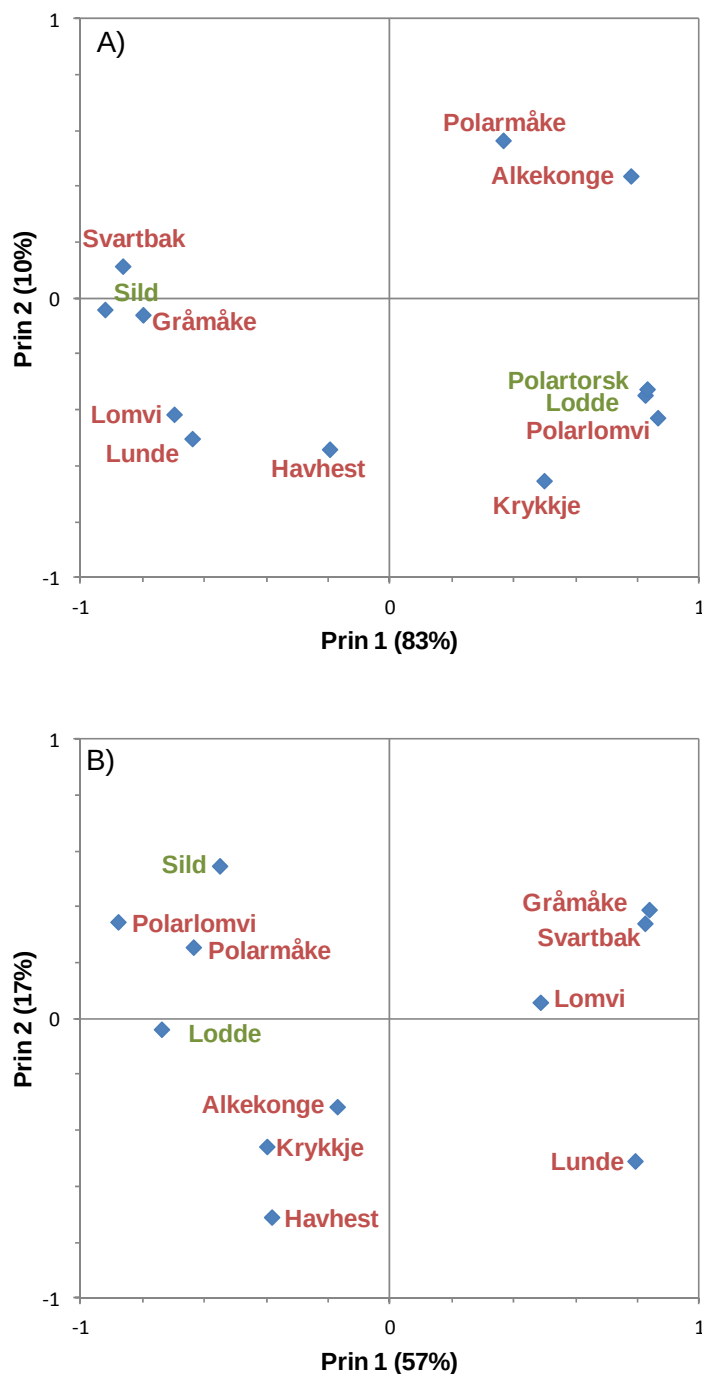
Fra fordelingsmodellene ble kjerneområdene til arter som stod oppført i den norske rødlisten beregnet (**tabell 3**). Et kjerneområde for en art ble definert som det minste området hvor 75 % av alle individer innenfor studieområdet ble modellert til å være. **Figur 9** viser kjerneområdene til alkefugl, og **figur 10** viser kjerneområdene til pelagisk overflatebeitende arter. Merk at alkefuglene regnes for å være spesielt sårbare mht. forstyrrelser som oljesøl (Anker-Nilssen 1987) og drukning i fiskegarn (Christensen-Dalsgaard et al. 2008).



Figur 9. Kjerneområdene til alkefugl oppført i den norske rødlisten. Sommer (1.4-1.7), høst (1.8-31.10) og vinter (1.11-31.3). Kjerneområder er områder med den høyeste konsentrasjonen av arten, og inneholder 75% av den modellerte forekomsten i studieområdet. Rødlistestatus (se tabell 3) for Norge(fastland)/Svalbard er oppgitt for hver enkelt art.



Figur 10. Kjerneområdene til pelagisk overflatebeitende sjøfugl oppført i den norske rødlisten. Sommer (1.4-1.7), høst (1.8-31.10) og vinter (1.11-31.3). Kjerneområder er områder med den høyeste konsentrasjonen av arten, og inneholder 75% av den modellerte forekomsten i studieområdet. Rødlistestatus (se tabell 3) for Norge(fastland)/Svalbard er oppgitt for hver enkelt art.

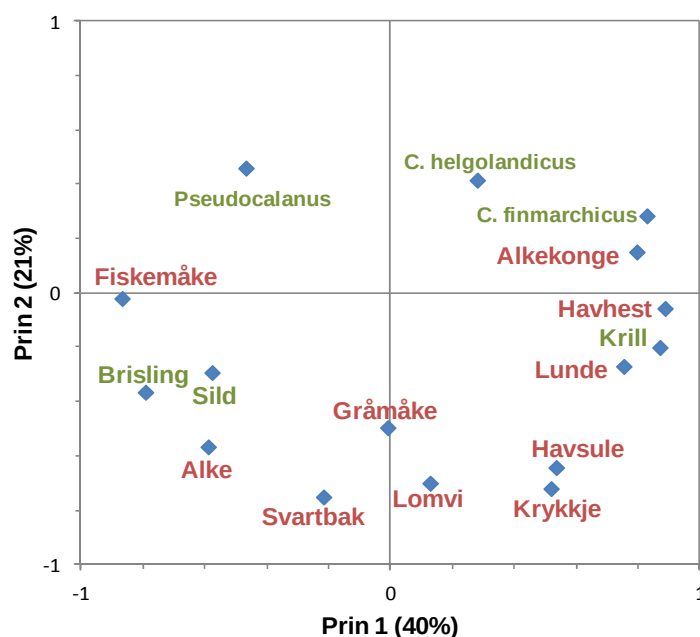


Figur 11. Prinsippal komponent analyse over den modellerte utbredelsen av sjøfugl (rød) og byttedyr (grønn) i Barentshavet om A) høsten (1.8-31.10) og B) vinteren (1.11-31.3). Punktene viser korrelasjonen mellom utbredelsen til arten og hhv. førsteaksen (Prin1) og andreaksen (Prin2). Prosent forklart variasjon for de to prinsippalene er oppgitt i parentes.

3.3 Samfunnsstruktur i Barentshavet og Nordsjøen

Prinsippal komponent analyse (PCA) ble utført på de modellerte dataene over sjøfugl og viktige byttedyr i Barentshavet om høsten og vinteren (figur 11) og Nordsjøen om vinteren (figur 12). Kun pelagisk fisk er med som byttedyr i datasettene for Barentshavet mens pelagisk fisk og større zooplankton er med i analysene fra Nordsjøen. Analysene viser klare geografiske inndelinger hvor ulike arter oppholder seg i ulike leveområder. Leveområdene overlapper i varierende grad med leveområdene til viktige byttedyr, og reflekterer en romlig nisjesegregering mellom arter.

Utbredelsesmønsteret til sjøfugl og byttedyr i Barentshavet om høsten kunne i stor grad forklares av førsteaksen (83 %). Denne aksen reflekterte en geografisk gradient fra sør, hvor man finner sild, lomvi, lunde, svartbak og gråmåke, til nord hvor man finner lodde, polartorsk, polarmåke, krykkje, polarlomvi og alkekonge (figur 11A). Om vinteren er den nordlige delen av Barentshavet dekket av is, og analysene er kun gjort i de isfrie sørlige områdene. Legg merke til at polartorsk ikke er med i analysen, da denne arten for en stor del befinner seg under isen i nord og øst. Fordi analysene dekker et mindre område, viser ikke vinteranalysen en like sterk gradient i leveområder som høstanalysen. Førsteaksen forklarte 57 % av variasjonen, og beskriver



Figur 12. Prinsipal komponent analyse over den modellerte utbredelsen av sjøfugl (rød) og byttedyr (grønn) i Nordsjøen om vinteren (1.11-31.3). *Pseudocalanus* er *Paracalanus* spp. og *Pseudocalanus* spp. Punktene viser korrelasjonen mellom utbredelsen til arten og hhv. førsteaksen (Prin1) og andreaksen (Prin2). Prosent forklart varians for de to prinsipalene er oppgitt i parentes.

en gradient fra de sentrale områdene i studieområde med sild, lodde, polarlomvi og polarmåke til kysten av Nord Norge med gråmåke og svartbak.

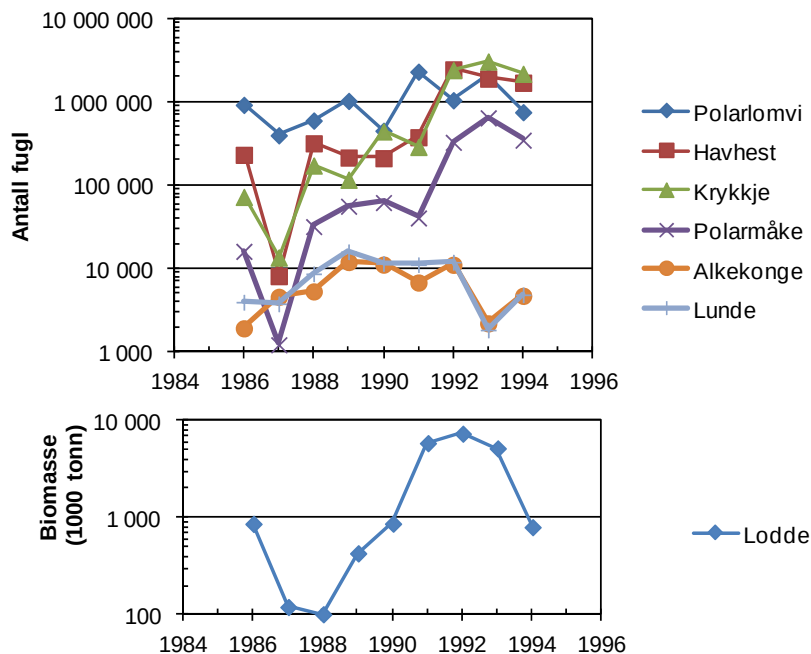
I vinteranalysen for Nordsjøen er data over fordelingen av større zooplankton, i tillegg til brisling og sild, tatt med. Analysene viser en kompleks samfunnsstruktur hvor førsteaksen primært forklares av en gradient fra sørlige områder med, brisling, sild, pseudocalanus, fiskemåke og alke til et mer Atlantisk dominert havområde i nord dominert av *C. finmarchicus*, krill, alkekonge, havhest, og lunde. Andreaksen deler systemet inn i arter som finnes sentralt (pseudocalanus og *C. helgolandicus*) versus langs kysten i øst og vest (lomvi og svartbak).

3.4 Variasjon i tallrikhet mellom år

Årlig tallrikhet ble estimert for havområder og områder med spesielt god dekning gjennom flere år. Analysene ble begrenset til arter som var observert i alle år. Tallrikhet for Barentshavet om vinteren er vist i **figur 13** og for høsten i **Figur 14**. Tilsvarende data er vist for Nordsjøen i **figur 15**. Utvikling i tallrikhet for en viktig byttedyrart (lodde i Barentshavet og sild i Nordsjøen) er vist for sammenligning. Variasjonen i tallrikhet fra år til år var betydelig. I størrelsesorden tilsvarte variasjonen i tallrikhet av sjøfugl variasjonen i mengden av byttedyr. For eksempel varierte den estimerte mengden av lomvi i Nordsjøen om vinteren fra 50 000 individer i 1982 til nærmere 1 million individer i 1990. Tilsvarende variasjoner fant vi for alle de undersøkte arter og sesonger.

En del arter samvarierte mellom år. I Barentshavet gjaldt dette spesielt for vintersesongen hvor en gruppe bestående av polarlomvi, havhest, krykkje og polarmåke generelt var positivt korrelert med hverandre og med loddebestanden (**figur 13, tabell 6a**). Alkekonge og lunde var også positivt korrelert, men var ikke korrelert med lodde. I Barentshavet på høsten finner man svake korrelasjoner mellom arter og ingen positiv korrelasjon med loddebestanden (**figur 14, tabell 6b**). Om høsten viste alle arter, med unntak av havhest, en negativ trend de siste 10 årene. Loddebestanden har imidlertid økt i den samme perioden (**figur 14**).

Om vinteren i Nordsjøen var det stor grad av samvariasjon mellom alle de undersøkte artene (**tabell 7a**). De fleste artene samvarierte også positivt med mengden sild i systemet. Om sommeren var det positive korrelasjoner mellom pelagisk dykkende arter (lomvi, alke, lunde og havsule) og mellom de pelagisk overflatebeitende artene (krykkje havhest, fiskemåke, svartbak og gråmåke). I denne perioden var det bare de pelagisk dykkende artene som samvarierte med mengden sild.

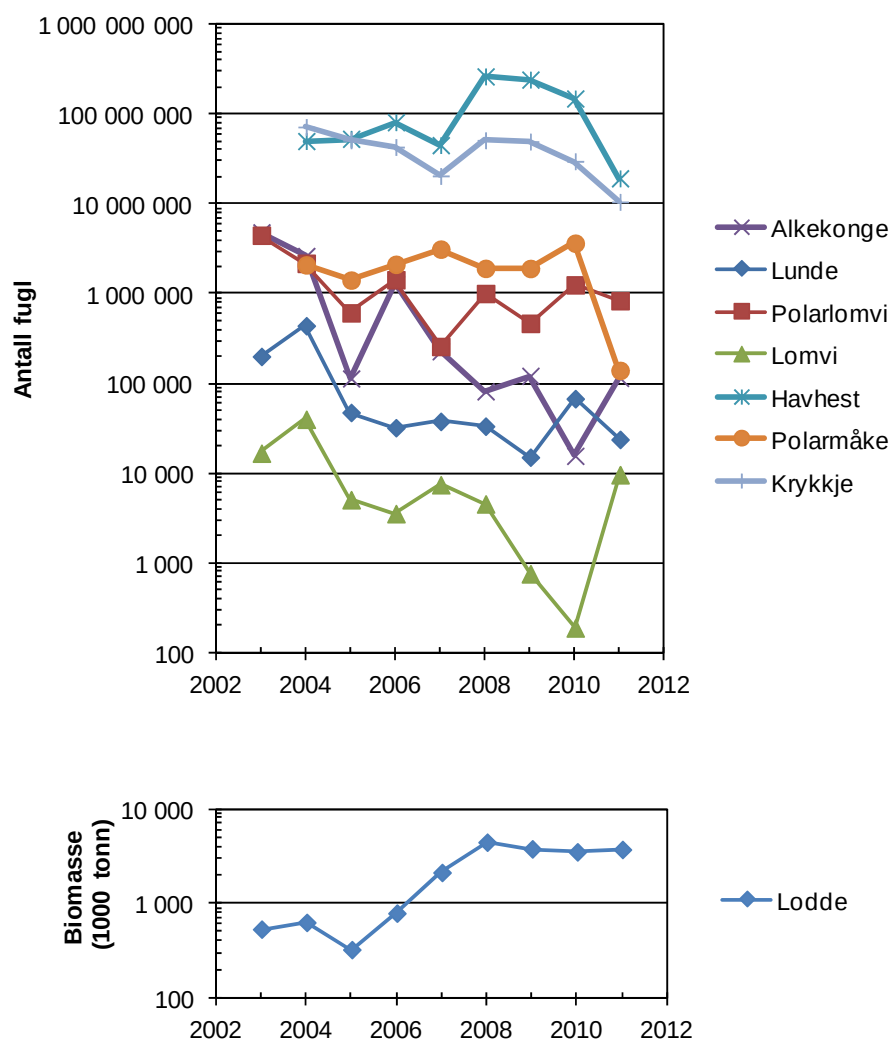


Figur 13. Årlig estimert tallrikhet av sjøfugl i Barentshavet om vinteren (1.11-31.3) fra 1986 til 1994 (øverst), og total biomasse av lodde estimert om høsten (nederst). Sjøfugldata er ikke korrigert for oppdagbarhet. Loddedata er hentet fra <http://ICES.dk>.

Tabell 6. Korrelasjonsmatrise mellom tallrikhet av noen sjøfuglarter og loddebestand i Barentshavet om a) vinteren 1986-1994 og b) høsten 2003-2011. Loddedata er fra <http://ICES.dk>. Signifikante korrelasjoner ($P < 0.05$) er uthevet.

a)	Polarlomvi	Alkekonge	Lunde	Krykkje	Havhest	Polarmåke
Alkekonge	-0.20					
Lunde	-0.09	0.90				
Krykkje	0.47	0.06	-0.07			
Havhest	0.58	0.00	0.01	0.94		
Polarmåke	0.53	0.07	-0.01	0.97	0.96	
Lodde	0.78	0.02	-0.01	0.70	0.69	0.66

b)	Lomvi	P.lomvi	A.konge	Lunde	Krykkje	Havhest	P.måke	Svartbak	Gråmåke
Polarlomvi	0.31								
Alkekonge	0.75	0.59							
Lunde	0.52	0.71	0.60						
Krykkje	0.04	0.38	0.36	0.43					
Havhest	-0.62	0.04	-0.34	-0.22	0.57				
Polarmåke	-0.34	-0.02	0.03	0.28	0.62	0.61			
Svartbak	-0.01	0.14	-0.09	0.51	0.28	-0.21	0.05		
Gråmåke	-0.37	0.05	-0.42	0.31	0.31	0.23	0.58	0.51	
Lodde	-0.52	-0.41	-0.66	-0.58	-0.46	0.37	-0.16	-0.53	-0.32



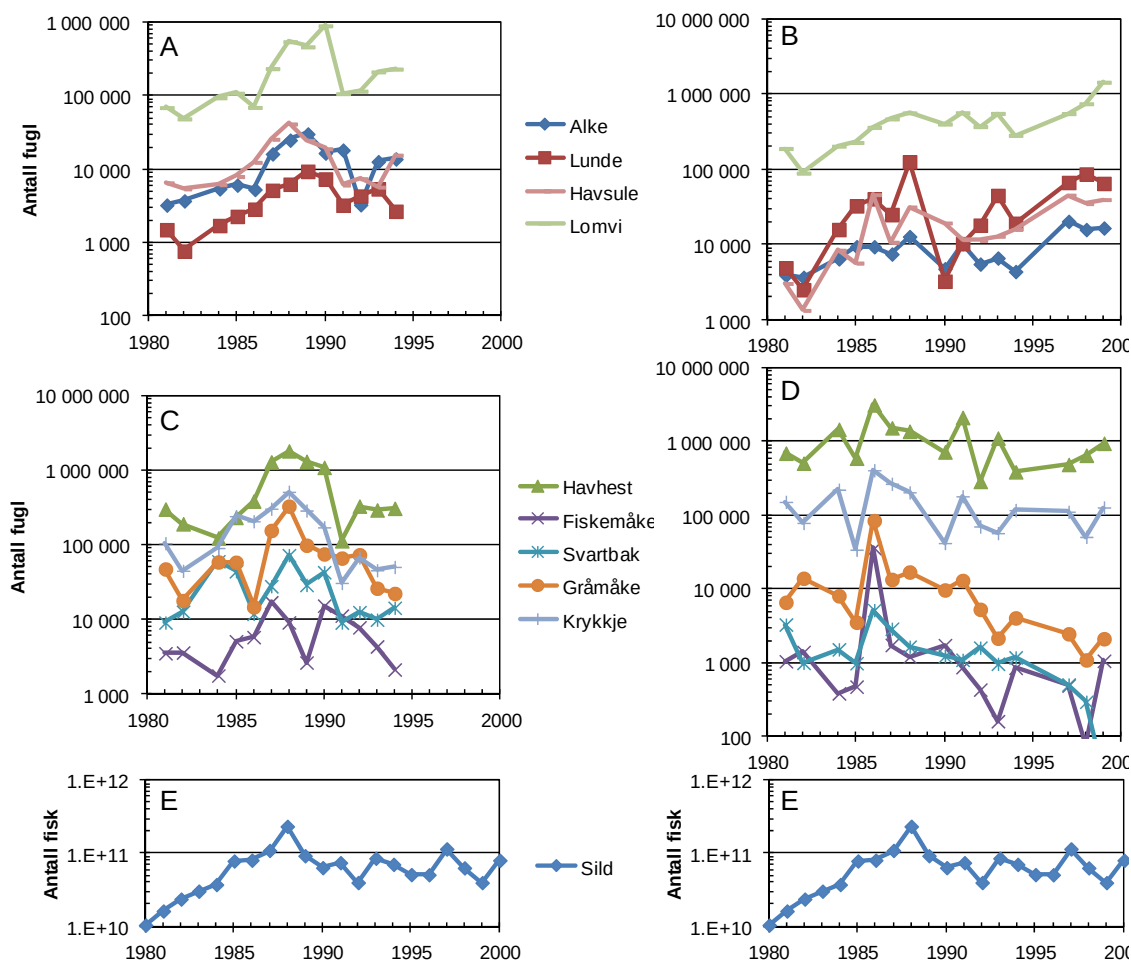
Figur 14. Årlig estimert tallrikhet av sjøfugl i Barentshavet om høsten (1.8-31.10) fra 2003 til 2011 (øverst), og total biomasse av lodde estimert om høsten (nederst). Sjøfugldata er ikke korrigert for oppdagbarhet. Loddedata er hentet fra <http://ICES.dk>.

4 Diskusjon

4.1 Sjøfuglsamfunn og endringer i tallrikhet

Sjøfugl i norske og tilgrensede havområder er fordelt i mer eller mindre forutsigbare leveområder (**Figur 4-8**). Leveområdene reflekterer fuglenes tilpasninger til det marine miljø, og illustrerer til en viss grad romlig nisjesegregering hvor ulike arter er spesialisert på ulike typer byttedyr. Innenfor de spesifikke habitatene er fuglene fordelt i flyktige og uforutsigbare flokker og ansamlinger (Fauchald et al. 2000, Fauchald and Erikstad 2002, Fauchald et al. 2011a).

Det har vært mye fokus på eksistensen av spesielle pelagiske "hot-spots" med høy biologisk produksjon, og hvor man kan forvente å finne høye konsentrasjoner av sjøfugl (Nur et al. 2011). Studier fra norske farvann viser at sjøfugl definitivt er aggregert i flokker og store aggregasjoner (Fauchald and Erikstad 2002; Fauchald et al. 2000; 2011a), men i våre havområder er imidlertid disse ansamlingene ofte flyktige, og varierer i plassering mellom år (Fauchald et al. 2002; Fauchald et al. 2011b). Med unntak av områdene nært de store sjøfuglkoloniene, detekterer ikke analysene noen velavgrensede og forutsigbare "hot-spots" for sjøfugl i norske havområder (**se Figur 4-9**). Artene er fordelt i ulike områder, og ingen områder peker seg distinkt ut. Polarfronten og eggakanten, som har vært antatt å være et spesielt viktig habitat med store konsentrasjoner av sjøfugl (se for eksempel Mehlum et al. 1998), skiller seg for eksempel ikke ut i vårt datamateriale. Biologiske "hot-spots" dannes i områder med sterke og forutsigbare



Figur 15. Årlig estimert tallrikhet av sjøfugl i Nordsjøen om vinteren (1.11-31.3) (venstre panel) og sommeren (1.4-31.7) (høyre panel). A og B er pelagisk dykkende fugl, C og D er overflatebeitende fugl. E er abundans av sild hentet fra Fauchald et al. 2011b.

Tabell 7. Korrelasjonsmatrise mellom tallrikhet av noen sjøfuglarter og sildebestand i Nordsjøen om a) vinteren 1981-1994 og b) sommeren 1981-2000. Sildedata er fra Fauchald et al. 2011b. Signifikante korrelasjoner ($P < 0.05$) er uthevet.

a)	Lomvi	Alke	Lunde	Havsule	Krykkje	Havhest	F.måke	Svartbak	Gråmåke
Alke	0.81								
Lunde	0.85	0.76							
Havsule	0.77	0.70	0.67						
Krykkje	0.48	0.33	0.46	0.78					
Havhest	0.78	0.59	0.73	0.91	0.78				
Fiskemåke	0.35	0.29	0.45	0.35	0.27	0.42			
Svartbak	0.53	0.35	0.30	0.55	0.69	0.45	0.08		
Gråmåke	0.59	0.52	0.57	0.62	0.61	0.61	0.47	0.64	
Sild	0.65	0.79	0.72	0.72	0.54	0.58	0.40	0.45	0.51
b)	Lomvi	Alke	Lunde	Havsule	Krykkje	Havhest	F.måke	Svartbak	Gråmåke
Alke	0.75								
Lunde	0.68	0.81							
Havsule	0.82	0.74	0.74						
Krykkje	0.05	0.11	0.14	0.20					
Havhest	0.24	0.25	0.19	0.26	0.67				
Fiskemåke	-0.16	-0.15	-0.20	0.10	0.61	0.49			
Svartbak	-0.58	-0.53	-0.34	-0.32	0.34	0.25	0.41		
Gråmåke	-0.35	-0.28	-0.30	-0.10	0.65	0.59	0.87	0.68	
Sild	0.48	0.55	0.66	0.63	0.14	0.32	0.05	0.08	0.10

gradienter i biologisk produksjon (se for eksempel Worm et al. 2003, Morato et al. 2010). Analysene av sjøfugl antyder at gradientene i våre farvann ikke er sterke nok til å generere slike fenomener. Imidlertid er miljøgradientene sterke nok til å skape rimelig forutsigbar nisjesegregering mellom ulike arter.

I områder hvor man har god geografisk dekning gjennom flere år, kan man estimere hvordan tallrikhet av ulike arter varierer fra år til år. Analysene viser at antall sjøfugl som oppholder seg i et havområde varierer svært mye mellom år. Dette gjelder både Barentshavet og Nordsjøen i alle de undersøkte sesonger og for alle arter. Denne variasjonen er i størrelsesorden like stor som variasjonen i biomassen av små pelagisk stimfisk som sild og lodde. For eksempel har det estimerte antallet polarlomvi i den vestlige delen av Barentshavet tidlig på høsten variert mellom 4.5 millioner og 250 tusen individer de siste ni årene.

Ulike arter samvarierer, og det er grunn til å tro at denne variasjonen er knyttet til endringer i det marine økosystemet (Fauchald et al. 2011a,b). I Nordsjøen ser denne variasjonen ut til å være relatert til mengden sild. I Barentshavet finner man tilsvarende sammenhenger mellom tallrikhet av sjøfugl og mengden lodde i vintersesongen. I høstsesongen er sammenhengene imidlertid mer uklare. Variasjonen i tallrikhet er sannsynligvis knyttet til endringer i sjøfuglenes vandringar snarere enn til endringer i bestandsstørrelse (Fauchald et al. 2011a). Dette betyr at sjøfugl har stor fleksibilitet i migrasjonsmønster, og kan variere tidspunkt for migrasjon eller de kan vandre til alternative havområder. Det er rimelig å tro at denne fleksibiliteten er adaptiv, og at sjøfugl "velger" migrasjonsmønster på basis av fordelaktige miljøforhold. Samvariasjon mellom ulike sjøfuglarter samt positive sammenhenger med viktige byttedyr, støtter denne hypotesen.

4.2 Datakvalitet og dekning

Datagrunnlaget for sjøfugl i åpent hav er til dels fragmentert og skjevt fordelt mellom områder, sesonger og år. Dette er ikke unaturlig tatt i betraktning de store arealene som analyseres, og det faktum at man i liten grad har utført dedikerte sjøfugltokt, men har basert seg på å følge

tokt planlagt for andre formål. Spesielt er dekningen for Norskehavet om høsten og vinteren dårlig. Dette skyldes mangel på regulær toktvirksomhet i dette området i vinterhalvåret. I denne perioden av året har man kun spredte observasjoner i et fåtall år, og det er derfor usikkert hvor representative de presenterte fordelingsmønstrene er. Dekningen i Nordsjøen er derimot svært god i alle sesonger, men hovedtyngden av data ble samlet inn for snart tyve år siden. Hvis det har skjedd store endringer i fordelingen av sjøfugl etter den tid, er dette ikke fanget opp i analysene. Barentshavet er rimelig godt dekket i alle sesonger.

Stor årlig variasjon i tallrikhet av fugl kombinert med at sjøfugl er flekkvis og flyktig fordelt på liten skala fører til at man må dekke store områder i flere år for å kunne fange opp den forutsigbare delen av sjøfuglenes fordeling til havs. Kostnadene ved å organisere dedikerte sjøfugl-tokt til slike formål vil være uforholdsmessig høye, og man bør derfor fortsatt basere seg på å følge tokt planlagt til andre formål. Rutinemessig deltagelse på slike tokt er kostnadseffektivt, man får dekt store områder, og man sikrer en kontinuerlig oppdatering av fordelingsmønstrene.

4.3 Metodiske begrensninger

Åpent hav data er blitt innhentet av ulike observatører og fra ulike fartøyer. Det er grunn til å tro at det er forskjeller i kvaliteten på observatørene som har deltatt, og at observasjonsforholdene varierer mellom ulike fartøy. Det har ikke vært mulig å korrigere for disse forholdene i analysene (se kap. 2.2). På den annen side er stripetransekt metodikken velprøvd, enkel å bruke, og antall arter som skal bestemmes er begrenset. Dette betyr at metodikken er relativt robust med hensyn til ulike observatører og observasjonsforhold. En viktig antagelse i analysene er derfor at feilkildene som skyldes forskjeller mellom observatører og observasjonsforhold er forholdsvis små og tilfeldig fordelt mellom områder, sesonger og år.

Ulike arter har ulik oppdagbarhet. Små, dykkende arter som for eksempel alkekonge, er vanskelige å oppdage, og vil derfor alltid være underestimert. Store overflatebeitende arter som gjerne følger etter fartøyet, som for eksempel havhest, kan bli telt flere ganger, og vil derfor alltid være overestimert. Det er svært vanskelig å kvantifisere disse feilkildene, men det kan være rimelig å anta at de er konstante for en gitt art, uavhengig av år, sesong eller havområde. Under denne antagelsen vil et oppgitt estimat være proporsjonal med estimatet til den reelle verdien. Hvis alkekonge alltid er underestimert må dermed de oppgitte verdiene multipliseres med et tall som er større enn 1 for å få den reelle verdien. Hvis havhest alltid er overestimert, må verdiene multipliseres med et tall som er mindre enn 1 for å få den reelle verdien. Antagelsen om konstant oppdagbarhetsratio kan imidlertid være problematisk for arter som aktivt endrer atferd i forhold til fartøyet. Man kan for eksempel tenke seg at i hvilken grad havhest følger etter fartøyet vil avhenge av fartøyets aktivitet og i hvilken grad havhesten finner mat på naturlig vis andre steder. Dedikerte studier for å estimere oppdagbarhet av ulike arter under ulike forhold ville derfor vært nyttig. Estimerer av oppdagbarheten til sjøs ville gjøre en i stand til å gjøre direkte sammenligninger mellom bestandstall fra koloniene med tall fra åpent hav.

Analysene som er presentert avdekker store forskjeller i tallrikhet mellom år. Analysene tar imidlertid ikke hensyn til hvordan utbredelsesmønsteret eventuelt endrer seg fra år til år. Utbredelseskartene (Figur 4-8) er med andre ord gjennomsnittsfordelinger for den tidsperioden dataene er hentet fra. Analyser av endringer i utbredelsesmønster er komplisert, og krever gode dataserier. I likhet med endring i tallrikhet, vil endring i utbredelsesmønster sannsynligvis være knyttet til endringer i det marine miljøet. Denne typen analyser ville derfor vært nyttig for å forstå hvordan for eksempel klimaendringer påvirker fordelingen av sjøfugl i norske havområder.

Analysene som er presentert tar heller ikke hensyn til hvilke hekkeområder de observerte forekomstene av sjøfugl tilhører. Hekkeområdene definerer den reproduserende bestanden av sjøfugl, og vil derfor være helt sentral for å definere sårbarhet. I analysene av sårbare områder (Figur 9 og 10) ble den estimerte tallrikheten for hele studieområdet brukt som "total bestand". Man antar dermed at alle individer fra hele studieområdet tilhører samme bestand. Dette er nødvendigvis ikke riktig, og kan gi feilaktige utslag. Analysene av lomvi viser for eksempel at

de viktigste områdene finnes utenfor østkysten av Storbritannia, samt i Kattegat vinterstid (Figur 9). Hvis man ser hele lomvibestanden i Nordøstatlanteren under ett, gir dette et riktig bilde. Hvis imidlertid lomviene i Barentshavet utgjør en egen bestand, er dette bildet problematisk. Lomvibestanden i Barentshavet er historisk sett liten, og enkelte kolonier er truet (Erikstad et al. 2007). Det er rimelig å anta at fugler fra disse koloniene primært oppholder seg i Barentshavet, og at analyser for lomvi dermed skulle vært gjort separat for Nordsjøen og for Barentshavet. Kunnskap om bestandstilhørighet i åpent hav er imidlertid liten. Studier av vandringerne til enkeltindivider av sjøfugl utenom hekkesesongen, vil kunne brukes til å avgrense bestandene i åpent hav. I de senere år har man instrumentert sjøfugl med lysloggere som gir en relativt grov posisjonering av individer gjennom året (se for eksempel Frederiksen et al. 2011). En vellykket identifisering av åpent hav bestandene vil kreve en målrettet og koordinert innsats.

4.4 Kan loggere erstatte kartlegging i åpent hav?

Bruk av lysloggere for å undersøke vandringerne til sjøfugl er i ferd med å revolusjonere vår kunnskap om hvor sjøfugl oppholder seg utenom hekkesesongen (Ropert-Coudert og Wilson 2005, Egevang et al. 2010, Frederiksen et al. 2011). Analyser av enkeltindividers habitatbruk vil, i likhet med åpent hav studiene, kunne gi kunnskap om spesielt sårbare områder. Fordi man i tillegg har kunnskap om hvor fuglene kommer fra, har man i motsetning til åpent hav studiene informasjon om bestandstilhørighet.

Åpent hav studiene antyder at vandringerne til sjøfugl varierer mellom år. Kartlegging av sjøfugls utbredelse ved hjelp av loggere vil derfor kreve flere år med datainnsamling. Avhengig av individuell variasjon i vandringsmønster, må et representativt utvalg av individer fra hver koloni instrumenteres. Sist, men ikke minst, forutsetter denne typen kartlegging at man har et utvalg av instrumenterte individer fra alle potensielle bestander/kolonier. Dette vil være vanskelig, og ikke minst kostbart å oppnå på kort sikt.

Åpent hav tokt gir informasjon om hvilke arter av sjøfugl som opptre sammen og hvordan de er organisert i romlige strukturer. I de tilfeller hvor man har synoptiske målinger av byttedyr, kan man i tillegg studere hvordan fordelingen av sjøfugl er relatert til fordelingen av byttedyr. Dette er informasjon man ikke uten videre kan få ved hjelp av loggere. Loggere gir på sin side informasjon om hvordan enkeltindivider leter etter mat og individuell variasjon i vandringsmønster (se for eksempel Fauchald og Tveraa 2003, 2006). Ved innhenting av andre typer data, som fjernmålingsdata over miljøfaktorer og data på individenes kondisjon og status, kan man undersøke hvilke faktorer som påvirker endringer i vandringsatferd. Dette er informasjon man ikke vil kunne innhente ved åpent hav tokt.

I sum gir åpent hav dataene informasjon på populasjonsnivå mens lysloggere gir data på individnivå. Loggerdata kan derfor ikke uten videre erstatte åpent hav data eller omvendt. En koordinert aktivitet på begge områder vil derimot kunne gi en sterk synergieffekt, hvor åpent hav data vil kunne gi verdifull tilleggsinformasjon til studier av individuelle vandringsmønstre, og omvendt.

5 Anbefalinger for videre arbeid

5.1 Opportunistisk datainnsamling

Gjennom datainnsamling og metodeutvikling har åpent hav studiene generert et unikt kartgrunnlag for utbredelsen av sjøfugl i norske og tilgrensende havområder. Dette kartgrunnlaget brukes i forvaltningsplanarbeidet for de ulike havområdene, konsekvensutredninger og miljørisikovurderinger for petroleumsvirksomhet.

Datagrunnlaget for noen havområder og sesonger er dårlig, noe som betyr usikre estimater. Dette gjelder spesielt Norskehavet i vinterhalvåret. Likeledes begynner datagrunnlaget for Nordsjøen å bli gammelt.

Kartlegging av sjøfugl i åpent hav krever ekstensive tokt over gjentatte år. Dedikerte sjøfugltokt er derfor svært lite kostnadseffektivt. Man bør derfor fortsatt ta sikte på opportunistisk datainnsamling med deltagelse på tokt i områder med dårlig dekning. Videre bør man, i samarbeid med de andre nordsjølandene, legge en plan for oppdatering av datagrunnlaget i Nordsjøen.

5.2 Videreføring av tidsserien i Barentshavet

Åpent hav undersøkelser har vært sentrale for studier som integrerer sjøfugl som en del av de marine økosystemene. Spesifikt har undersøkelser gitt svar på hvordan sjøfugl er fordelt i forhold til andre økosystemkomponenter, og hvordan sjøfugl interagerer med sine byttedyr. Tidsseriene av sjøfugl i åpent hav har avdekket en stor årlig variasjon knyttet til endringer i de marine økosystemene. For å kunne gi svar på hvordan tallrikhet og fordelingsmønster av sjøfugl endrer seg med global oppvarming og endringer i næringsforholdene i havet, er det viktig å opprettholde én eller flere tidsserier.

Åpent hav studiene har fulgt Havforskningsinstituttets økosystemtokt i Barentshavet siden 2003. Toktet dekker hele den isfrie delen av Barentshavet i en periode på året hvor store mengder sjøfugl og sjøpattedyr samles i det nordlige Barentshavet for å beite på vandrende lodde, polartorsk og krepsdyr. Toktet samler inn data fra hele næringskjeden, og gir en unik mulighet for å undersøke sjøfugl sin rolle i det marine økosystemet. Klimaendringene er forventet å gi store endringer i økosystemene i iskantsonen, og en opprettholdelse av denne tidsserien vil gi svar på hvordan klimaendringene vil påvirke utbredelsen og sammensetningen til de rike sjøfuglsamfunnene i disse områdene. Tidsserien er under utvikling for bruk som indikator for overvåking av miljøstatus i Barentshavet (www.miljostatus.no). Det anbefales at denne tidsserien opprettholdes.

5.3 Integrering med studier av sjøfuglers vandringsmønster

Utviklingen av teknologi som logger posisjonene til sjøfugl gjennom året gir nye muligheter for bruk og utvikling av åpent hav data. Posisjonering av sjøfugl vil, for første gang, muliggjøre en integrering av overvåking av sjøfugl i koloniene med kartlegging i åpent hav. For å oppnå en synergi er det imidlertid viktig at studiene koordineres. Spesifikt er det viktig at man sikrer et representativt utvalg av arter, et representativt utvalg av kolonier, en adekvat utvalgsstørrelse, og at datainnsamlingen foregår over flere år.

Kartlegging av vandringsmønsteret til sjøfugl fra ulike kolonier gir mulighet for å identifisere bestander i åpent hav. Denne kunnskapen vil dramatisk øke presisjonen til kartlegging av sårbare områder. Det anbefales derfor at loggerstudier initieres for å identifisere bestander i åpent hav. Studiene må koordineres med åpent hav arbeidet, de må gjennomføres over flere år, og inkludere et representativt utvalg av kolonier.

Kartlegging av sjøfuglers vandringsmønster gjør det mulig å knytte endringer i populasjonsstørrelse og demografi i koloniene til endringer i det marine miljøet hvor fuglene har vært. De aktuelle havområder som benyttes av norske sjøfugler overvåkes gjennom fjernmåling og utstrakt internasjonal toktvirksomhet. Hvis man kombinerer loggerdata med åpent hav data og miljø-

overvåkingsdata, vil man kunne besvare sentrale forvaltningsspørsmål som: Hva slags miljøforhold er det som karakteriserer de viktigste leveområdene til norske sjøfugl? Hvordan endres disse miljøforholdene over tid, og hvordan reflekteres dette i bestandsdynamikk og demografi i koloniene? For å svare på disse spørsmålene trenger man et utstrakt tverrfaglig og internasjonalt samarbeid. Spesifikt vil man trenge bred marinøkologisk kompetanse og data fra ulike havområder i Nordatlanten. Det anbefales derfor at man i takt med initering av nye loggerprosjekt videreutvikler det tverrfaglige og internasjonale samarbeidet.

6 Referanser

- Anker-Nilssen T (1987) Metoder til konsekvensanalyser olje/sjøfugl. Viltrapport 44, 114 s.
- Anker-Nilssen T, Bakken V, Strann KB (1988) Konsekvensanalyse olje/sjøfugl ved petroleumsvirksomhet i Barentshavet sør for 74° 30'N. Viltrapport 46, 99 s.
- Ballance LT, Pitman RL, Reilly SB (1997) Seabird community structure along a productivity gradient: Importance of competition and energetic constraint. *Ecology* 78:1502-1518
- Barry SC, Welsh AH (2002) Generalized additive modelling and zero inflated count data. *Ecological Modelling* 157:179-188
- Cadiou A, Riffaut L, McCoy KD, Cabelguen J, Fortin M, Gelinaud G, Le Roch A, Tirard C, Boulinier T (2004) Ecological impact of the "Erika" oil spill: Determination of the geographic origin of the affected common guillemots. *Aquatic Living Resources* 17:369-377
- Castege I, Lalanne Y, Gouriou V, Hemery G, Girin M, D'Amico F, Mouches C, D'Elbee J, Soulier L, Pensu J, Lafitte D, Pautrizel F (2007) Estimating actual seabirds mortality at sea and relationship with oil spills: lesson from the "Prestige" oilspill in Aquitaine (France). *Ardeola* 54:289-307
- Christensen-Dalsgaard S, Fangel K, Dervo BK, Anker-Nilssen T (2008) Bifangst av sjøfugl i norske fiskerier - eksisterende kunnskap og forslag til kartleggingsprosjekt. NINA Rapport 382, NINA, Trondheim
- Ciannelli L, Fauchald P, Chan KS, Agostini VN, Dingsor GE (2008) Spatial fisheries ecology: Recent progress and future prospects. *Journal of Marine Systems* 71:223-236
- Durant JM, Hjermann DO, Frederiksen M, Charrassin JB, Le Maho Y, Sabarros PS, Crawford RJM, Stenseth NC (2009) Pros and cons of using seabirds as ecological indicators. *Climate Research* 39:115-129
- Egevang C, Stenhouse IJ, Phillips RA, Petersen A, Fox JW, Silk JRD (2010) Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107:2078-2081
- Erikstad KE, Vader W (1989) Capelin selection by common and Brünnichs guillemots during the prelaying season. *Ornis Scandinavica* 20:151-155
- Erikstad KE, Moum T, Vader W (1990) Correlation between pelagic distribution of Common and Brünnich's Guillemots and their prey in the Barents Sea. *Polar Research* 8:77-87
- Erikstad KE, T.K. R, Anker-Nilssen T, Barrett RT, Lorentsen SH, Strøm H, Systad GH (2007) Levedyktighetsanalyser for norske lomvibestander. NINA Rapport 240. NINA, Trondheim
- Fauchald P (2009) Spatial interaction between seabirds and prey: review and synthesis. *Marine Ecology-Progress Series* 391:139-151
- Fauchald P, Erikstad KE, Skarsfjord H (2000) Scale-dependent predator-prey interactions: The hierarchical spatial distribution of seabirds and prey. *Ecology* 81:773-783
- Fauchald P, Erikstad KE (2002) Scale-dependent predator-prey interactions: the aggregative response of seabirds to prey under variable prey abundance and patchiness. *Marine Ecology-Progress Series* 231:279-291
- Fauchald P, Erikstad KE, Systad GH (2002) Seabirds and marine oil incidents: is it possible to predict the spatial distribution of pelagic seabirds? *Journal of Applied Ecology* 39:349-360
- Fauchald P, Tveraa T (2003) Using first-passage time in the analysis of area-restricted search and habitat selection. *Ecology* 84:282-288
- Fauchald P, Tveraa T (2006) Hierarchical patch dynamics and animal movement pattern. *Oecologia* 149:383-395
- Fauchald P, Skov H, Skern-Mauritzen M, Hausner VH, Johns D, Tveraa T (2011a) Scale-dependent response diversity of seabirds to prey in the North Sea. *Ecology* 92:228-239
- Fauchald P, Skov H, Skern-Mauritzen M, Johns D, Tveraa T (2011b) Wasp-waist interactions in the North Sea ecosystem. *PLoS One* 6
- Frederiksen M, Moe B, Daunt F, Phillips RA, Barrett RT, Bogdanova MI, Boulinier T, Chardine JW, Chastel O, Chivers LS, Christensen-Dalsgaard S, Clément-Chastel C, Colhoun K, Freeman R, Gaston AJ, Gonzalez-Solis J, Goutte A, Grémillet D, Guilford T, Jensen GH, Krasnov Y, Lorentsen S-H, Mallory ML, Newell M, Olsen B, Shaw D, Steen H, Strøm H, Systad GH, Thorarinnsson

- TL, Anker-Nilssen T (2011) Multicolony tracking reveals the winter distribution of a pelagic sea-bird on an ocean basin scale. *Diversity and Distributions*, 1–13.
- Fox CJ, O'Brien CM, Dickey-Collas M, Nash RDM (2000) Patterns in the spawning of cod (*Gadus morhua* L.), sole (*Solea solea* L.) and plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in the Irish Sea as determined by generalized additive modelling. *Fisheries Oceanography* 9:33-49
- Gremillet D, Boulinier T (2009) Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Marine Ecology-Progress Series* 391:121-137
- Grunbaum D, Veit RR (2003) Black-browed albatrosses foraging on Antarctic krill: Density-dependence through local enhancement? *Ecology* 84:3265-3275
- Harrison NM, Whitehouse MJ, Heinemann D, Prince PA, Hunt GL, Veit RR (1991) Observations of Multispecies Seabird Flocks around South Georgia. *Auk* 108:801-810
- Hunt Jr GL (1990) The pelagic distribution of marine birds in a heterogeneous environment. *Polar Research* 8:43-54
- Hunt Jr GL, Schneider DC (1987) Scale-dependent processes in the physical and biological environment of marine birds. In: Croxall JP (ed) *Seabirds: Feeding Biology and Role in Marine Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, Bjørndal KA, Botsford LW, Bourque BJ, Bradbury RH, Cooke R, Erlandson J, Estes JA, Hughes TP, Kidwell S, Lange CB, Lenihan HS, Pandolfi JM, Peterson CH, Steneck RS, Tegner MJ, Warner RR (2001) Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-638
- Jespersen P (1924) The frequency of birds over the high Atlantic Ocean. *Nature* 114: 281-283.
- Kålås JA, Viken Å, Henriksen S, Skjelseth S (2010) Norsk rødliste for arter 2010. Artsdatabanken, Norge
- MEA (2005) Millennium Ecosystem Assessment, Synthesis Report: World Resource Institute, Washington, DC
- Mehlum F, Nordlund N, Isaksen K (1998) The importance of the "Polar Front" as a foraging habitat for guillemots *Uria* spp. breeding at Bjørnøya, Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 14:27-43
- Morato T, Hoyle SD, Allain V, Nicol SJ (2010) Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107:9707-9711
- Nur N, Jahncke J, Herzog MP, Howar J, Hyrenbach KD, Zamon JE, Ainley DG, Wiens JA, Morgan K, Ballance LT, Stralberg D (2011) Where the wild things are: predicting hotspots of seabird aggregations in the California Current System. *Ecological Applications* 21:2241-2257
- R Development Core Team (2009) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- Robert-Coudert Y, Wilson RP (2005) Trends and perspectives in animal-attached remote sensing. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3:437-444
- Skern-Mauritzen M, Fauchald P, Johannesen E, Lindstrøm U, Eriksen E, Olsen E, Øien N (Subm) Spatial organisation of the Barents Sea pelagic community, Submitted Ecosystems.
- Strann KB, Vader W, Barret RT (1991) Auk mortality in fishing nets in Norway. *Seabird* 13:22-29
- Tasker ML, Hope Jones O, Dixon T, Blake BF (1984) Counting seabirds from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. *Auk* 101:567-577
- Wahl TR, Ainley DG, Benedict AH, Degange AR (1989) Associations between seabirds and water-masses in the northern Pacific Ocean in summer. *Marine Biology* 103:1-11
- Welsh AH, Cunningham RB, Donnelly CF, Lindenmayer DB (1996) Modelling the abundance of rare species: Statistical models for counts with extra zeros. *Ecological Modelling* 88:297-308
- Wood SN (2006) Generalized Additive Models An Introduction with R, Vol. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, US
- Worm B, Lotze HK, Myers RA (2003) Predator diversity hotspots in the blue ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100:9884-9888
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, Smith GM (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*, Springer, New York



Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.

NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.

Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-2381-2

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger