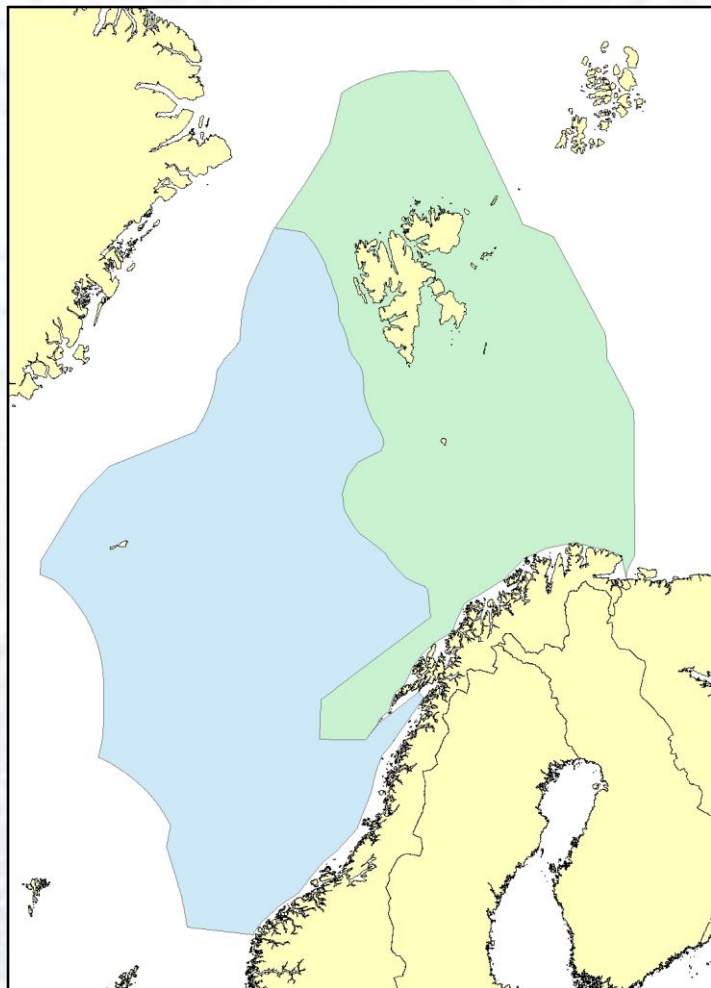


Vurdering av miljøgiftsituasjonen i Norskehavet og Barentshavet



Rapporttittel / Report title

Vurdering av miljøgiftsituasjonen i Norskehavet og Barentshavet

Forfatter(e) / Author(s)

Kjetil Sagerup (Apn)
 Jonny Beyer (NIVA)
 Anita Evenset (Apn)
 Norman W. Green (NIVA)
 Anna Helena Falk (Apn)

Akvaplan-niva rapport nr / report no

6401 – 01
 Miljødirektoratets rapport 17-2013

Dato / Date

22.08.2013

Antall sider / No. of pages

40

Distribusjon / Distribution

Åpen

Oppdragsgiver / Client

Miljødirektoratet

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Marianne Olsen

Sammendrag / Summary

Konsentrasjoner av miljøfarlige stoffer i Norskehavet og Barentshavet er stort sett lave. Denne hovedkonklusjonen fra Faglig forum og Overvåkningsgruppen for Norskehavet og Barentshavet støttes etter gjennomgangen av vitenskapelige publikasjoner om miljøgifter for perioden 2010-2013. Gamle "legacy" organiske miljøgifter som PCB og klororganiske plantevernmidler viser nedadgående trender, mens miljøgifter som ikke er regulert, eller som nylig har blitt regulert, har stabile eller økende trender. Hos noen toppredatorer i systemet som polarmåke, svartbak, storjo, isbjørn og spekkhugger er PCB-nivåene høye nok til å kunne gi negative helseeffekter. Klimaendringer vil kunne påvirke global distribusjon, lagring og omsetning av miljøgifter så det kan ikke utelukkes at nivåer i dyr kan endres uavhengig av endringer i utslipp. Rapporten gir videre en kort innføring i forskningsområdet samvirkende effekter. Det gis en oversikt over relevant litteratur for våre nordlige havområder (2010-2013) og en vurdering av kunnskapsstatus om samvirkende effekter. Til slutt gir rapporten en vurdering av kunnskapsbehovet i forhold til miljøgifter og samvirkende effekter i våre nordligste havområder.

Prosjektleder / Project manager

Kjetil Sagerup (Apn)
 Jonny Beyer (NIVA)

Kvalitetskontroll / Quality control

Morten T. Schaanning (NIVA)
 Jenny Bytingsvik (Apn)

Forord

Denne rapporten er en gjennomgang av forskningslitteratur som omhandler miljøgifter i sediment, vann, biota og luft fra områdene Norskehavet og Barentshavet i perioden 2010-2013. Bakgrunnen for dette litteraturstudiet er oppdateringen av forvaltningsplanen for Norskehavet som skal gjennomføres i 2014 og oppdatering av forvaltningsplanen for Barentshavet og Lofoten som kommer i etterkant av planen for Norskehavet. Det faglige kunnskapsgrunnlaget utgjør grunnlaget for helhetlige forvaltningsplaner for norske havområder. Overvåkningsgruppen oppdaterer kunnskapsgrunnlaget årlig med data fra faste indikatorer for miljøgifter. Denne rapporten fokuserer på forskningen som er utført ut over de faste forurensningsindikatorerne til overvåkningsgruppen. Dette for å sikre at nye forskningsresultater om miljøgiftbelastningen blir dekket i oppdateringene. Oppdraget fra Miljødirektoratet er å gi en vurdering av miljøgiftsituasjonen med utgangspunkt i nye forskningsdata om miljøgifter fra perioden 2010-2013 som ikke er beskrevet i rapporten fra overvåkningsgruppen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Akvaplan-niva har utført litteraturstudiet for Miljødirektoratet. Jonny Beyer (NIVA), Normann Green (NIVA), Kjetil Sagerup (Akvaplan-niva), Anita Evenset (Akvaplan-niva) og Anna Helena Falk (Akvaplan-niva) har hatt hovedansvaret for rapporten. Rapporten består av fire kapitler. Kapittel 1 og 2 omhandler gjennomgangen av forurensningslitteratur for områdene Norskehavet og Barentshavet i perioden 2010-2013. Disse kapitlene viser i korte trekk at hovedkonklusjonene fra overvåkningsgruppens indikatorer stemmer med det resten av litteraturen viser. Forurensningstilstanden i Norskehavet og Barentshavet er god, til tross for at forurensning fraktes inn via luft og havstrømmer. Det er likevel noen bekymringer knyttet til tilførselen av nye miljøgifter og helseeffekter hos noen av toppredatorene i systemet. Kapittel 3 beskriver et tidsaktuelt fokusområde innen miljøforskningen, samvirkende effekter. Kapittelet gir en kort innføring om temaet, en oversikt over relevant publisert litteratur for våre nordlige havområder for perioden 2010-2013 og en vurdering av kunnskapsstatusen for samvirkende effekter av miljøgifter i våre nordlige havområder. Kapittel 4 gir til slutt en vurdering av kunnskapsbehovet knyttet til utviklingstrender og effekter/samvirkeeffekter av miljøgifter i Norskehavet, Barentshavet og Arktis generelt. Denne rapporten omhandler ikke radioaktivitet og miljøgifter i fisk og sjømat da disse temaene behandles av henholdsvis Statens strålevern og Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES).

Tromsø, august 2013

Kjetil Sagerup
Seniorrådgiver, Akvaplan-niva

Jonny Beyer
Forsker 1, Norsk institutt for vannforskning

Innhold

Forord	1
Innhold	2
1. Oppdrag	3
1.1 Litteratur og metodebeskrivelse	3
2. Forurensningssituasjonen for Norskehavet og Barentshavet	6
2.1 Forurensning i norske havområder	6
2.1.1 Luft	6
2.1.2 Vann	7
2.1.3 Sedimenter	8
2.1.4 Biota	9
2.2 Konklusjoner Norskehavet og Barentshavet	14
3. Effekter og samvirkende effekter av miljøgifter i Norskehavet og Barentshavet	15
3.1 Introduksjon	15
3.2 Samvirkeeffekter av miljøgifter	16
3.3 Publikasjoner om effekter og samvirkeeffekter i nord i perioden 2010-2013	18
3.3.1 Studier på isbjørn	19
3.3.2 Studier av marine pattedyr	20
3.3.3 Studier på arktiske sjøfuglarter	20
3.3.4 Studier på fisk	21
3.3.5 Studier med marine evertebrater	22
3.3.6 Studier fokusert på human helse	23
3.3.7 Bruk av <i>in vitro</i> baserte test metoder	23
3.3.8 Risikovurdering og miljøregulering av samvirkeeffekter	23
3.4 Sammendragende diskusjon	24
3.4.1 Kunnskapsstatus	24
4. Kunnskapsbehov	26
4.1 Kunnskapsbehov miljøgifter i Norskehavet og Barentshavet	26
4.2 Kunnskapsbehov samvirkende effekter	27
5. Referanser	28
5.1 Referanser til nettsider	40

1. Oppdrag

Denne rapporten behandler forskningslitteratur utgitt i perioden 2010 – 2013 om miljøgifter fra Norskehavet, Barentshavet og review-artikler for Arktis som ikke er behandlet av overvåkningsgruppen for havområdene. Litteraturstudiet gjennomføres som en del av forarbeidet med oppdateringen av forvaltningsplanen for Norskehavet og for Barentshavet og Lofoten.

1.1 Litteratur og metodebeskrivelse

Utgangspunktet for rapporten er forskningslitteratur om miljøgifter avgrenset av havområdene, men uten data fra overvåkningsgruppens indikatorer (Arneberg et al. 2013). Videre er ikke radioaktivitet og miljøgifter i fisk og sjømat med i denne rapporten da disse temaene behandlet av henholdsvis Statens strålevern og Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES). Kapittel 1 inneholder en skjematisk liste over litteratur brukt i kapittel 2. I kapittel 2 følger den faglige gjennomgangen av litteraturen med fokus på nye forskningsfunn om miljøgiftsituasjonen i Norskehavet og Barentshavet. Det gjøres en vurdering av miljøsituasjonen og om overvåkningsgruppens beskrivelse av miljøgiftsituasjonen fortsatt gjelder.

Overvåkingen av forurensningssituasjonen i de norske havområdene skjer gjennom etablerte overvåkningsprogrammer og forskning. For gjennomgangen av forskningslitteraturen til denne rapporten har vi lagt til grunn en litteraturliste utarbeidet av en uildet forsker ved Universitetet i Oslo for Miljødirektoratet. Litteraturlisten presentert i tabellen under (Tabell 1.1) omhandler både data fra sediment, biota, vann, luft og studier av eksperimentell og teoretisk karakter samt review-studier. I tillegg er listen supplert med forskningslitteratur publisert de siste månedene og publikasjoner som opprinnelig ikke var å finne på denne listen. Siden dette er en blanding av uensartet forskning har det ikke vært mulig å bruke en etablert metode for å gjennomgå denne litteraturen. Litteraturen er derfor gjennomgått tematisk og beskrevet i kapittel 2.



Figur 1.1: Norskehavet og Barentshavet danner et stort havområde med rike fiskeressurser.

Tabell 1.1: Litteraturoversikt for vurdering av forskningsresultater som supplement til tidligere beskrivelser av miljøgiftsituasjonen i Norskehavet og Barentshavet

Referanse	Tittel
Aas et al. (2011)	Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør: atmosfærisk tilførsel, 2010
Allan et al. (2011)	Tilførselsprogrammet 2010: Passive air and water sampling at Andøya, Bjørnøya and Jan Mayen, 2009-2010
Allan et al. (2012)	Passive air and water sampling at Andøya, Bjørnøya og Jan Mayen
Berg et al. (2013)	Ten years trends in atmospheric mercury concentrations, meteorological effects and climate variables at Zeppelin, Ny-Ålesund.
Bidleman et al. (2010)	Polychlorinated naphthalenes in polar environments - A review.
Boitsov & Klungsøyr (2012)	Undersøkelser av hydrokarboner i sedimenter fra MAREANO-området 2010.
Boitsov & Klungsøyr (2013)	Undersøkelser av hydrokarboner i sedimenter fra MAREANO-området 2011.
Boitsov et al. (2011)	Petroleum-related hydrocarbons in deep and subsurface sediments from South-Western Barents Sea.
Carrizo & Gustafsson (2011)	Distribution and Inventories of Polychlorinated Biphenyls in the Polar Mixed Layer of Seven Pan-Arctic Shelf Seas and the Interior Basins.
de Hoop et al. (2011)	Sensitivity of Polar and Temperate Marine Organisms to Oil Components.
De Laender et al. (2011a)	Combining Monitoring Data and Modeling Identifies PAHs as Emerging Contaminants in the Arctic.
De Laender et al. (2011b)	Ecotoxicological Mechanisms and Models in an Impact Analysis Tool for Oil Spills.
de Wit et al. (2010)	Brominated flame retardants in the Arctic environment - trends and new candidates.
Dietz et al. (2013)	What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota?
Eide et al. (2011)	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Dated Freshwater and Marine Sediments Along the Norwegian Coast.
Gabrielsen et al. (2012)	MOSJ statusrapport 2011 miljøgifter
Golubeva et al. (2010)	Heavy metals in the atmospheric precipitation on the Barents Sea coast.
Green et al. (2012)	Tilførselsprogrammet 2011. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Norskehavet.
Green et al. (2013)	Tilførselsprogrammet 2013. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Barentshavet og Lofotenområdet
Hallanger et al. (2011a)	Influence of season, location, and feeding strategy on bioaccumulation of halogenated organic contaminants in Arctic marine zooplankton.
Hallanger et al. (2011c)	Seasonality in contaminant accumulation in Arctic marine pelagic food webs using trophic magnification factor as a measure of bioaccumulation.
Howard & Muir (2010)	Identifying New Persistent and Bioaccumulative Organics Among Chemicals in Commerce.
Hung et al. (2010)	Atmospheric monitoring of organic pollutants in the Arctic under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): 1993-2006
Kallenborn et al. (2012a)	PCB på Svalbard; Rapport 2011
Kallenborn et al. (2012b)	The influence of climate change on the global distribution and fate processes of anthropogenic persistent organic pollutants.

Kirk et al. (2012)	Mercury in Arctic marine ecosystems: Sources, pathways and exposure.
Konovalov et al. (2010)	Contaminants, benthic communities, and bioturbation: potential for PAH mobilisation in Arctic sediments.
Letcher et al. (2010)	Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in arctic wildlife and fish.
Ma et al. (2011)	Revolatilization of persistent organic pollutants in the Arctic induced by climate change.
McKinney et al. (2011a)	Comparative Hepatic Microsomal Biotransformation of Selected Pbdes, Including Decabromodiphenyl Ether, and Decabromodiphenyl Ethane Flame Retardants in Arctic Marine-Feeding Mammals.
Mearns et al. (2011)	Effects of Pollution on Marine Organisms.
Muir & de Wit (2010)	Trends of legacy and new persistent organic pollutants in the circumpolar arctic: Overview, conclusions, and recommendations.
Nahrgang et al. (2010a)	Seasonal baseline levels of physiological and biochemical parameters in polar cod (<i>Boreogadus saida</i>): Implications for environmental monitoring.
Nahrgang et al. (2013)	Seasonal variation in biomarkers in blue mussel (<i>Mytilus edulis</i>), Icelandic scallop (<i>Chlamys islandica</i>) and Atlantic cod (<i>Gadus morhua</i>) - Implications for environmental monitoring in the Barents Sea.
Neuparth et al. (2012)	Review of oil and HNS accidental spills in Europe: Identifying major environmental monitoring gaps and drawing priorities.
Olsen et al. (2011)	Arctic versus temperate comparison of risk assessment metrics for 2-methyl-naphthalene.
Pacyna et al. (2006)	Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000
Radovic et al. (2012)	Post-incident monitoring to evaluate environmental damage from shipping incidents: Chemical and biological assessments.
Riget et al. (2010)	Temporal trends of legacy POPs in Arctic biota, an update.
Rotander et al. (2012a)	Polychlorinated naphthalenes (PCNs) in sub-Arctic and Arctic marine mammals, 1986 -2009
Rotander et al. (2012a)	Increasing levels of long-chain perfluorocarboxylic acids (PFCAs) in Arctic and North Atlantic marine mammals, 1984-2009
Rotander et al. (2012b)	Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine mammals from Arctic and North Atlantic regions, 1986 - 2009
Rotander et al. (2012d)	Methoxylated polybrominated diphenyl ethers (MeO-PBDEs) are major contributors to the persistent organobromine load in sub-Arctic and Arctic marine mammals, 1986-2009
Savinov et al. (2011)	Persistent organic pollutants in ringed seals from the Russian Arctic.
Skarphedinsdottir et al. (2010)	Bioaccumulation and Biomagnification of Organochlorines in a Marine Food Web at a Pristine Site in Iceland.
Uhl et al. (2012)	Primary source regions of polychlorinated biphenyls (PCBs) measured in the Arctic.
Weber et al. (2010)	Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic.
Xia & Boufadel (2010)	Lessons from the Exxon Valdez Oil Spill disaster in Alaska.
Zaborska et al. (2011)	Spatio-temporal patterns of PAHs, PCBs and HCB in sediments of the western Barents Sea.
Zuijdgeest & Huettel (2012)	Dispersants as Used in Response to the MC252-Spill Lead to Higher Mobility of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Oil-Contaminated Gulf of Mexico Sand.

2. Forurensningssituasjonen for Norskehavet og Barentshavet

Det overordnede målet med undersøkelsen er å vurdere om det er fremkommet ny kunnskap om forurensningssituasjonen i Norskehavet og Barentshavet (2010 – 2013) og om overvåkningsgruppens beskrivelse av miljøsituasjonen bør justeres med bakgrunn i forskning som ikke er dekket av overvåkningsgruppens miljøparameter.

2.1 Forurensning i norske havområder

Miljøgifter fraktes inn til Norskehavet og Barentshavet med hav- og luftstrømmer. I tillegg kommer det miljøgifter med elver som drenes ut i havene, is som drifter ut fra Polhavet og smelter ned i Barentshavet og med dyr som migrerer inn i området. Miljøgifter kan defineres som kjemiske stoffer som er skadelige selv i lave konsentrasjoner. Stoffets giftighet, motstandsdyktighet mot nedbryting og evne til å akkumuleres i organismer er egenskaper som avgjør om et stoff regnes som en miljøgift. Persistente organiske miljøgifter (POPer) er stoffer med fysiske og kjemiske egenskaper som gjør at de brytes langsomt ned i miljøet. De er semi-flyktige, noe som gjør at de kan transporteres med luft og vann og havne opp i områder langt fra hvor de ble brukt. De fleste POPene har lav vannløselighet, høy løselighet i fett og man finner de høyeste konsentrasjonene på toppen av næringskjeden. Dette skjer som en følge av at stoffene akkumuleres (bioakkumuleres) i kroppen på et individ. Når dyret blir spist av en predator vil stoffene akkumuleres og predatoren vil få et høyere innhold av miljøgiften, en prosess kalt biomagnifisering. Hos nyere grupper av miljøgifter har man også sett andre fysisk-kjemiske egenskaper. For eksempel binder fluorholdige miljøgifter (perfluorerte og polyfluorerte forbindelser - PFSAer) seg til proteiner og ikke til fett i organismen.

2.1.1 Luft

Nivåene av miljøgifter i luft har vært målt på Zeppelinobservatoriet i Ny-Ålesund på Svalbard siden år 2000, og i 2010 ble også den nye luftmålestasjonen på Andøya tatt i bruk. Zeppelinobservatoriet, sammen med Trollobservatoriet i Dronning Maud Land i Antarktis, har vært svært viktige bidragsyttere for å dokumentere at persistente miljøgifter kan fraktes fra de folkerike og industrialiserte delene av verden til mer uberørte områder som Arktis og Antarktis. Ubl et al. (2012) beregnet kilde til PCB-kongener nummer 28, 101 og 180 og konkludert med at vest Russland var hovedkilde til PCB-28 og PCB-101, mens Sentral-Europa var hovedkilde til PCB-180. De kontinuerlige målingene ved disse stasjonene gir et svært godt og detaljert bilde av forurensningssituasjonen. I 2012 presenterte MOSJ (Miljøovervåkning Svalbard og Jan Mayen) en rapport som viste nedadgående trender for de regulerte miljøgiftene HCH, klordaner og PCBer (Gabrielsen et al. 2012). Konsentrasjonene av DDT og dets nedbrytningsprodukt DDE viser også fortsatt nedgang, og konsentrasjonen av DDT er nå nede i nivåer nært måleinstrumentenes deteksjonsgrenser (Aas et al. 2011). HCB konsentrasjonen viser imidlertid en økende trend, noe som kan skyldes isfrie vintre langs vestkysten av Svalbard i perioden og derved en økt avdampning av HCB gjennom vinterperiodene (Hung et al. 2010; Ma et al. 2011).

Tungmetallet Hg viser ingen gjennomsnittlig endring for perioden 2000-2009 på Svalbard (Berg et al. 2013). Gjennomsnittlig Hg konsentrasjon er 1,5 ng/m³ i luft. Dette er også gjennomsnittet for den nordlige hemisfære, et tall som viser at det er mer Hg i luft i Arktis enn i Antarktis hvor gjennomsnittlig Hg konsentrasjon er målt til 0,93 ng/m³ luft ved Trollobservatoriet (Berg et al. 2013). I denne perioden har utslippene fra Europa og Nord-Amerika sunket, mens utslippene fra Kina har økt. Berg et al. (2013) diskuterer muligheten for at en manglende nedadgående trend kan skyldes avdampning fra havområder uten is siden perioden også har vært preget av mindre is i siste halvdel av serien.

Klimaendringer vil påvirke den komplekse globale distribusjon, lagring og omsetning av miljøgifter ved at innlandsis, isbreer og havis som inneholder deponerte langtransporterte miljøgifter smelter og frigjør

disse miljøgiftene (Kallenborn et al. 2012b). Videre vil økt nedbørfrekvens og flom vaske ut miljøgifter fra jordsmonn, stormer kan vaske ut miljøgifter fra sedimenter i strandsonen og økt ekstremvær i form av skogbranner kan frigi miljøgifter til luft. Ved et endret klima kan også dyr som forflytter seg i nordlig retning ha med seg miljøgifter og nye arter vil kunne endre næringsnettets slik at fordelingen mellom nivåer i næringskjeden endrer seg (Kallenborn et al. 2012b).

Modellering av fremtidige POPer i luft i Arktis viser at bidraget fra sekundære kilder blir viktigere nå som mange primære kilder er svekket som en konsekvens av reguleringer. Modellen predikerer en økning av POPer i luft med økt temperatur, smelting av innlandsis og isbreer, havis og at større landområder blir is og snøfri (Ma et al. 2011). De sekundære frigivelsene av POPer henger sammen med de fysiske-kjemiske egenskapene til stoffene. Modellen angir at PCB-52 og α -HCH vil øke svakt i perioden frem mot 2040 for så å minke, mens PCB-28 og 101 vil avta hele perioden frem mot 2100. Den stabile PCB-153 predikeres å ha en jevn økning hele perioden frem mot 2100 (Ma et al. 2011).

Et studium av tungmetaller i luft fra kysten av Kola viser at konsentrasjonene av metaller er høyere i luftmasser som kommer fra Barentshavet enn de som kommer fra kontinentet (Golubeva et al. 2010). Videre viser studien at metallurgisk industri fra Kola bidrar med kobber og nikkel (Golubeva et al. 2010).

TFP beregninger tyder på at atmosfærisk avsetning er hovedkilden for PCBer, PAHer, Hg, bly, kadmium, krom og arsen til Barentshavet og Lofoten området (Green et al. 2013). Estimerer for atmosfærisk avsetning beregnet i tilførselsprogrammet er høyere nå enn det som ble gjort før 2009 da man kun inkluderte våtavsetning og ikke totalavsetningen. Det er også viktig å påpeke at estimatene for totalavsetning fra atmosfæren vil gi et overestimert bidrag til havet så lenge eksport fra sjø til luft ikke er inkludert i modellen, det vil si at netto avsetning er lavere. En av konklusjonene fra TFP er at transport med havstrømmer fra syd til nord også har vært vesentlig underestimert, særlig for PCB og PAH.

2.1.2 Vann

Miljøgiftkonsentrasjonen i vann er generelt lav og måles i pikogram per liter ($\text{pg} = 10^{-12}\text{g}$). Den totale konsentrasjonen av polyklorete bifenyler (ΣPCBer) i Barentshavet er funnet til å være i størrelsesorden 2-13 pg/liter (Carrizo & Gustafsson 2011; Hallanger et al. 2011a). Hallanger et al. (2011a) konkluderer med at dette er lavere konsentrasjoner enn tidligere studier fra Barentshavet viser og at konsentrasjonen av ΣPCB er lavere her enn Canadisk Arktis og Alaska, noe også Carrizo og Gustavsson (2011) viser. Undersøkelse av Carrizo og Gustavsson (2011) er den første helhetlige vurderingen av PCB i Arktisk sjøvann, og antyder bl.a. viktighet av atmosfærisk tilførsel kontra tilførsler fra havet utenfor. Prøver tatt fra vannsøylen ved aktiv pumping av vann i Kongsfjorden på Svalbard (Hallanger et al. 2011a) viser lavere verdier av diklordifenyiltriklorethan (DDT), heksaklorsykloheksan (HCH) og heksaklorbenzen (HCB) enn prøver tatt med passive prøvetakere ved Andenes og Bjørnøya i forbindelse med tilførselsprogrammet (Allan et al. 2011). Imidlertid vil vi ikke konkludere med at de lavere nivåene i Kongsfjorden kontra Andøya og Bjørnøya er en systematisk forskjell siden både metode for innhenting av prøve var forskjellig og at det ikke var det samme laboratoriet som analyserte prøvene.

Passive prøvetakere ble brukt til å måle tidsintegrerte og særdeles lave konsentrasjoner av polyaromatiske hydrokarboner (PAHer), klororganiske miljøgifter (PCB og HCH-forbindelser) og polybromerte difenyletere (PBDE) i luft og vann på Jan Mayen, Bjørnøya og Andøya (Allan et al. 2011; Allan et al. 2012). Resultatene viste meget lave nivåer i sjøvann, og at nivåene var lavere enn miljøkvalitetsstandardene (*Environmental Quality Standards* - EQS) (EU direktiv 2008/105/EC). Forutsatt at disse EQS-konsentrasjonene kan brukes på disse tre områdene, gir målingene grunnlag for å betegne at sjøvannet omkring Jan Mayen, Bjørnøya og Andøya har god vannkvalitetsstatus. Man må imidlertid huske på at konsentrasjonene målt med passive prøvetakere er for oppløste miljøgifter, mens EQS verdier refererer til ufiltrerte vannprøver. Dette betyr at nivåene målt med passive prøvetakere kan være lavere enn om nivåene hadde blitt målt i ufiltrerte vannprøver. I gjennomsnitt er konsentrasjoner fra passiv prøvetaking for Andøya og Bjørnøya >100 ganger lavere enn EQS verdier for antracen, benzo(a)pyren (B[a]P) og p,p' -DDT, fluoranten, HCB, pentaklorbenzen og benzo(b+k)fluoranten. I gjennomsnitt er summen av konsentrasjoner av benzo(ghi)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyren, og HCH ca.

50 ganger lavere enn EQS verdier. De høyeste PBDE-konsentrasjonene ble målt for BDE-47 og BDE-99 med konsentrasjoner mellom 2 og 8 pg/liter som er nær en faktor 30 lavere enn EQS.

Modellberegninger fra Miljødirektoratets (tidligere Klima og forurensningsdirektoratet - Klif) Tilførselsprogrammet (TFP) viser konsentrasjoner av kvikksølv (Hg) i sjøvann fra Barentshavet fra 400 til 900 pg/liter, og fra 500 til 1200 pg/liter i Norskehavet. EQS-verdien ligger på ca. 100 ganger mer (50 000 pg/liter) (Green et al. 2013; Green et al. 2012). Undersøkelsen viser også lave konsentrasjoner av B[a]P i begge havområdene, opptil flere tusen ganger lavere enn EQS (50 000 pg/liter). TFP viser at tilførsler og tap via havstrømmene er størst. Når havstrøm ikke er tatt i betraktning dominerer tilførslene via luften for de fleste miljøgifter. Hovedinntrykket er at det er relativt lite tilførsler av miljøgifter til Barentshavet og Lofotennområdet sammenlignet med Norskehavet og Nordsjøen.

2.1.3 Sediment

Det er målt forhøyede verdier av en del organiske miljøgifter (blant annet PAHer, PCBer, siloksaner, fluoreerte forbindelser) i marine sedimenter utenfor bosetningene på Svalbard, noe som tyder på tilførsel fra bosetningene via avløps- og dreneringsvann. Avfallsfyllinger er en kilde til miljøgifter, og sigevann fra disse vil kunne være en kilde til forurensning. Gruveaktivitetene har vært, og er fremdeles, en lokal kilde for enkelte miljøgifter som PAHer, tungmetaller og PCBer. Videre vil luft og vanntransporterte partikler fra kulldeponier, naturlig erosjon av kullholdig fjellgrunn og utlekking av naturlig dannede hydrokarboner bidra til forhøyede nivåer av PAH i sediment på Svalbard (Gabrielsen et al. 2012).

PAHer har blitt identifisert og kvantifisert i sedimentprofiler langs kysten av Norge (Eide et al. 2011). Resultatene viser at PAH-nivåene er avtagende nordover, både for ferskvann- og marine sedimenter. Konsentrasjonene er lavere (3-4 ganger) på marine enn på ferskvannslokaliteter muligens på grunn av at sedimentasjonshastighet er høyere på marine stasjoner. Studiet viser også at kullgruvevirksomhet er den viktigste kilden til PAHer i sedimentprøver fra Svalbard.

Marine bunndyr og biologisk omrøring har blitt studert i forhold til organisk anrikning og PAHer i bunnsedimenter på Svalbard (Konovalov et al. 2010). Prøver samlet opp nært aktive kullgruver utenfor Barentsburg og lengre ut i Grønfjorden viste at PAH-kildene for begge områdene var kullpartikler og pyrolytiske forbindelser fra kulldrevne kraftverk. PAH-konsentrasjonene var tre ganger høyere utenfor bosetningen Barentsburg sammenlignet med lengre ut i Grønfjorden, i tillegg var forekomst og bestandsindeks av bunnfauna åtte til 10 ganger høyere i de organisk anrikede stasjonene utenfor Barentsburg. Resultatene fra et bioturbasjon eksperiment var i samsvar med hypotesen om at bunnfauna forsterker den vertikale transporten av PAHer i sediment (Konovalov et al. 2010).

Langtransportert PCB bundet til partikler vil kunne falle til bunns og tilføre bunnsedimentene rundt Svalbard PCB-forbindelser. Sedimentlevende evertebrater eksponeres for den biotilgjengelige delen av forurensningen i sedimentene. Som byttedyr for organismer høyere i næringskjeden kan evertebratene fungere som et ledd i overføringen av PCB mellom sediment og dyr høyere i næringskjeden.

Det har vært gjennomført flere undersøkelser av marine sedimenter i Svalbards fjorder; Kongsfjorden, Liefdefjorden, Adventfjorden, Grønfjorden, Billefjorden, Colesbukta, Isfjorden og Hornsund. Generelt viser disse undersøkelsene at nivåene av organiske miljøgifter, inklusive PCBer, er høyere utenfor bosettingene enn i andre marine områder rundt Svalbard. Dette indikerer at det marine miljøet i disse områdene også er påvirket av lokale kilder (Kallenborn et al. 2012a). Et studium av fire sedimentkjerner fra Barentshavet konkluderer med at de organiske miljøgiftene PAHer, PCBer og HCB er langtransportert (Zaborska et al. 2011). Nivåene av $\Sigma 16\text{PAH}$, $\Sigma 7\text{PCB}$ og halvparten av HCB-prøvene var alle i tilstandsklasse I (bakgrunn), mens den andre halvpart av HCB-prøvene var i tilstandsklassen II som er definert som "god" (SFT 2007). De abiotiske nivåene av organiske miljøgifter på Svalbard er derfor lave.

Kjemiske analyser av overflateprøver (0-1 cm kjernedyp) fra 24 stasjonene utenfor kysten av Nordland, Troms og Finnmark utført gjennom MAREANO-prosjektet i 2010 viser at arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), kopper (Cu), Hg, nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) har verdier i tilstandsklasse I for kyst og fjordsedimenter, tilsvarende bakgrunnsnivå (Boitsov & Klungsøyr 2012). Videre viser TBT-analysene fra 4

utvalgte prøvetakingsstasjoner at konsentrasjonene er under deteksjonsgrensen på 1 µg/kg sediment. I sedimentkjerner er det generelt lave metallkonsentrasjoner ned gjennom lagene. Det er en viss økning, spesielt for Hg og Pb mot toppen av de analyserte kjernene, noe som antas å reflektere tilførsel av menneskeskapt forurensning (Boitsov & Klungsøyr 2012). Også når det gjelder hydrokarboner (PAH og totale hydrokarbonnivåer [THC]) så er det lave nivåer i overflatesedimenter ved alle de undersøkte lokalitetene i 2010 og i 2011, og verdiene ligger i tilstandsklasse I for ΣPAHer (Boitsov & Klungsøyr 2012; Boitsov & Klungsøyr 2013). Sedimentkjerner viser likevel økning i PAH-nivåene i nyere sedimentlag ved noen av de undersøkte lokalitetene. Som for de uorganiske forbindelsene, tyder dette på menneskerelaterte kilder som forbrenning av fossilt materiale. Det ble også gjort målinger av bromerte flammehemmere (BFRer) av type PBDEer i overflateprøver fra 76 stasjoner fra hele MAREANO-området, innsamlet mellom 2006 og 2011. Nivåene av BFRer i alle prøver er lave og tilsvarer bakgrunnsnivåene for disse forbindelser (Boitsov & Klungsøyr 2013).

Sedimenter fra et "pockmark"-område Sør-Vest i Barentshavet er funnet å inneholde høye nivåer av petroleumsrelaterte PAHer. "Pockmark" er geologiske formasjoner som indikerer tidligere eller pågående oppsig av hydrokarbon-gass eller -væske fra formasjonene under sedimentoverflaten. Studiet viser klar forskjell i PAHer mellom områder med og uten "pockmarks" og impliserer at naturlige hydrokarboner også kan være en kilde til forekomster av slike forbindelser i sedimentene (Boitsov et al. 2011; Boitsov & Klungsøyr 2013).

TFP-undersøkelsene i 2009 (åtte stasjoner i Barentshavet) og 2011 (seks stasjoner i Norskehavet) av PAHer, klororganiske miljøgifter (PCB, DDT, HCB og lindan) og metaller (Hg, Cd, Pb og As) i sediment viste i hovedtrekk lave konsentrasjoner (klasse I eller II) (Green et al. 2010; Green et al. 2012). Arsen var et unntak, og på stasjonen sentralt i Barentshavet var konsentrasjon i klasse IV. Et annet unntak var enkelte PAH forbindelser på stasjoner nært kysten. Her må det tas forbehold om klassifiseringssystemet kan brukes på prøver tatt langt fra kysten. Det foreligger ingen klassifiseringssystem for THC men konsentrasjonene var høyest i den sentrale delen av Barentshavet, økende mot Svalbard. Konsentrasjoner av PBDE var lavere enn den øvre grense til tilstandsklasse II (god). Det er ikke satt verdi for tilstandsklasse I (bagrunn). De dominerende forbindelsene i sedimentet var i hovedtrekk tetrabrom-forbindelsene BDE-47, BDE-66 og BDE-77 i Norskehavet og henholdsvis tetra-brom- og deca-brom-forbindelsene BDE-77 og BDE-209 i Barentshavet. Av PFASene er det bare PFOS i sediment som er inkludert i klassifiseringssystemet og alle konsentrasjoner lå godt under øvre grense til klasse I.

2.1.4 Biota

Plankton

Nivåene av POPer i zooplankton er generelt lave, selv om konsentrasjonene ofte kan være 100-1000 ganger høyere i fett hos zooplankton enn i vannmassene de oppholder seg i (Hallanger et al. 2011a). Dette viser at miljøgifter tas opp lavt i næringskjeden gjennom fødeinntak eller direkte fra vannet (akkumulasjon). Konsentrasjonene av PCB og plantevernmidler (for eksempel HCH, HCB, klordaner, DDT) i zooplankton var sammenlignbare med andre tilsvarende studier fra Barentshavet og Russisk og Canadisk sektor av Arktis (Hallanger et al. 2011a). Imidlertid fant Hallanger et al. (2011a) noe høyere konsentrasjoner av bromerte forbindelser enn tidligere rapportert i Barentshavet. Siden blandingsprøver bestående av flere arter av zooplankton som regel blir benyttet i slike miljøgiftanalyser var det vanskelig å si om forskjellen i nivå av bromerte forbindelser var reell eller om forskjellen muligens kunne skyldes en ulik artssammensetning og da eventuelt forskjellen mellom artenes akkumulering av bromerte forbindelser.

Næringskjede

Hallanger et al. (2011c) undersøkte den sesongmessige variasjonen i akkumuleringen av POPer i det marine pelagiske næringsnettet i Kongsfjorden på Svalbard. Den trofiske magnifiseringsfaktoren (TMF) ble brukt som et mål på akkumuleringen av POPer, og data fra mai, juli og oktober ble studert for å sammenlikne ulike sesonger. Til sammen ble sju arter av pelagisk zooplankton, fem arter fisk og to arter sjøfugl studert. De høyeste TMFene ble funnet i juli da næringskjeden besto av større andel av sørlige (boreale) arter. Ved en fremtidig oppvarming av Arktis og dermed økt innvandring av boreale arter kan dette resultere i en økt TMF, ensbetydende med at arter høyt i næringskjeden relativt sett kan

akkumulere høyere konsentrasjoner av miljøgifter sammenlignet med lavere trofiske nivåer enn det de gjør i dag. Undersøkelse av en rekke grupper klororganiske miljøgifter (blant annet PCB, DDT, HCH, HCB og klordaner) i en snegleart (*Lacuna vincta*), blåskjell (*Mytilus edulis*), tangsprell (*Pholis gunnelius*) og teist (*Cepheus grille*) på Island viste i hovedsak lave konsentrasjoner for de fleste miljøgiftgruppene (PCB, DDT, og HCB) i sneglearten og blåskjell, noe høyere nivå i tangsprell, og ca. 10 ganger høyere nivåer i teist. Unntakene gjaldt HCH og klordaner som lå på samme nivå i alle fire arter (Skarphedinsdottir et al. 2010).

De Laender et al. (2011a) har modellert utviklingen i miljøgiftsituasjonen (POPer og PAHer) for Norskehavet og Barentshavet ved å kombinere 20 000 miljøgiftmålinger i ulikt vev, med tidstrenddata for miljøgifter fra 21 ulike arter fra ulike trofiske nivå, og en modell for bioakkumulering av miljøgifter i næringsnettet. Arbeidet deres antyder at konsentrasjonen av POPer var 10 ganger lavere i 2010 sammenlignet med i 1985. PAHer fra olje i lavere trofiske nivåer (virvelløse dyr og fisk) hadde derimot økt 10-30 ganger de siste 25 årene. I motsetning til før årtusenskiftet (2000) hvor PCBer dominerte, så viser funnene dere at PAHer nå er den dominerende miljøgiftgruppen i biota i Barents/Norskehavet. Basert på funnene foreslår også forfatterne at fremtidige debatter omkring effekter av petroleumsindustrien i større grad enn i dag også bør inkludere miljøeffektene av PAHer fra industrien som for eksempel effekter av PAHer på biota.

Sjøpattedyr og isbjørn

I et studium av Savinov et al. (2011) analyseres både organiske sprøytemidler, PCBer og PBDEer i spekk fra ringsel (*Phoca hispida*) fra fire Russiske områder; Kvitsjøen, Barentshavet, Karahavet og Chukchihavet (2001-2005). Funnen var i tråd med tidligere studier av geografiske trender i Arktis, og nivåene av PCB og DDT i selen fra den Europeiske delen av det Russiske Arktis var høyere enn det som er rapportert fra andre Arktiske områder. ΣPBDE nivåer i Europeisk del av det Russiske Arktis var litt høyere enn i ringsel fra Canadisk Arktis, Alaska og vest-Grønland, men lavere enn i ringsel fra Svalbard og øst-Grønland (Savinov et al. 2011). Nivåene av PBDE i sjøpattedyr analysert fra prøver tatt over en 20-årsperiode fra 1986-2009 viste at de høyeste verdiene ble funnet på slutten av 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet, noe som sannsynligvis reflekterer økningen av produksjon og bruk gjennom 90-tallet (Rotander et al. 2012b). Undersøkelsen viser videre at tannhval som grindhval (*Globicephala melas*) og kvitskjeving (*Lagenorhynchus acutus*) hadde høyere nivåer av PBDE-metabolitter (MeO-BDEer) enn finnhval (*Balaenoptera physalus*) og ringsel. At nivåene av MeO-BDEer i flere tilfeller oversteg nivåene av den vanligste PBDEen, BDE-47, at det var svært varierende nivåer av MeO-BDEer, og manglende sammenheng mellom PBDE-morkomponentene og metabolittene tydet på en naturlig kilde for MeO-PBDEs i tillegg til metabolittene som dyrene selv produserer (Rotander et al. 2012b). I de samme dyrene steg nivåene av langkjedede perfluorerte karboksylsyrer (PFCA [C9-C12]) mens perfluorerte oktansulfonater (PFOS) var stabil gjennom perioden (Rotander et al. 2012a). I Arktiske luftprøver er den deka-bromerte kongeneren, BDE-209, den vanligste PBDEen, mens nivåene av BDE-209 er svært lave i Arktiske dyr. BDE-209 utgjorde så mye som 90 % av PBDE-produksjonen og bruken av BDE-209 er enda ikke regulert internasjonalt. Imidlertid har utfasingen startet med forbud i noen land og utfasing av deka-BDE produksjon i USA er planlagt å starte i 2012. McKinney et al. (2011a) studerte nedbrytingen av BDE-209 og lavere bromerte forbindelser i levermicrosomer fra ulike arktiske dyr, og fant ut at nedbrytningen var betydelig i isbjørn (*Ursus maritimus*), ringsel og hvithval (*Delphinapterus leucas*). Nedbrytningen av BDE-209 var også høyere enn for de lavere bromerte PBDEene. Imidlertid ble ikke nedbrytingsproduktene av BDE-209 funnet i eksperimentet. Dette tyder på at mengden av både BDE-209 og tilhørende metabolitter kan være underestimert i arktisk biota og at dyrelivet kan være mer eller mindre kontinuerlig utsatt for disse forbindelsene. Forfatterne foreslår at et videre arbeid knyttet til identifisering og karakterisering av BDE-209 metabolittenes persistens og toksisitet bør prioriteres.

Naftalener i sediment, sjøfugl og sjøpattedyr

Polyklorerte naftalener (PCNer) er en gruppe klorerte aromatisk hydrokarboner hvor grunnstrukturen består av et naftalen-molekyl som kan binde fra 1 til 8 kloratomer. Totalt finnes det dermed 75 mulige PCN-kongener. PCNer finnes i arktisk luft med de høyeste nivåene i Europeisk Arktis. PCN viste liten eller ingen biomagnifikasjon lavt i næringskjeden i Østersjøen og selektiv endring av kongenerne tyder på metabolisme av enkeltkongener (Bidleman et al. 2010). Total konsentrasjon av PCN i sjøfugl varierte med mer enn faktoren 100 og de høyeste konsentrasjonene er funnet i egg og plasma fra polarmåke (*Larus hyperboreus*) Bjørnøya og i lever av havhest (*Fulmarus glacialis*) fra Canada. Lavere

konsentrasjonene ble funnet i polarmåkeegg fra Svalbard og egg fra svartbak (*Larus marinus*) fra Færøyene. Daterte sedimentkjerner fra en innsjø i Storbritannia viste at Σ PCNs deponering toppet seg i 1960, om lag 20 år før Σ PCBer (Gevao et al. 2000). Retrospektivt ble PCN analysert i sjøpattedyr fra Atlanterhavet for perioden 1986-2009 (Rotander et al. 2012c). Lave verdier ble funnet (0,03 - 5,9 ng/g lipidvekt) og disse utgjorde omtrent 0,2 % av totalkonsentrasjonen av ikke-planare PCBer som er de vanligste PCBene. Det ble ikke funnet noen klar tidstrend, men de laveste verdiene ble funnet for det siste målepunktet i 2006/2007.

Kvikksølv

Kvikksølv frigjøres til atmosfæren fra naturlige kilder som vulkaner, skogbranner og fordampning fra havet samt fra menneskeskapte kilder som forbrenning av avfall og kull. De menneskeskapte utslippene av Hg har endret seg mye det siste århundret i takt med industriens endringer. Utslipp av Hg har blitt redusert i Nord-Amerika og Europa siden 1990-årene, mens utslippene fra Asia har økt sterkt på grunn av sterk økning i forbrenning av kull (Pacyna et al. 2006). I sjøvann skjer det en metylering av Hg til monometyl Hg (Me-Hg) som er en organisk form for Hg. Denne formen av Hg er både giftig, den bioakkumuler i marine dyr, og er den viktigste kilden til Hg i næringskjedene (Kirk et al. 2012). Kvikksølv er beskrevet som et av problemstoffene av overvåkningsgruppen siden verdiene overstiger miljøkvalitetsstandardene i flere arter. Kvikksølvinnholdet har økt i marine pattedyr og fugl etter den industrielle revolusjonen og fortsetter å stige i noen Arktiske regioner. Resultater tyder på at det har vært en 10-dobling i Hg nivåer i de øvre trofiske nivåene de siste 150 årene (Kirk et al. 2012). Imidlertid viser overvåkningsdata fra Arktis over de siste 30 årene et komplekst bilde hvor de fleste tidsseriene ikke viser endring, noen serier viser en nedgang av nivåene, mens noen få serier viser økning (Riget et al. 2011). Norge har et bidrag til Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR) sitt Coordinated Environmental Programme (CEMP) som fokuserer på nivåer, trender og effekt av miljøgifter nær kysten i Nord-Atlanteren. CEMP viser nedadgående trend av Hg i torsk (muskel) fra Varangerfjorden og ingen trend i torsk fra Lofoten siden tidlig i 1990-årene (Green et al. 2012). Nivåene i 2011 var i MDs klasse I (lite forurensset). De samme nivåene fantes i torsk fra Jan Mayen og Bjørnøya under TFP-undersøkelsene i perioden 2009-2011 (Green et al. 2010; Green et al. 2012). CEMP- og TFP resultater for Hg, samt kadmium og bly, brukes i forbindelse med regelmessige oppdateringer av forurensningsindikator for overvåkningsgruppen

Et litteraturstudium av de toksikologiske effektene av Hg i arktisk biota (Dietz et al. 2013) konkluderte med at de høyeste Hg konsentrasjonene som er funnet i hjernevev hos arktiske tannhval er i størrelsesorden med det som kan gi nevrologiske effekter. Til tross for relativt lave nivåer av Hg i hjernestamme av isbjørn, var konsentrasjoner av Hg i lever og nyre av isbjørn relativt høy. Videre gir de relativt høye nivåene av Hg i isbjørnhår grunn til bekymring for mulige helseeffekter, og spesielt hos isbjørn fra Nord-Canada og Grønland. Grindhval fra Færøyene og i noen tilfeller hvithval fra St. Lawrence og Point Bay i Nord-Amerika hadde leverkonsentrasjoner av Hg som oversteg terskelverdiene for leverskade. Noen fuglearter har Hg-konsentrasjoner i egg som kan gi negative effekter på reproduksjonen (Dietz et al. 2013).

Andre metaller

Med få unntak var CEMP-resultater lave (klasse I - bakgrunn) for kadmium, kobber, bly, sink, arsen, kobolt, krom, nikkel, sølv og TBT i torsk, rødspette og blåskjell fra Lofotenområdet og Varangerfjorden (Green et al. 2012). Unntaket gjaldt arsen i blåskjell fra Lofoten området (klasse II) og kadmium i rødspette fra Varangerfjorden (klasse II). Tidstrend på data i perioden 2002-2011 var nedadgående eller ikke detektert, med unntaket av kadmium i rødspette (lever). Det ble heller ikke registrert noen forhøyede konsentrasjoner av metaller i torsk under TFP 2009 og 2011 i området Haltenbanken, vest for Røst og Jan Mayen (Green et al. 2012), eller i området rundt Bjørnøya og Svalbard (Green et al. 2010).

Endosulfan

Endosulfan er et klor-organisk plantevernmiddel hvor de kommersielle miksturene primært bestod av de to diastereoisomerene α - og β -endosulfan. Endosulfan har vært i utstrakt bruk i store deler av verden i forbindelse med en rekke typer jordbruk knyttet til produksjon av bomull, korn, frukt, te og kaffe. Endosulfan har vært i bruk i 50 år og er et effektivt middel mot skadeinsekter og midd. Siden endosulfan er semi-flyktig og er motstandsdyktig mot nedbryting finner vi igjen endosulfan over hele kloden (Weber et al. 2010). Tidstrender fra studier på is, snøkjerner og innsjøsedimenter viser en

markant økning av endosulfan fra 1980 og utover. Videre, i motsetning til andre klor-organiske plantevernmidler, viser ikke nivåer av α -endosulfan noen nedgang i atmosfærisk overvåkingsdata. Det er også påvist økning av endosulfan i hvithval i Canada fra 1982 til 2002, men det ser ut som det skjer en utflating av konsentrasjonene i perioden 1996-2002. Endosulfan blir tatt opp i næringskjeden, og er påvist i blant annet zooplankton, fisk og marine pattedyr, men bevisene for trofisk biomagnifisering er svak til fraværende, antagelig på grunn av økt grad av metabolisering oppover i næringskjeden (Weber et al. 2010). Endosulfan ble i 2009 tatt opp i Stockholmkonvensjonen og ble dermed forbudt å bruke med noen få unntak.

POP nivåer og tidstrender

Letcher et al. (2010) har sammenfattet data om eksponering og effekter av POP fra Arktis for perioden 2002-2009. Deres konklusjoner er at vevskonsentrasjoner i flere arktiske sjøpattedyr og bestander overstiger en generell terskel for bekymring på 1 part-per-million (ppm), men at det ikke finnes noen klare bevis på en POP-relatert stressrespons i disse populasjonene. Det er derfor minimale bevis for at POP har utbredt effekter på helsen til arktiske organismer. Unntak gjelder trolig for noen "hot-spot" arter og populasjoner av isbjørn og polarmåke som isbjørn på Øst-Grønland og Svalbard og polarmåke fra Bjørnøya på Svalbard. Basert på en artikkel skrevet av Letcher et al. (2010) for Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) så er det konkludert at isbjørn på grunn av høye nivåer av POPer kan være mer mottakelig for infeksjoner på grunn av POPenes mulige negative effekt på immunsystemet, samt reproduksjonseffekter knyttet til høy eksponering for hormonforstyrrende POPer. Liknende sammenhenger er også konkludert og kunne være tilfelle hos høyekspont polarmåke, som i tillegg også kan se ut til å være i risikozonen for POP-induserte atferdsendringer. Imidlertid må eventuelle effekter av miljøgifter i arktiske dyr settes i sammenheng med andre miljømessige, økologiske og fysiologiske stressfaktorer (noe vi behandler som samvirkende effekter i kapittel 3) som til sammen utgjør et komplekst bilde. Et skiftende miljø, som for eksempel global oppvarming og nedsmelting av sjøis, kan påvirke dyrelivet med alt fra økt konkurranse om ressursene, tap av habitat og til nye og mer virulente sykdommer (Letcher et al. 2010).

En gjennomgang av tidsserier av de gamle klassiske POPene viser at reguleringer med stopp i produksjon og bruk virker. Mesteparten av tidsseriene viste nedadgående trender for POPer, med bare noen få unntak som viste økende trender (Riget et al. 2010). Dette stemmer med CEMP-resultater hvor bare nedadgående trender eller ingen trend ble registrert for PCB, p,p' -DDE, HCB eller γ -HCH i blåskjell, rødspette og torsk fra Lofoten området og Varangerfjord (Green et al. 2012). TFP-undersøkelsene i perioden 2009-2011 viste også lave verdier av PCB, DDT, HCH i torsk fra Haltenbanken, Røst og Jan Mayen, med konsentrasjoner godt under den øvre grensen til tilstandsklasse I (bakgrunn) (Green et al. 2010; Green et al. 2012). Videre viste undersøkelsene at HCB i torsk fra Jan Mayen lå i tilstandsklasse II (god).

De fleste tidsseriene som omhandlet α -HCH, γ -HCH og Σ DDT viste nedadgående trender, mens kun noen få tidsserier viste nedadgående trender for Σ klordaner (Riget et al. 2010). β -HCH skilte seg ut fra de andre miljøgiftgruppene hvor en rekke tidsserier faktisk viser økende trender i det Canadiske Arktis. Den avvikende trenden for β -HCH kan skyldes at langtransport av denne forbindelsen primært forekommer via havstrømmer, og ikke via atmosfæren som de andre POPene (Riget et al. 2010). Fallende konsentrasjoner av PCB, DDT, HCH og klordan-forbindelser er også vist i et annet studium av Muir og de Wit (2010). De avtagende nivåene av de fleste POPene er satt i sammenheng med nasjonale og regionale forbud og restriksjoner på bruk og utslipp.

Muir og de Wit (2010) konkluderer videre med at tidstrendene av PBDEer varierer, noen øker, mens andre er stabile eller går ned. TFP-undersøkelsene viste at de dominerende forbindelsene i torsk fra både Norskehavet og Barentshavet fortrinnsvis er tetrabrom-forbindelsen BDE-47 og pentabrom-forbindelsen BDE-100 (Green et al. 2010; Green et al. 2012). Videre er det en utflating eller nedgang i konsentrasjonen av PFOS i Alaska, den Canadiske Arktis og nordlige deler av Norge, men ikke på Grønland. Trendstudiene viser at PFOS avtar eller flater ut, mens trendene generelt tyder på at konsentrasjoner av PFCAer som PFNA, PFDA og PFUnA i arktisk marin biota ikke går ned, noe som er i samsvar med de estimerte utslippene (Muir & de Wit 2010). PFOA og andre PFCAer blir fortsatt produsert og brukt, selv om de nå er foreslått tatt inn i Stockholmkonvensjonen som miljøgifter. I et teoretisk studium om potensielt nye miljøgifter som ikke tidligere har blitt screenet for i det Arktiske

miljøet blir det pekt på mange mulige forbindelser som inneholder brom, fluor og silisium (Muir & de Wit 2010). I et teoretisk studium om potensielt nye miljøgifter som ikke tidligere har blitt screenet for i det Arktiske miljøet blir det pekt på mange mulige forbindelser som inneholder brom, fluor og silisium (Howard & Muir 2010). De nevnte TFP-undersøkelsene har vist at i torsk fra Barentshavet var det PFCA-forbindelsen perfluorhexansyre (PFHxA) som var den dominerende fluorforbindelsen. I Norskehavet var PFOS og perfluoroktansulfonsyre (PFOSA) detektert i fisk fra Haltenbanken (Green et al. 2010; Green et al. 2012). I tillegg ble PFCA-forbindelsene PFNA og perfluorundekansyre (PFUDA) detektert i henholdsvis torsk fra Haltenbanken og i torsk fra en stasjon lenger nord.

Olje

Det forventes økt aktivitet i nordområdene i årene som kommer. Nye lisenser for å lete og bore etter olje deles ut i Norskehavet, samtidig som nye felter planlegges å bygges ut for produksjon av gass. Samtidig er det stor leteaktivitet i Barentshavet og også her forventes ny utbygging de nærmeste årene med produksjonsstart på Johan Castberg feltet i 2018 (<http://www.statoil.com/>). Samtidig ser vi en økning, og det forventes fortsatt vekst, i båttrafikken i nordlige områder. TFP tyder på at tilførsel av olje fra skip er hovedbidraget for kyststrøk i Arktisk (region V-VIII og region X etter oppdelinger av miljøovervåking for petroleumsvirksomheten) (Green et al. 2013). Antallet cruiseturister som har gått i land utenfor bosetningene på Svalbard har tredoblet seg de siste 18 årene (Tall fra Sysselmannen på Svalbard - <http://mosj.npolar.no/>) og antallet skip gjennom Nordøstpassasjen har økt fra 4 i 2010, til 34 i 2011, 46 i 2012 og i 2013 forventes det at over 50 båter blir å transportere varer gjennom Nordøstpassasjen (<http://barentsobserver.com/>). Med økt aktivitet forventes en økt risiko for ulykker med påfølgende oljesøl. I tillegg vil produsert vann fra oljeinstallasjoner kunne inneholde kjemikalier og løselige oljekomponenter.

Olje er et naturprodukt som i millioner av år naturlig har lekket ut fra berggrunn til miljøet. Oljeprodukter vil derfor omsettes i miljøet av mikroorganismer og vil også brytes ned i organismer lengre opp i næringskjeden. Til tross for dette er olje skadelig for miljøet. Mest synlig er direkte oljeutslipp fra ulykker med båt eller fra plattformer hvor tilgrising av strender, fugler og dyr er svært synlige bevis på skadelig effekt. Beredskapsoppbygging parallelt med økt bruk av nordområdene er derfor nødvendig siden risikoen for oljeutslipp og utslipp av skadelige kjemikalier da vil øke (Neuparth et al. 2012; Radovic et al. 2012). Det er mangel på kunnskap om effekten av de fleste oljekomponenter og ulike typer olje- og dieselblandinger (Radovic et al. 2012). Foruten mangel på viten på effekter er det også behov å sammenstille denne informasjonen for å gjøre en helhetlig vurdering som for eksempel effekter på torskelarver (De Laender et al. 2011b).

Videre er det et faktum at mesteparten av testene er utført på arter fra tempererte områder og at mangelen på kunnskap om oljekomponenters virkning på Arktiske arter er mangelfull (de Hoop et al. 2011; Nahrgang et al. 2013; Nahrgang et al. 2010a; Olsen et al. 2011). Imidlertid viser de første sammenligninger av giftigheten til olje mellom Arktiske og mer tempererte arter ingen vesentlige forskjeller, noe som betyr at sensitiviteten for olje kan være sammenlignbar (de Hoop et al. 2011; Nahrgang et al. 2013; Nahrgang et al. 2010a; Olsen et al. 2011). Olje fra større utslipp kan gi langtidseffekter, spesielt hvis oljen trekker ned i sand og grus i strandlinjen (Mearns et al. 2011; Xia & Boufadel 2010; Zuijdgeest & Huettel 2012). For eksempel finnes det fremdeles oljerester på strendene som ble tilgriset etter at tankeren Exxon Valdez gikk på grunn i Prins William sundet i Alaska i 1989 og 38.000 tonn tungolje lakk ut. Olje i sedimenter kan dermed produsere en kronisk og langvarig eksponeringsrisiko for noen arter og lokale økosystemer (Mearns et al. 2011; Xia & Boufadel 2010). Lengre ut til havs vil mer av oljen dispergere mekanisk og dermed brytes fortere ned. Olje kan også kjemisk dispergeres slik at den lettere blandes inn i vannmassene. Denne formen for oljebekjempelse er omstridt og et nyere studium etter Deepwater Horizon ulykken i Mexicogulfen viser at tilsetning av dispergeringsmidler til olje som drifter i land tillater råoljekomponentene å trenge raskere og dypere inn i sanden (Zuijdgeest & Huettel 2012). De anaerobe forhold dypere ned i sanden kan bremse nedbrytning av disse stoffene, og dermed forlenge tiden som potensielt skadelige PAH finnes i det marine miljøet.

2.2 Konklusjoner Norskehavet og Barentshavet

Konsentrasjoner av miljøfarlige stoffer i Norskehavet og Barentshavet er stort sett lave. Denne gjennomgangen av litteratur fra Norskehavet, Barentshavet og Arktis publisert i perioden 2010 - 2013 bekrefter konklusjonen fra Faglig forum og Overvåkningsgruppen for forvaltningsplanområdet med hensyn til miljøgiftsituasjonen. I vann er konsentrasjonen av de organiske miljøgiftene som det finnes klassifiseringsverdier for, mye lavere enn tilstandsklasse I (bakgrunn) og EQS verdier. Prøver fra sedimenter viser overordnet at miljøtilstanden i havområdene er gode. Likevel vises tilførsel av menneskeskapte miljøgifter mot toppen av sedimentet som utgjør de siste 10-års avsetninger. Dette er hovedsakelig sedimenter utenfor bosetninger, havner, elver og rundt oljeplattformer som kan ha fått tilført naturlige eller menneskeskapte tungmetaller eller organiske miljøgifter. Prøver tatt fra uforstyrrede havområder viser stort sett bare tilstandsklasse I (bakgrunn), mens noen stasjoner i Barentshavet har vist tilstandsklasse II (god) for HCB (organisk plantevernmiddel, som også kan dannes som et biprodukt fra industri).

"Gamle" organiske miljøgifter som PCB, og klororganiske plantevernmidler viser nedadgående trender i luft, sedimenter, fisk, sjøpattedyr og fugl. Det er imidlertid fremdeles utfordringer med miljøgifter som enten nylig har blitt regulert, eller som enda ikke er regulert, for eksempel polyklorete naftalener eller miljøgifter som inneholder fluor eller brom. Til tross at de mest dominerende miljøgiftene minker er det fremdeles mistanke om at de kan ha negativ virkning på helsen til toppredatorene i systemet. Generelt sett er nivåene av miljøgifter lave i Norskehavet og Barentshavet, med unntak av noen stoffer i toppredatorer. Hos noen arktiske arter som polarmåke, isbjørn og spekkhugger er PCB-nivåene høye nok til å kunne gi effekter på for eksempel reproduksjon, hormon og immunsystemene med en mulighet for påfølgende reduksjon av artens overlevelse.

Klimaendringer vil påvirke den komplekse globale distribusjon, lagring og omsetning av miljøgifter. Innlandsis, isbreer og havis som inneholder langtransporterte miljøgifter vil ved smelting og oppvarming frigjøre miljøgifter. Økt nedbørfrekvens og flom kan vaske ut miljøgifter fra jordsmonn, stormer kan vaske ut miljøgifter fra sedimenter i strandsonen og økt ekstremvær i form av skogbranner kan frigi miljøgifter til luft. Ved et endret klima kan også fordelingen mellom nivåer av miljøgifter i næringskjeden endre seg.

For nivåer og tilførsler av miljøgifter og radioaktive stoffer er det fortsatt kunnskapsmangler om tilførsler til, spredning i og opptak av forurensende stoffer i havområdene og deres økosystemer. Det er et behov i fremtidige forskningsprosjekter at det også legges fokus på hvordan klimaendringer påvirker tilførsel og omsetning og at et enda større fokus rettes mot samvirkende effekter. En nasjonal og internasjonal koordinering og styrking av overvåking og forskning vil kunne gi bedre grunnlag for helhetlig vurdering av nivå, trender og effekter for både nye og gamle miljøfarlige stoffer samtidig som ressursene utnyttes bedre.

Konklusjonen for de to havområdene er i hovedsak at forurensningssituasjonen i hovedsak er lik, men at det er noe lokal variasjon. Norskehavet og Barentshavet er store, henholdsvis 3,2 og 1,4 ganger Norges areal, og mer bruk av modeller både for spredning og opptak i næringskjede kan være nyttig.

3. Effekter og samvirkende effekter av miljøgifter i Norskehavet og Barentshavet

3.1 Introduksjon

Dette kapittelet inneholder en gjennomgang av ny forskning på effekter og samvirkeeffekter av miljøgifter i våre nordligste havområder (Figur 1.1). Teksten er laget som et supplement til de faglige vurderingene fra gruppen for overvåking av de marine økosystemene (overvåkinggruppen) vedrørende miljøtilstanden i våre nordligste havområder (Arneberg et al. 2013; Sunnanå & Fossheim 2010). Overvåkinggruppen er etablert som rådgivende faggruppe i arbeidet med helhetlige forvaltningsplaner for norske havområder, er ledet av Havforskningsinstituttet og har til oppgave å koordinere miljøovervåkingen i de norske havområdene og å rapportere om utviklingen av miljøtilstanden i våre havområder.

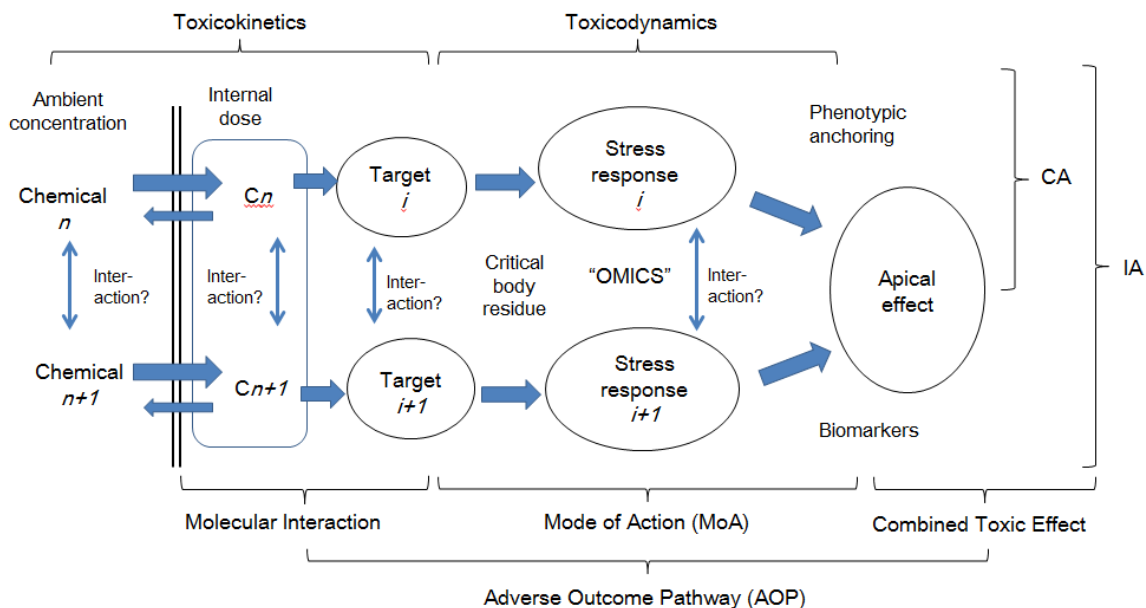
Samvirkeeffekter av miljøforurensning er en tidsaktuell problemstilling. Slike effekter er biologiske «skadetilstander» som oppstår i et individ eller en populasjon som følge av samtidig eksponering for flere miljøgifter (eller stressorer). En samvirkeeffekt kan noen ganger oppstå selv om enkeltkomponentene i eksponeringsblandingen forekommer i en for liten mengde til å utløse målbar effekt. Fenomenet blir dessuten ytterligere komplisert ved at også en rekke ikke-kjemiske faktorer (som for eksempel ulike klimatiske betingelser, mattilgang og sykdommer) kan påvirke den totale samvirke-stress/effekt-situasjonen. Problemstillingen om samvirkeeffekter er aktuell for våre nordligste områder som virker som endestasjoner for langtransporterte og tungt-nedbrytbare miljøgifter (såkalte POPer) som tilføres Arktis langveisfra via atmosfæriske prosesser og havstrømmer (Beyer & Borgå 2012). Kjemiske målinger viser at visse organismer i Arktis er mer kontaminert med menneskeskapte miljøgifter enn hva en skulle tro ut fra avstanden fra forurensningskildene. Dette gjelder særlig dyr høyt opp i næringskjeden. I Norskehavet og Barentshavet finnes store fiskeressurser som det er viktig at vi forvalter på en økologisk bærekraftig måte. Dessuten ønsker vi at disse marine ressursene skal gi oss tilgang til ren og sunn mat inneholdende så lite som mulig av uønskede kontaminanter og miljøgifter. Persistente miljøgifter som polyklorerte dioksiner utgjør et kjent problem i visse marine produkter. Kunnskap om ulike miljøgifters tilførsel, oppførsel og effekter i polarområdene er helt nødvendig for å kunne iverksette effektive avbøtende tiltak ved kilden. Etter at miljøforskning for noen tiår siden avdekket opphoping av klororganiske sprøytemidler og andre POPer i rovfugler og en rekke andre arter ble det etter hvert innført en skjerpet miljøregulering internasjonalt for en rekke typer POP forbindelser. Gevinsten av denne innsatsen ses nå ved klare tendenser til synkende konsentrasjoner i miljøet for en rekke prioriterte miljøgifter, også i de arktiske områdene. Men situasjonen i Arktis er likevel bekymringsfull både på grunn av de gamle (legacy) og nye (emerging) miljøgiftene, og på grunn av de store endringene som forventes å skje i regionen på grunn av klimarelaterte forandringer og en økt industriell tilstedeværelse i regionen (olje/gass næring, maritim transport).

I dette kapittelet presenteres det en kort innføring i temaet samvirkeeffekter og deretter en oversikt over de siste 3-4 års forskning og fagpublisering vedrørende biologiske effekter og samvirkeeffekter av miljøgifter i arktiske områder, med vekt på Norskehavet og Barentshavet. For samvirkende effekter belyses hovedsakelig problemstillinger som vedrører miljøgifter (kjemisk påvirkning) men også bidrag til samvirkende effekter fra ikke-kjemiske faktorer, som klimarelaterte forandringer. Til slutt (i kapittel 4) gis det en kort oppsummerende diskusjon om kunnskapsstatus og de vesentligste kunnskapsmangler for de berørte fagtema.

3.2 Samvirkeeffekter av miljøgifter

Forurensning er utslipp av skadestoffer/miljøgifter fra naturlige og menneskeskapte prosesser. I sammenheng med menneskeskapt forurensning er det sjelden at skadelige forurensningsstoffer opptrer enkeltvis. Tvert imot så vil de i forurenset miljø opptre som komplekse blandinger av flere miljøgift-morsubstanser og deres nedbrytningsprodukter, og slike blandinger kan gi opphav til samvirkeeffekter. Forskning viser at komplekse blandinger av miljøgifter kan opptre i levende organismer og spesielt lengelevende arter høyt oppe i næringskjedene er særlig utsatt for å akkumulere høye nivåer. Ny kunnskap har de siste årene ført til at antallet stoffer som regnes som miljøgifter har økt. En økende oppmerksomhet blir rettet mot fettløselige (hydrofobe) og tungt nedbrytbare (persistente) miljøgifter som har evne til å akkumulere og anrikes i levende organismer, og særlig typer som ved svært lave konsentrasjoner kan påvirke viktige biologiske prosesser som hormonregulering, biologisk utvikling og reproduksjonsevne.

Et kjemisk stoffs giftvirkning er alltid avhengig av konsentrasjonen som er til stede der virkningen skjer (target-dose). Ved samvirkeeffekter er det flere substanser til stede og disse er «likt-virkende» eller «forskjellig-virkende» i forhold til den biologiske prosessen de påvirker, det vil si at de har lik eller forskjellig virkningsmekanisme (Mode of Action, MoA) (Figur 3.1). MoA begrepet er konseptuelt sentralt for beskrivelsen av samvirkeeffekter og for utvelgelsen av undersøkelsesmetoder. Miljøgifters påvirkning av molekulære reseptorer er mye brukt som eksempler på samvirkeeffektrelevante virkningsmekanismer. For eksempel, en rekke hormonhermende miljøgifter kan virke som agonister til (det vil si at de kan bindes til og aktivere) østrogenreseptoren (Estrogen receptor, ER) og dermed påvirke den cellulære og biologiske reguleringen som styres av østrogene hormoner. Slike likt-virkende substanser kan generelt anses å bidra til samvirkeeffekter via en eller annen form for konsentrasjons-addisjon (Concentration Addition, CA, også kalt Loewe additivity), mens forskjellig-virkende substanser anses å påvirke hverandres effekt via forskjellige/uavhengige mekanismeprosesser (Independent Action, IA, også kalt Bliss Independence). En samvirkeeffekt kan arte seg enten som ulike grader av additiv effektvirkning (deeffektene av bidragende substanser legges sammen) eller eventuelt som en synergistisk effektvirkning (substansene forsterker hverandres effekt utover additivitet) eller som en antagonistisk effektvirkning (i tilfeller der substanskombinasjonen virker reduserende på virkningen totalt sett). Ved manifestering av skadelige samvirkeeffekter vil det som et effektmessig sluttresultat (apical effect, effect endpoint, effekt endepunkt) oppstå en eller annen form for unormal/ugunstig biologisk tilstand hos den påvirkede organisme/populasjon. Dette sluttresultatet er som en syntese av de mer underliggende effekt-prosessene (Figur 3.1). Eksempler på slike effektmessig sluttresultat tilstander kan være død, sykdom, tilstedeværelse av vevsmessige misdannelser, et dårlig-fungerende immunsystem, manglende eller redusert evne til å produsere avkom (hos individ eller populasjon), osv. Hele den komplekse effekt-prosessen, fra de initiale biomolekulære interaksjonene til manifesteringen av den unormale tilstanden for det påvirkede individet, betegnes som en «Adverse Outcome Pathway» (AOP). En hel AOP kjede består med andre ord både av en eller flere initierende molekulære hendelser, ulike sub-cellulære endringer/responser, cellulære forandringer, organ-responser og graden av normal funksjon hos individet. Det er en helt sentral målsetning innenfor toksikologisk og økotoksikologisk forskning å frembringe kunnskap om miljøgifters AOPs, ettersom slik kunnskap gjør det konseptuelt mulig å anvende «tidlige» hendelser i effektkjeden som «tidlig-varslende» markører (biomarkører) for de potensielle «senere» og høyere-ordens effekter og skadetilstander.



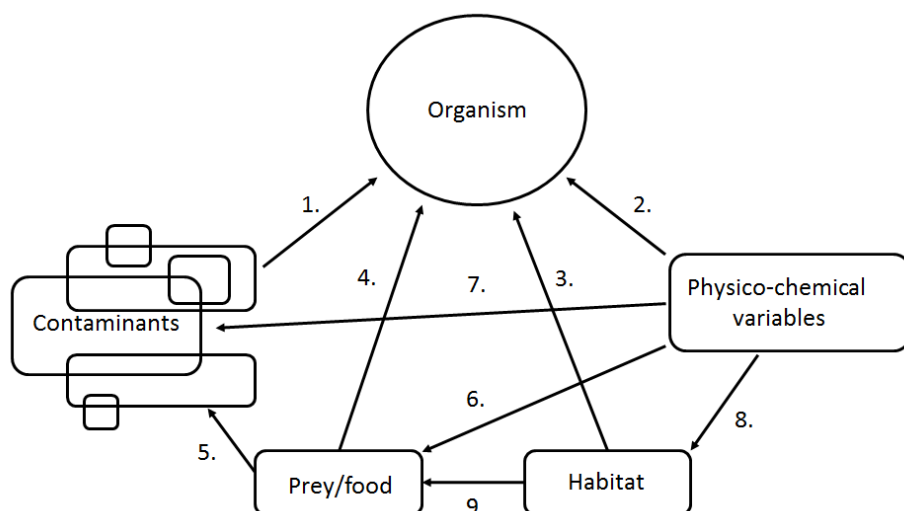
Figur 3.1: En konseptuell fremstilling av sammenhengen mellom tidlige og sene effekter i en Adverse Outcome Pathway (AOP) i samvirkeeffekter, og prinsippet for hvordan Concentration Addition (CA) og Independent Action (IA) samvirkeeffekter kan påvirke samme miljøtoksikologiske endepunkt. Figur fra Beyer et al. (2013a) er en modifisert versjon av en figur publisert av Altenburger et al. (2012).

I sammenheng med vurdering av samvirkeeffekt av kjemiske blandinger vil man typisk velge å benytte enten en «top-down» eller en «bottom-up» orientert tilnærming for undersøkelsen. En top-down tilnærming betyr prinsipielt at man starter med først å teste giftigheten/effekten av hele blandingen samlet (whole-mixture/whole-effluent testing). Dersom den aktuelle blandingen slår positivt ut med den valgte testmetoden vil man i neste fase gjennomføre en kjemisk fraksjonering og deretter en videre effekt-testing av de ulike fraksjonene for å påvise hvilke av disse som er virksomme i forhold til det aktuelle biologiske endepunktet. I neste trinn blir de virksomme fraksjonene analysert kjemisk med sikte på å identifisere substansklasser og evt. enkelt-komponenter som har bidratt til den observerte effekten (såkalt Effect Directed Analysis, EDA).

Den andre prinsipielle hovedtilnærmingen, bottom-up tilnærming, starter ved at man gjør en grundig kjemisk karakterisering av den aktuelle blandingen. Deretter samles det dose-respons giftighetsdata for de ulike påviste komponentene. Dette kan skje ved søk i kjemikalieregistre og databaser eller ved gjennomføring av nye giftighetstester med utvalgte enkeltkomponenter i de tilfeller der relevante data ikke er tilgjengelig. Med basis i slike effektdata for enkeltkomponenter kan en deretter ved hjelp av ulike bio-matematiske formler beregne teoretiske dose-respons kurver for samvirkeeffekt av bestemte kombinasjoner av test-substanser, eller eventuelt for hele blandingen. Disse teoretiske dose-respons forholdene vil man til sist validere ved hjelp av biologiske tester (her ofte med *in-vitro* tox-tester).

I bred forstand inkluderer «samvirkeeffekter» også miljøstress fra ikke-kjemiske stressfaktorer som fysiske og fysikokjemiske faktorer (for eksempel temperatur, pH, saltholdighet, ioniserende stråling, UV-lys), biotiske stressfaktorer (for eksempel parasitter, bakterier, virus, predasjon) og andre miljøbelastninger (for eksempel tap av habitat og næringsmangel pga. klimaendringer) (Figur 3.2). I denne rapporten er det begrenset med rom for å gå detaljert inn på problemstillingen om ikke-kjemiske faktorer i samvirkeeffekter, men noen av de vesentligste problemstillingene blir likevel omtalt her. En organisme/populasjon vil kunne få økt sannsynlighet for skade dersom den utsettes for et toksisk stress fra miljøgifter samtidig med et økt stress fra ikke-kjemiske faktorer. Et svært aktuelt eksempel for Norskehavet og Barentshavet, og som også omtales av miljødirektoratet (http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Vann_og_hav/Forsuring-av-havet/), er tiltagende havforsuring som anses å skje som en konsekvens av økt innhold av CO_2 i atmosfæren. I forbindelse med oppdateringen av forvaltningsplanen for Norskehavet har Bjerknessenteret for klimaforskning analysert

data fra Norskebassenget og Lofotenbassenget i Norskehavet helt tilbake til 1981 og analysen bekrefter at havområdene har blitt raskt surere i denne perioden. På grunn av syre-base likevekter i havvannet vil slik forsuring gjøre at konsentrasjonen av karbonationen (CO_3^{2-}) i havvannet går ned mens konsentrasjonen av bikarbonationen (HCO_3^-) øker. De øvre deler av havet er naturlig overmettet for kalsiumkarbonatmineralene kalsitt og aragonitt (begge har formelen CaCO_3), mens det på dypere vann (under metningsdypet for karbonat) er en undermetningen av karbonat. Dette medfører at organismer på dypere vann ikke danner kalkskall. En forsuring forskyver likevekten og vil kunne føre til at biotilgjengeligheten av karbonat reduseres i de øvre vannlag, noe som vil ha alvorlige konsekvenser for kalkskalldannende organismer. Dette gjelder svært mange marine arter og taxa, som koraller, plankton, og krepsdyr; og indirekte influeres arter som lever av disse, som fisk, fugl, pattedyr og til slutt mennesker.



Figur 3.2: Mange faktorer kan påvirke organismen som stressfaktorer i sammenheng med samvirkeeffekter. 1: Eksponering for flere typer miljøgifter (mulig additivitet / synergisme / antagonisme). 2: Fysikalsk variabler (for eksempel klimatiske forhold). 3: Habitat endringer. 4: Tilgjengelighet, type og ernæringsmessig verdi av mat. 5: Ernæringsinnflytelse på type og omfang av forurensningseksponering. 6: fysiske variabler som påvirker tilgjengeligheten av mat (for eksempel overflod av byttedyr). 7: Endringer i miljøvariabler som påvirker biotilgjengeligheten av forurensning (transport, diffusjon, adsorpsjon etc.). 8: Fysikalsk-kjemiske omgivelers påvirkning av organismens habitat. 9: Habitatets betydning for tilgjengelighet av mat.

3.3 Publikasjoner om effekter og samvirkeeffekter i nord i perioden 2010-2013

Det utføres mye forskning på problemstillinger relatert til Arktis og en stor andel av dette er miljøforskning. Et litteratursøk i Web of Science databasen med bruk av søkeordene «Arctic or Barents or "Norwegian Sea" or "Russian Sea" or Svalbard» og med en tematisk avgrensning til «environmental sciences» segmentet gir et resultat på mer enn 1300 artikler bare for perioden 2010 - medio 2013. Ytterligere eliminasjon-søk av disse artiklene viser at to problemområder peker seg ut; miljøgifter og klimaforandringer. Oppmerksomheten om miljøgifter er mest fokusert til såkalte POP-forbindelser, selv om også visse andre miljøgifter, som Hg og organiske Hgforbindelser, får mye oppmerksomhet.

På grunn av POPenes evne til å bioakkumulere i levende organismer og at de ofte anrikes oppover næringskjeden (biomagnifiseres), har forskning på forekomst og effekter av POPer i arktiske økosystem hatt et særlig fokus på topp-predatorene (det vil si dyrene høyt oppe i næringskjeden som for eksempel

polarmåke og andre sjøfuglarter, sel, hval, fjellrev, isbjørn og mennesker). Selv om arktiske organismer generelt er tilpasset å leve i ekstreme habitater er de sårbare for økt miljøstress. For visse deler av miljøproblematikken i Arktis fins det nå tydelige signaler om en gunstig utvikling med reduksjon av kontamineringsnivåene. For eksempel bromerte flammehemmere (for eksempel PBDEer og HBCDer) og polyklorerte innsektsmidler (for eksempel *p,p'*-DDE og klordaner), har i senere år vist en markant synkende konsentrasjonstrend i arktiske prøver (De Laender et al. 2011a; McKinney et al. 2011c). Denne svært gunstige utviklingen tilskrives de strenge internasjonale miljøreguleringene som de senere tiårene har blitt innført for en lang rekke prioriterte POP forbindelser. Men det er samtidig bekymring for at pågående klimaforandringer og andre utviklingstrekk igjen skal forsterke miljøstresset for arktiske arter og økosystemer (Carrie et al. 2010). Dessuten blir stadig flere nye kontaminanttyper, «emerging contaminants», påvist i Arktis; som for eksempel polyklorerte naphthalener (Bidleman et al. 2010), PFASer (Butt et al. 2010), sykliske volatile metylsiloksaner (Warner et al. 2010), endosulfan (Weber et al. 2010), og flere andre. Også mer velkjente miljøgiftklasser som PAHer har kommet i et nytt fokus i arktiske havområder på grunn av observerte tendenser til økende forekomst i Arktis (De Laender et al. 2011a). En vesentlig ny trend innenfor arktisk miljøforskning er undersøkelsene av hvordan klimaforandringer vil påvirke ulike miljøgifters skjebne i miljøet, for eksempel om vi vil se et økt eller redusert opptak (med påfølgende mulig konsekvens for biologiske effekter) i ulike dyregrupper, for eksempel (Borgå et al. 2010; Gouin et al. 2013; McKinney et al. 2012; Moe et al. 2013).

3.3.1 Studier på isbjørn

Isbjørn er topp-predator i den arktiske næringskjeden med en cirkumpolar arktisk utbredelse og avhengig av pakkisens utbredelse. En god kilde for informasjon om isbjørn er IUCN/SSC Polar Bear Specialist Group, og deres webside, her: <http://pbsg.npolar.no/en/status/>. På grunn av blant annet biomagnifisering er isbjørn potensielt sårbar for antropogen påvirkning og dette inkluderer også for samvirkeeffekter av miljøgifter. Miljøforskningslitteraturen for isbjørn for perioden 2010-2013 er hovedsakelig fokusert på studier av typer, konsentrasjoner, toksikokinetikk og mor-unge overføring av antropogene kontaminanter i ulike vev og prøver, som for eksempel PCBer, andre klororganiske forbindelser, bromerte flammehemmere og nedbrytningsprodukter av POPer, som for eksempel hydroksylerte PCB-metabolitter (OH-PCBer) (Bytingsvik et al. 2012a; McKinney et al. 2011a; McKinney et al. 2011b), PFASer (Bytingsvik et al. 2012b) og Hg/Me-Hg og andre toksiske elementer (Aubail et al. 2012; Louis et al. 2011; Routti et al. 2011; Routti et al. 2012). Imidlertid synes det nå å være en trend at stadig flere av isbjørn-relevante publikasjoner inneholder undersøkelser av biologiske miljøgifteffekter i tillegg til trend-data om miljøgiftnivåer. Flere review artikler som er kommet ut i løpet av perioden oppsummerer kunnskapen om biologiske effekter som følge av miljøgift eksponering i isbjørn (Dietz et al. 2013; Sonne 2010).

En mye fokusert miljøproblemstilling i isbjørn har dreid seg om mulige samvirkeeffekter av PCB og andre persistente miljøgifter på stoffskiftet hos isbjørn, og da for stoffskiftereguleringen som utgår fra skjoldbruskkjertelen. Skjoldbruskkjertelen (eller skjoldkjertelen, tyroidea) fins i halsregionen hos virveldyr og er en av de største endokrine kjertlene. Her dannes en rekke hormoner (for eksempel tyroksin [T4] og trijodtyronin [T3] som regulerer kroppens basale energibruk (karbohydrat-, protein, og fett-metabolisme), temperaturregulering, vekst og utvikling (som for eksempel regulering av celledeling, -migrering og -differensiering), og følsomhet i forhold til en rekke andre hormoner. Reguleringsprosessene som skjer i skjoldbruskkjertelen er igjen styrt av mer overordnede reguleringsprosesser fra hypothalamus i hjernen og hypofysen. For eksempel rapporteres det at eksponering for klororganisk POP-mixturer kan, selv ved lave konsentrasjoner, indusere tyroid-hormonelle forstyrrelser gjennom påvirkning på isbjørnens retinol og tokoferol status (Gutleb et al. 2010; Villanger et al. 2011a) eller via binding til transport proteiner for tyroid hormoner (Bytingsvik 2012).

Å utføre kontrollerte forsøk med isbjørn er ekstremt utfordrende og etisk diskutabelt. Derfor er det relevant å peke på de nylig publiserte kontrollerte effektstudiene der polarrev eller hunder er brukt som et surrogat for isbjørn ved at de ble eksponert gjennom maten for arktiske POP blandinger (Hallanger et al. 2012; Kirkegaard et al. 2010; Sonne et al. 2010). Tidligere forskning på isbjørn fra Svalbard har vist at spesielt hannbjørner akkumulerer høye nivåer av høyere-klorerte PCBer (Bernhoft et al. 1997). Disse PCB-nivåene korrelerer med biomarkører for reproduksjonsevne, samt med flere biokjemiske og fysiologiske markører relatert til helse, slik som tyroid hormoner, retinol (vitamin A), enzymatisk

avgiftningsaktivitet, og IgG nivåer (Skaare et al. 2000). Hvis kronisk eksponering for miljøgifter svekker isbjørnens reproduksjonsevne eller immunbaserte motstandskraft mot sykdom kan det få fatale konsekvenser, ettersom disse topp-predatorene er utsatt for smitte av alvorlige sykdommer. I en nylig publisert russisk studie undersøkte Naidenko et al. (2013) frekvensen av smitte for ulike virus og parasitt sykdommer i 26 isbjørner fra del-populasjonen i Barentshavet. Det ble funnet individer som var sero-positive til pseudorabies virus (9,5 %), valpesykevirus (12 %), influensa A-virus (8 %), *Dirofilaria sp.* (5,3 %), *Trichinella spp.* (60 %), og *Toxoplasma gondii* (7,4 %). Undersøkelsen støtter funn fra studien av Asbakk et al. (2010) som undersøkte *Trichinella spp.* smitte i blodprøver fra Svalbard populasjonen. Den totale arktiske bestanden av isbjørn er fortsatt relativt stor (20 - 25 000 individer), og primært på grunn av klimaendringene og miljøgiftbelastningen, er arten regnet som sårbar men ikke truet på kort sikt. Men på lengre sikt er det sterk bekymring for hvordan bestanden av isbjørn vil takle klimaforandringene, dårligere isforhold, samt kombinasjonen av endringene i klima og miljøgiftenes mulige svekking av artens tilpasningsevne for eksempel vi hormonforstyrrelser (Knott et al. 2012; Regehr et al. 2010; Stirling & Derocher 2012).

3.3.2 Studier av marine pattedyr

Analyser av prøvematerialer fra forskjellige selarter og hvalarter har i mange år vært viktige i sammenheng med forskning på forekomst og effekter av miljøgifter i Arktis. Flere av disse sjøpattedyrartene er dessuten viktige som mat for isbjørn og/eller mennesker i området. For perioden 2010-2013 har informasjon som har relevans for miljøgifter og samvirkeeffekter i arktiske arter blitt for følgende arter: **hvitthval** (Hoguët et al. 2013; Letcher et al. 2010; Villanger et al. 2011b) **kvitskjeving** (Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d); **grindhval** (Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d); **grønlandssel** (*Pagophilus groenlandicus*) (Agusa et al. 2011; Frouin et al. 2012; Frouin et al. 2011; Letcher et al. 2010; Svensson et al. 2011) **ringseel** (Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d; Routti et al. 2010); **klappmyss** (*Cystophora cristata*), (Gabrielsen et al. 2011; Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d; Vetter et al. 2010; Villanger et al. 2013); **vågehval** (*Balaenoptera acutorostrata*): (Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d); **finnhval** (*Balaenoptera physalus*): (Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d); **nise** (*Phocoena phocoena*): (Rotander et al. 2012a; Rotander et al. 2012b; Rotander et al. 2012c; Rotander et al. 2012d). Av alle sjøpattedyrene er det særlig tannhvalene som anses for å være i størst risiko for akkumulering av persistente miljøgifter og forekomst av toksiske samvirkeeffekter av disse kontaminantblandningene. Det er ikke bare organiske miljøgifter som har relevans her. I ny forskning i arktiske farvann i Canada er høye nivåer av Hg som har blitt påvist i hjernevev hos tannhvaler blitt koblet til mulige nevrokjemiske skadetilstander (Dietz et al. 2013). Tidligere forskning i Arktis har vist at spekkhogger (*Orcinus orca*) akkumulerer svært høye nivåer POP miljøgifter og at den kanskje er den mest POP-forurensede arten i det arktiske økosystemet (Wolkers et al. 2007). I den aktuelle perioden ble det ikke rapportert nye miljøgiftstudier om spekkhogger.

3.3.3 Studier på arktiske sjøfuglarter

Sjøfugl utgjør en svært viktig organismegruppe i sammenheng med forskning på nivåer og langtidseffekter av miljøgifter i Norskehavet og Barentshavet og de andre havregionene i Arktis. En økende andel av miljørelevante artikler om arktiske sjøfuglarter synes å adressere ulike former for vurdering av biologiske effekter i tillegg til målinger av miljøgiftnivåer. I perioden 2010-2013 har det blitt publisert miljøstress-relevante undersøkelser på en rekke arktiske sjøfuglarter, som for eksempel **polarmåke** (Bustnes et al. 2010b; Erikstad et al. 2011; Malinga et al. 2010; Sonne et al. 2013a; Ucan-Marín et al. 2010; Wayland et al. 2010), **gråmåke** (*Larus argentatus*) (Carlsson et al. 2011; Hegseth et al. 2011a; Hegseth et al. 2011b; Hegseth et al. 2011c; Routti et al. 2013; Sormo et al. 2011; Ucan-Marín et al. 2010), **sildemåke** (*Larus fuscus*) (Bustnes et al. 2010a; Bustnes et al. 2010b; Bustnes et al. 2013; Jorundsdottir et al. 2010), **havhest** (Braune et al. 2010; Choy et al. 2010; Foster et al. 2011a; Foster et al. 2011b; Hegseth et al. 2011a; Hegseth et al. 2011b; Helgason et al. 2010a; Malinga et al. 2010; Nøst et al. 2012; Verreault et al. 2013), **krykkje** (*Rissa tridactyla*) (Goutte et al. 2010a; Goutte et al. 2010b; Goutte et al. 2011; Hegseth et al. 2011a; Hegseth et al. 2011b; Helgason et al. 2010a; Helgason et al. 2010b; Nordstad et al. 2012; Nøst et al. 2012), **ismåke** (*Pagophila eburnea*) (Miljeteig et al. 2012), **lomvi**

(*Uria lomvia*) (Braune & Letcher 2013), **ærflugl** (*Somateria mollissima*) (Akearok et al. 2010; Bustnes et al. 2012b; Bustnes et al. 2010d), **storjo** (*Stercorarius skua*) (Bourgeon et al. 2012; Bustnes et al. 2010b; Leat et al. 2013; Sonne et al. 2013b) og også en rekke andre sjøfuglarter (Braune et al. 2012; Brown et al. 2013; Jenssen et al. 2010a; Jorundsdottir et al. 2010; Provencher et al. 2010; Skarphedinsdottir et al. 2010).

Som hos isbjørn er en markant andel av de samvirkeeffektrelevante effektundersøkelsene hos arktiske sjøfugl fokusert på tyroid hormonsystemet, da primært ved å studere nivåene av tyroksin. Tyroksin er jodholdige hormoner som produseres i skjoldbruskkjertelen og som har svært viktig funksjoner i regulering av stoffskiftet. Thyroid (TSH) er et hormon som produseres i hypofysen og som stimulerer produksjonen av tyroksin. Forstyrrelser av tyroid hormonsystemet kan medføre mange ulike typer skader. Nøst et al. (2012) undersøkte organiske miljøgifters påvirkning av tyroidhormonbalansen i kyllinger av krykkje og havhest og fant en positiv korrelasjon mellom nivået av total tyroksin (T4) og PFASer i begge arter. Thyroid hormoner er ekstremt viktige for normal vekst hos alle dyregrupper, og er særlig viktig i unge individer. Utvikling og forstyrrelse av skjoldbruskkjertelens funksjon kan derfor være kritisk for utviklingen. Flere studier har undersøkt biologiske effekter av miljøgifter i polarmåke; for eksempel Sonne et al. (2013a) som studerte morfologi av lever, nyre og skjoldbruskkjertel i polarmåke fra Svalbard eksponert for klororganiske forbindelser. Polarmåke er mye studert i forhold til bioakkumulering og biologiske effekter av miljøgifter. Polarmåke fins over hele Arktis og hekker bl.a. på Svalbard, Jan Mayen, Island og Grønland, dessuten lengst nord i Russland og Nord-Amerika. Havhesten har tidligere blitt vist å akkumulere et bredt spekter, og tidvis høye konsentrasjoner av klororganiske forbindelser (for eksempel PCB, klorbenzener, DDT, klordan-forbindelser, dioksiner og furaner). Verreault et al. (2013) publiserte nylig en feltundersøkelse av havhest fra tre forskjellige havregioner; Nunavut (Canadisk Arktis), Svalbard og Færøyene. De undersøkte ulike forhold knyttet til cytokrom P450 (CYP) 1A (målt som 7-etoksyresorufin-O-deetylase [EROD] aktivitet) og utvalgte fysiologiske markører (retinoider og tyroidhormoner). De fant et betydelig høyere forurensningsnivå av klororganiske forbindelser (dioksiner, furaner og non-ortho PCBer) i havhest-lever fra Færøyene i forhold til Svalbard og Nunavut. Nivået som ble rapportert i prøvene fra Færøyene er blant de høyeste noensinne målt i sjøfugl fra nordområdene. I alle populasjonene fant de en positiv korrelasjon mellom dioksin-relaterte forbindelser og EROD aktivitet og TT4 i plasma, og negativ korrelasjon mot total T3 (TT3) nivå i plasma. I sitt doktorgradsarbeid «Cellular responses induced by environmental stress factors in arctic seabird chicks» ved Universitetet i Tromsø undersøkte Marit Nøst Hegseth (2011) hvordan to vanlig forekommende stressfaktorer i arktiske miljø (perioder med lite mat og eksponering for halogenerte organiske miljøgifter) påvirket antioksidantforsvar og det lysosomale "avfallshåndteringssystemet" i leverceller hos krykkje, havhest og gråmåke på Svalbard og i Tromsø området. Disse cellulære forsvarsmekanismer har en avgjørende betydning for sjøfuglenes helsemessig motstandskraft og overlevelse. Funnene i doktorgradsarbeidet viste at det forelå store artsvariasjoner, og at disse forsvarssystemene påvirkes av faktorer som diett, arts-spesifikk fysiologi og fasting, samt høygradig miljøgiftseksponering (til dels dose-avhengig).

3.3.4 Studier på fisk

Fisk er en svært viktig dyregruppe i miljøsammenheng. Mange arter av fisk inntar et midlere nivå i økosystem og næringsnett og sørger således for å knytte sammen lavere og høyere hierarkiske nivåer i det økologiske organismesamfunnet. Fiskeriressursene på norsk sokkel har en nærmest uvurderlig stor verdi og det å sikre en god forvaltning av de store fiskeressursene i Norskehavet og Barentshavet har stor betydning både for Norge, Russland og andre nasjoner. Rundt 1000 av de vitenskapelige artikler som er publisert i perioden 2010-13 har et faglig innhold relatert til fisk i nordområdene, de fleste med en fiskeribiologisk vinkling. Ca. 100 av disse er miljørelaterte artikler og de omhandler en rekke fiskearter; som **torsk** (*Gadus morhua*) (Beyer et al. 2013b; Bratberg et al. 2013; Bustnes et al. 2012a; Bustnes et al. 2010c; Bustnes et al. 2011; De Laender et al. 2011b; De Laender et al. 2010; Holth et al. 2011; Julshamn et al. 2013; Nahrgang et al. 2013; Nordtug et al. 2011; Perez-Casanova et al. 2010; Stige et al. 2011; Warner et al. 2010); **sei** (*Pollachius virens*) (Bustnes et al. 2012a; Bustnes et al. 2010c; Bustnes et al. 2011); **polartorsk** (*Boreogadus saida*) (Christiansen et al. 2010; Jonsson et al. 2010; Nahrgang et al. 2010a; Nahrgang et al. 2010b; Nahrgang et al. 2009; Nahrgang et al. 2010c; Nahrgang et al. 2010d), **vanlig ulke** (*Myxocephalus scorpius*) (Brown et al. 2013; Warner et al. 2010); **lodde** (*Mallotus villosus*) (Frantzen et al. 2012); **sild** (*Clupea harengus*) (Frantzen et al. 2011; Ingvarsdottir et al. 2012); haifisk

som **håkjerring** (*Somniosus microcephalus*) (Molde et al. 2013; Strid et al. 2010). Også for **arktisk hyse** (*Melanogrammus aeglefinus*), som er en svært interessant fiskeart i miljøsammenheng, ble det i perioden publisert en rekke fiskeribiologiske artikler, men ingen som hadde miljøgift vinkling relevant for denne litteraturgjennomgangen. Samvirkeeffekt-studier av «arktiske» miljøgiftblandinger kan også bli undersøkt med bruk av fiskearter som ikke fins i våre farvann, som for eksempel **sebrafisk** (*Danio rerio*).

En god del av fiske-artiklene som er listet opp over inneholder data som er relevant for effekter og samvirkeeffekter av miljøgifter; her i denne sammenhengen blir det bare plass til et par illustrerende eksempler. For eksempel rapporterte Molde et al. (2013) fra en studie med håkjerring fanget ved Svalbard hvor de undersøkte den korrelative forbindelsen mellom nivåene av vitamin A (retinol) og vitamin E (tokoferol) og konsentrasjoner av POPer i blodplasma. De fant svært høye nivåer av POPer i disse topp-predator fiskene og påviste både inverse (retinol) og positive (alpha-tokoferol) korrelasjoner mellom POP eksponeringsnivået og vitaminmarkørene. Undersøkelsen antyder at disse vitaminsystemene i håkjerring kan bli påvirket av den relativt høye konsentrasjonen av POPer. I undersøkelsen til Hicken et al. (2011) ble sebrafisk brukt som modellart til å vise at eksponering for høye konsentrasjoner av råolje produserer dødelig hjertesviktsyndrom i embryoer, mest sannsynlig forårsaket av kardiotoksiske PAH forbindelser. Undersøkelsen viser også at forbigående embryonal eksponering for meget lave konsentrasjoner av olje forårsaker toksisitet som er subletal, forsinket, og som ikke motvirkes av cytokrom P450 mediert avgiftning. Nesten ett år etter den lav-konsentrerte embryonale olje eksponeringen viste de da voksne sebrafiskene endringer i hjerteform og en betydelig reduksjon i svømmeytelse, noe som indikerer redusert blodsirkulasjon. Slike forsinkede virkninger på hjerte-ytelsen hos senere livsstadier anses av Hicken et al. (2011) å utgjøre en mulig mekanisme for å knytte en redusert fitness-effekt på individ-nivå til høyere-ordens populasjons- og økosystem-responser, og dette kan tenkes å skje i feltsituasjoner der et gyteområde eksponeres for kroniske lave eksponeringsnivåer av olje.

3.3.5 Studier med marine evertebrater

Marine virvelløse dyr (evertebrater) har en stor økologisk betydning for de marine økosystemene i nord. Enkelte evertebrat-arter er i seg selv viktige kommersielle ressurser enten for fangst eller for akvakultur (for eksempel reke, krabber, blåskjell). En interessant artikkel som nylig ble publisert av Jung et al. (2012) fokuserer på hvordan **marint planteplankton og dyreplankton** responderer på oljekontaminering og undersøkelsen demonstrerer hvordan en tendens til akutte forandringer i planktonsamfunnet blir vesentlig sterkere ved introduksjon av dispergeringsmidler sammen med oljen. Ulike arter av **hoppekreps** (copepoder) utgjør en nøkkelklasse i det marine økosystemet i nord og en rekke fagmiljø har studert eksponering og effekter av olje, PAH-er og andre kontaminanter i denne evertebratgruppen; for eksempel (Broch et al. 2013; Faksness et al. 2012; Hansen et al. 2012; Hansen et al. 2013; Hansen et al. 2011; Jensen et al. 2012). Hoppekreps og andre planktoniske arter er små av størrelse. Studier av biologiske effekter av miljøbelastning blir derfor begrenset til effektmessige endepunkter som lar seg måle i slike studieorganismer. Men det er likevel ikke slik at slike undersøkelser nødvendigvis må inneholde biologiske effektdata for å være effekt/samvirkeeffekt relevante. For eksempel så har studier som belyser grader og mekanismer for opptak av POPer i laverestående marine evertebrater (Hallanger et al. 2011a; Hallanger et al. 2011b; Hallanger et al. 2011c) en åpenbar betydning for forståelsen av forekomst og biomagnifisering (og derfor effekten) av de samme miljøgiftene i arter på høyere trofiske nivå i det samme næringsnett. Imidlertid åpner det seg flere muligheter for mer sofistikerte studier av miljøbelastning (toksikokinetikk) og biologiske effekter (toksikodynamikk) når en benytter større evertebrat-arter i studien. I perioden 2010-2013 har forekomst og effekter av miljøgifter blitt undersøkt i **dypvannsreke** (*Pandalus borealis*) (Bechmann et al. 2010; Bechmann et al. 2011; Olsen et al. 2012); **blåskjell** (Baussant et al. 2011; Bechmann et al. 2011; Beyer et al. 2013b; Brooks et al. 2012; Brooks et al. 2011a; Brooks et al. 2011b; Nahrgang et al. 2013; Skarphedinsdottir et al. 2010; Sundt et al. 2011), **haneskjell** (*Chlamys islandica*) (Hannam et al. 2010; Nahrgang et al. 2013; Vieweg et al. 2012); **butt sandskjell** (*Mya truncata*) (Vieweg et al. 2012; Yuan et al. 2011), **hjertermuslinger** (for eksempel, *Serripes groenlandicus*), **steinboreskjell** (*Hiatella arctica*) (Vieweg et al. 2012); (Arctic bivalve, *Clinocardium ciliatum*) (Carroll et al. 2011). Når en ser alle disse forskningsstudiene under ett, så peker blåskjell seg ut som den kanskje hyppigst benyttede studieorganismen. Det har utviklet seg til en vanlig prosedyre å benytte blåskjell for ulike typer forurensningsvurderinger og miljøovervåkingsformål. Blåskjell akkumulerer miljøgifter fra sjøvannet gjennom filtrering av store vannvolumer og

tilstedeværelse av toksiske stoffer som tungmetaller og organiske miljøgifter vil forårsake effekter som kan måles ved hjelp av forskjellige biomarkør metoder (Brooks et al. 2012; Brooks et al. 2011a; Brooks et al. 2011b; Sundt et al. 2011). Også fravær av biomarkør responser i blåskjell kan være et verdifullt signal i sammenheng med en miljøundersøkelse (Beyer et al. 2013b).

3.3.6 Studier fokusert på human helse

De persistente miljøgifters eventuelle effekter og samvirkeeffekter på mennesker i Arktis har lenge vært en kilde til bekymring, og temaet blir derfor kort kommentert her. Det er særlig hos inuittene (i Grønland, Canada og Alaska) at mulige samvirkende helseeffekter av eksponering for POPer og andre kontaminanter som Hg/Me-Hg er sterkt i fokus på grunn av den tradisjonelle dietten deres som i stor grad består av fisk og marine pattedyr. Det forskes og publiseres svært mye på dette tema med mer enn tohundre fagfellevurderte artikler publisert bare siden 2010; og som et relevant utvalg av disse kan nevnes (Dallaire et al. 2013; Dietz et al. 2013; Donaldson et al. 2010; Hermanson et al. 2010; O'Brien et al. 2012; Valera et al. 2013). Sammenlignet med det store antallet publikasjoner av inuitt-relaterte studier så synes oppmerksomheten til andre urfolk og etniske grupper som lever i Barentsregionen, som for eksempel samer i Norge/Finland og nenetsere, vepsere og komier i Russland, å være langt mindre. Et unntak er en studie blant reindriftssamene i Nord-Finland som undersøkte mulige forbindelser mellom stråledoser fra radioaktivt nedfall og kreftforekomst (Kurtio et al. 2010). Dessuten har vi studiene til Grandjean et al. (2004; 2001; 1998) fulgte en kohort barn fra Færøyene og studerte sammenhengen mellom miljøgifter (Me-Hg, PCB, og PFAS forbindelser) og immunsuppresjon målt ved tendensen til å danne vaksine-antistoffer i serum mot difteri og stivkrampe (tetanus). De fant en signifikant negativ sammenheng med antistoff konsentrasjon til difteri, mens en sammenheng mot stivkrampe ikke var statistisk signifikant (Dietz et al. 2013; Grandjean et al. 2012; Grandjean & Budtz-Jorgensen 2013; Heilmann et al. 2010). Av andre humane studier i vårt nordlige nærrområde kan det nevnes undersøkelsene av miljøgifter i brystmelk (Eggesbø et al. 2009; Polder et al. 2009) og undersøkelser av nivåer og mønstre av POP miljøgifter i utvalgte matvarer i Nordvest-Russland (Polder et al. 2010).

3.3.7 Bruk av *in vitro* baserte test metoder

Et særtrekk i sammenheng med testing/vurdering av samvirkeeffekter av miljøgifter er at det kan bli nødvendig å teste (ekstremt) mange kombinasjoner av stressorer. Dersom testmetodikken baserer seg på bruk av forsøksdyr (*in vivo* tester) så betyr dette at antallet forsøksorganismer som brukes i testingen kan bli stort, noe som generelt sett utgjør et etisk problem ettersom man ønsker å begrense antall forsøksdyr til et minimum i tråd med 3R-prinsippet (reduce, refine, replace) innenfor dyrevelferd. Utvikling og økt bruk av alternative *in vitro* bioassays er derfor viktig både for å begrense antallet forsøksdyr og for å muliggjøre testing av et stort antall kombinasjoner av stressorer i samvirkeeffektundersøkelser. Et stort antall artikler som går inn på *in vitro* basert metodikk og som er relevant for effekt eller samvirkeeffekt problemstillinger i Arktis har blitt publisert i perioden 2010-2013, og mange av disse er allerede blitt omtalt i tidligere seksjoner i denne teksten. Av andre relevante artikler har vi Farmen et al. (2010) som benyttet leverceller (primære hepatocytter) fra regnbueørret for å vise at vannløselige komponenter fra produsert vann fra offshore oljeproduksjon ved høye eksponeringskonsentrasjoner forårsaker økt cellulært oksidativt stress nivå. Frantzen et al. (2012) undersøkte hvor følsomme lodde embryoer er for oljekomponenter ved å samle inn nylig befruktede loddeegg fra en gytestrand og eksponere dem for en vannløselig fraksjon av råolje eller for pyren i inntil 32 dager. Terskelnivåer for når eksponeringen forårsaket økt egg dødelighet og effekter på embryoutvikling og klekkesuksess ble bestemt. Et annet eksempel er Holth og Tollefsen (2012) som studerte hvordan ekstrakter av offshore produksjonsvann fra plattformer i Nordsjøen virker hemmende på acetylcholinesterase (AChE) aktivitet ved å bruke et *in vitro* bioassay som var basert på kommersielt tilgjengelig rensert AChE enzym fra elektro-organet til elektrisk ål (*Electrophorus electricus*). Resultatene rapportert fra den studien viste at produksjonsvannprøvene inneholdt en kombinasjon av AChE hemmende stoffer og forbindelser som virket stimulerende på AChE aktiviteten.

3.3.8 Risikovurdering og miljøregulering av samvirkeeffekter

Risikovurderinger for hvordan forurensning kan påvirke polare marine arter eller økosystemer er stort sett basert på toksikologiske data innhentet for tempererte arter, selv om det ofte stilles spørsmål om slike toksikologiske data for tempererte organismer er tilstrekkelig representative for polare arter og økosystemer. Studien til de Hoop et al. (2011) sammenlignet følsomheten hos polare og tempererte marine arter til råolje, 2-methylnaphthalene, og naftalen ved hjelp av artsfølsomhetskurver (SSDs) som

ble konstruert basert på (akutt) toksisitetsdata fra litteraturen. De fant generelt sett at sensitiviteten mot olje ikke var vesentlig forskjellig mellom de polare og tempererte marine artene og dette betyr i så fall at akutte toksisitetsdata fra tempererte organismer vil kunne tjene til å gi en temmelig god første indikasjon av risikoene for miljøeffekter i polare strøk. Skulle denne betraktningen ha en mer allmenn gyldighet, også for andre typer miljøbelastning enn olje, så betyr det at arbeidet med å skaffe oss innsikt i problemstillinger rundt miljøeffekter i Arktis vil bli enklere ettersom vi da kan benytte tempererte test-arter som surrogat for arktiske arter.

Innenfor EU-systemet har flere prosesser/prosjekter hatt som målsetning å utvikle bedre verktøy for miljørisikovurdering (environmental risk assessment, ERA) der også muligheten for samvirkeeffekter av miljøgifter kunne bli beskrevet/beregnet/vurdert. En svært relevant prosess i så måte var det såkalte NoMiracle (NOvel Methods for Integrated Risk Assessment of Cumulative stressors in Europe) prosjektet som i 2004 ble startet innenfor det sjette rammeprogram. Prosjekt hadde som mål å forbedre metodene for både humane og miljømessige risikovurderinger av forurensning ved å adressere svakhetene i dagens ERA tilnærminger. Resultatene av prosjektet omfattet utvikling av nye ERA verktøy for samvirkeeffekter og disse har blitt gjort tilgjengelig over internett (<http://nomiracle.jrc.ec.europa.eu>). Resultatene har også blitt rapportert i flere artikler, som for eksempel av Pistocchi et al. (2011) som presenterte en ny risikokartleggingsmetode for plantevernmidler som gjør bruk av en kumulativ CA tilnærming. Fra samme EU prosjekt publiserte Løkke (2010) informasjon om nyutviklede verktøy for å analysere, karakterisere og kvantifisere risikoen for samvirkeeffekter, og der en kan benytte en tilnærming som kun består av kjemiske stressorer (i blanding) eller også i kombinasjon med ikke-kjemiske faktorer som patogent stress og/eller klimarelatert stress.

3.4 Sammenhengende diskusjon

3.4.1 Kunnskapsstatus

Innenfor miljøvitenskapen er temaet «samvirkeeffekter av miljøgifter» fortsatt i utvikling. Det ble derfor vurdert som nødvendig å gi en kort og konseptuell faglig beskrivelse av dette fagfeltet, for deretter å kunne drøfte/diskutere de publiserte forskningsrapportene i forhold til denne fagbeskrivelsen. Kun en liten andel av de arktiske miljøforskningsstudiene som er publisert i perioden 2010-2013 er geografisk fokusert/avgrenset til Norskehavet og Barentshavet. I denne oversiktsrapporten om effekter og samvirkeeffekter av miljøgifter i våre nordlige havområder har det derfor vært nødvendig å se på forskningen fra de arktiske regioner generelt. Dessuten har det vært nødvendig å avgrense omfanget av arbeidet, og dette har hovedsakelig skjedd ved at gjennomgangen av de ulike forskningsstudiene har blitt holdt på et relativt sett overordnet og mindre detaljfokusert nivå. Som vist i teksten foran inngår det mange ulike biologiske arter i de arktiske miljøforskningsstudier som er publisert etter 2010, og mange ulike kjemiske stressorer har blitt adressert; av disse er det både gamle (legacy) og mer eller mindre nye (emerging) miljøgifter. Websiden til AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) (<http://www.amap.no/>) er et bra sted å starte når en skal skaffe seg en grovoversikt over forskningen på miljøgifter i Arktis. Flere review arbeider av miljøforskningen i Arktis er utført med utgangspunkt i det internasjonale samarbeid som AMAP utgjør. En av de mer vesentlige av disse review-artiklene, (Letcher et al. 2010), er basert på en gjennomgang av publiserte POP-data for perioden 2003-2010 for ulike arktiske arter høyt i næringskjeden. En målsetning ved arbeidet deres var å vurdere de ulike forurensningsnivåene som var blitt påvist i ulike dyregrupper i Arktis opp mot terskelverdier for toksiske effekter av organohalogen og opp mot funn av mulige biologiske indikasjoner på toksisk skade i de aktuelle organismer og bestander. Den overordnede målsetning var å belyse risiko for miljøskade fra organohalogen eksponeringen i ulike «hot-spot» arter/populasjoner. Hovedkonklusjonen deres var at bortsett fra isbjørnpopulasjonene i Øst-Grønland og på Svalbard og for Bjørnøya populasjonen av polarmåke, er det fortsatt sparsomt med sikre forskningsdata som viser at blandinger av POPer gir skadevirkninger for arktiske topp-predatorer. Letcher understreker i diskusjonen at kombinasjonen av menneskeskapte og naturgitte stressfaktorer gjør det svært vanskelig å empirisk bevise klare og entydige årsak-virkning sammenhenger mellom POP-nivåer og biologiske effekter i arktiske feltstudier (Letcher et al. 2010). Det er uklart om summen av alle miljørelaterte artikler om Arktis som har blitt publisert de siste 3-4 årene har bidratt til å tydeliggjøre slike årsak-virkning sammenhenger.

Arktiske pattedyr er utfra sin økologiske plassering potensielt utsatt for samvirkeeffekter av persistente bioakkumulerende miljøgifter. Forskning har indikert at enkelte arter og bestemte populasjoner (for eksempel isbjørn på Svalbard og Grønland og polarmåke fra Bjørnøya) er spesielt utsatte. Innsamling av relevante prøver fra ville populasjoner av pattedyr er ofte ekstremt vanskelig (og ofte praktisk umulig), noe som gjør at det kan mangle prøvemateriale og data fra bestemte arter som kan antas å være spesielt relevante i sammenheng med samvirkeeffekter, som for eksempel spekkhoggere og andre tannhvalarter. Data fra ville spekkhoggere har vist at en kompleks blanding av POPer er til stede i konsentrasjoner som kan forventes å utløse skadelige samvirkeeffekter (Wolkers et al. 2007).

Hos alle pattedyr vil det skje en overføring av POP miljøgifter fra mordyr til avkom via navlestrengblod, så vel som via morsmelk. Denne eksponeringen skjer når avkommet er i de første fasene i livet, hvor en lang rekke vitale utviklingsprosesser kan bli påvirket. For noen arktiske pattedyrarter er die-perioden ekstremt kort, slik som for eksempel for klappmyss som dier ungen sin kun i 4-5 dager før den forlates. En undersøkelse av problemstillingene med maternal overføring av miljøgifter er nylig diskutert i en artikkel av Villanger et al. (2013).

Isbjørn er en helt sentral art for den arktiske miljøforskningen generelt og i norske forskningsgrupper har forurensningsnivå og helsetilstand hos isbjørn blitt forsket på siden første halvdel av 1990-tallet. Tendensen i de senere årene er at problemstillinger om samvirkeeffekter kommer mer og mer i fokus for forskningen. I perioden 2010-2013 har mer enn 50 isbjørn-relevante artikler blitt publisert og flere kandidater har ferdigstilt sine doktorarbeider i sammenheng med denne forskningsaktiviteten. Gro Dehli Villanger forsvarte i 2011 sin doktoravhandling ved NTNU om effekter av miljøgifter på stoffskiftehormoner (tyroidhormoner) i isbjørn fra Øst-Grønland (samt i hvithval og sel) med tittelen «Effects of complex organohalogen contaminant mixtures on thyroid hormone homeostasis in selected arctic marine mammals» (Villanger 2011). Data fra dette doktorgradsarbeidet er blitt rapportert i en rekke artikler (Bechshoft et al. 2012; Gabrielsen et al. 2011; Jenssen et al. 2010b; Villanger et al. 2011a; Villanger et al. 2011b). Villanger fant tegn til at tyroidhormonbalansen i alle tre pattedyrartene var påvirket av eksponeringsnivået for et utvalg av POP forbindelser (særlig PBDEer, klordaner, PCBer, og DDTer). Nivåer av POPer og tilhørende metabolitter, mor-unge overføring av POPer, og tyroidhormoneffekter i isbjørnmødre og deres årssunger dannet også grunnlaget for Jenny Bytingsvik (NTNU) sin doktoravhandling «Organohalogenated contaminants (OHCs) in polar bear mother-cub pairs from Svalbard, Norway: Maternal transfer, exposure assessment and thyroid hormone disruptive effects in polar bear cubs» (Bytingsvik 2012). Bytingsvik har publiserte følgende artikler i perioden 2010-13: (Bytingsvik et al. 2012a; Bytingsvik et al. 2013; Bytingsvik et al. 2012b; Simon et al. 2011). Hennes fokus i forskningen har vært å måle tyroidhormonforstyrrende miljøgifter som PCBer, OH-PCBer, bromerte flammehemmere, OH-PBDEer, og PFASer i prøver fra både mor og avkom av isbjørn fra flere perioder (1998 og 2008). Et særlig fokus ble tillagt miljøgifter som kan bindes til transportproteiner (transtyretin - TTR) ment for tyroidhormoner i blodet, og som dermed kan konkurrere ut og redusere nivåene av naturlige hormoner i blodet. Hensikten med arbeidet var å beskrive graden av miljøgiftoverføring fra mordyr til avkom, å vurdere graden av eksponering i den tidligste livsfasen når ungene er mest sårbare for stoffskifte- og utviklings-forstyrrelser, og å studere mulige effekter på isbjørnungegenes tyroidhormonstatus. Både Villanger og Bytingsvik understreker viktigheten av å ha en best mulig kunnskap om naturlige faktorerers betydning når komplekse stoffskifterelaterte prosesser undersøkes.

Undersøkelser av ulike sjøfuglarter har en sentral betydning for forskningen på effekter av miljøgifter og miljøforandringer i Norskehavet og Barentshavet og andre områder av Arktis (Borgå et al. 2001; Hop et al. 2002; Letcher et al. 2010). I perioden 2010-2013 har det blitt publisert en rekke artikler på sjøfugl, miljøgifter og effekter av miljøgifter i Norge, for eksempel (Bourgeon et al. 2012; Bustnes et al. 2012b; Bustnes et al. 2010d; Erikstad et al. 2011; Nordstad et al. 2012). For kolonihekkende sjøfuglartene er det mulig relativt effektivt å samle informasjon om en rekke biofitnessrelevante forhold; som for eksempel reproduksjonstidspunkt, egg-størrelse, kull-størrelse, hekkesuksess, kjønnsrate hos unger, rekrutteringsrate, overlevelsesrate av voksne, næringsprøver, reproduktiv atferd og trekk-atferd. Slik kan en skaffe seg et godt bilde over viktige biologiske sunnhetsindikatorer for enkeltindivider så vel som for selve populasjonen. Et vesentlig og interessant moment er dessuten at mye av denne informasjonen kan samles inn non-destruktivt. Store svingninger i populasjonsstørrelsen er slett ikke uvanlig for mange sjøfuglarter og vil ofte kunne henge nært sammen med underliggende periodemessige svingninger i næringstilgangen og andre faktorer (Bustnes et al. 2010a; Bustnes et al. 2010b). Også forurensningstress

av POP-forbindelser kan gi biologiske effekter som potensielt kan medføre populasjonsnedgang hos arktiske fuglearter, et eksempel her er redusert eggeskallstykkelse forårsaket av POP eksponering i ismåke (Miljeteig et al. 2012). Helgason et al. (2010b) undersøkte om cytokrom P450 1A-aktivitet (målt som EROD) i lever, tyroid-hormon-markører i plasma og retinol i lever ble forklart av nivåer av halogenerte organiske miljøgifter i lever og blod hos havhest fra Bjørnøya. De fant en positiv korrelasjon mellom EROD aktiviteten og levernivået av 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioksin toksiske ekvivalenter (TEQs). Erikstad et al. (2011) fant at høye nivåer av klororganiske forbindelser kan påvirke kjønnsfordeling og kroppsstørrelse hos ny-klekkede unger av polarmåke.

4. Kunnskapsbehov

Vi presenterer her en kort og punktvis oversikt over det vi mener er kunnskapshull om miljøgifter i Norskehavet og Barentshavet. Videre følger en utdypende gjennomgang av kunnskapsbehov omkring samvirkende effekter.

4.1 Kunnskapsbehov miljøgifter i Norskehavet og Barentshavet

- Screening av nye miljøgifter, blant annet stoffer som inneholder brom, fluor og silisium (Howard & Muir 2010).
- Oppfølging av gode tidsserier, spesielt med stoffer som allerede er regulert slik at effekten av reguleringen kan dokumenteres.
- Fokus på hvordan klimaendringer påvirker tilførsler og nivåer av forurensning i området på en regional skala*.
- Transport av fremmedstoffer gjennom næringskjeden*.
- Lokale forhold som påvirker naturlige bakgrunnsnivå* bl.a. for PCB, PFAS og PBDE i sediment (Green et al. 2012).
- Fiskens følsomhet overfor forskjellige kjemiske former og i kombinasjon med andre stoffer*.
- Mangler data i tid og rom på flere stoffer i arter som allerede overvåkes*.
- Mangler tilstrekkelig data for å vurdere luft-sjøvann utveksling*.
- Mangler data for å vurdere PCN i næringskjede (Bidleman et al. 2010).
- Mangler mer viten om nivå og biomagnifisering av PFAS i Russiske havområder (Butt et al. 2010).
- Mer viten om effekter av PAHer fra olje på lave trofiske nivåer (De Laender et al. 2011b).
- Modell-utvikling for å bedre vurdere tilførsler (alle kilder) og spredning inkludert nedbrytning, og biologiske opptak og transport i havet (Green et al. 2013) og samlede effekt (De Laender et al. 2011b).
- Mer kunnskap om sekundær mobilisering (Ubl et al. 2012).
- Bedre data om utslipp fra skipsfart og fra havbunn (Green et al. 2013).
- Effekter på sensitive livsstadier hos vertebrater (og evertebrater?) som for eksempel tidlige utviklingsstadier
- Effekter av nye miljøgifter som PFASer.

*) Rapport fra Faglig forum, Overvåkingsgruppen og Risikogruppen til den interdepartementale styringsgruppen for forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten. 2010 (Quillfeldt et al. 2013).

4.2 Kunnskapsbehov samvirkende effekter

Det har i en årrekke vært pekt på behovet for mer forskning og forbedret kunnskap om mulige effekter av miljøgifter i Arktis. Det er et særlig behov for mer kunnskap hva den samlede eksponeringen for miljøgifter betyr for mennesker og dyrs helsetilstand på lang sikt. Vi mangler dessuten kunnskap om hvordan klimatiske forandringer og andre ikke-kjemiske miljøfaktorer i nordområdene kan bidra sammen med kjemiske stressorer, og eventuelt forsterke skadevirkningen av disse. Det er et klart behov for å beskrive de forskjellige scenariene for potensielle biologiske effekter og samvirke-relevante effekter på en mest mulig tydelig og oversiktlig måte. Hvilke klasser av miljøgifter har vi grunn til å tro kan bidra til miljøtoksiske samvirkeeffekter i Arktis, og hvilke årsak-virkning mekanismer (mode of action, MoA) er de mest vesentlige i denne sammenheng? For å få en oversikt over miljøsituasjonen for stoffer som det er lite eller ingen kunnskap om, er det et stort behov for kartlegging av flere stoffer i miljøet. Med kartlegging (screening) menes det her en systematisk innsamling av prøvemateriale for å fremskaffe en første oversikt over forekomst og konsentrasjon av «nye» stoffer som ikke inngår i de vanlige overvåkingsprogrammene. Bedre kunnskap om miljøgifter og samvirkeeffekter i Arktis vil være av strategisk betydning i det internasjonale arbeidet for å redusere utslipp av miljøgifter. Hvilke livsstadier/organismetyper/arter/populasjoner i Arktis er særlig utsatt for samvirkeeffekter av miljøgifter og hvilke av disse igjen er det særlig viktig at vi greier å beskytte? Hvordan vil forskjellige typer ikke-kjemiske miljøfaktorer kunne innvirke på tendensen til samvirkeeffekter av miljøgifter i nord? Vi trenger å videreutvikle miljøovervåkingen slik at de indikatorer, referanseverdier og tiltaksgrenser som inngår i overvåkingen også bidrar med meningsfull informasjon om biologiske effekter og samvirkeeffekter. Det er behov for omfattende testing av kjemiske stoffer for å finne ut om de har miljøfartige og samvirkeeffekt egenskaper. Dagens regelverk har i liten grad pålagt næringslivet å teste sine kjemikalier for samvirkeeffekter. Hvordan bør den nasjonale og internasjonale kjemikalierereguleringen videreutvikles for å sikre mennesker og miljø mot skadelige samvirkeeffekter av menneskeskapte miljøgifter? Vi har gjennom de senere års forskning og toksikologisk testing av kjemikalier til en viss grad fått en bedre innsikt i disse sentrale spørsmålene, men samtidig foreligger det bred enighet i fagmiljøet om at miljøgifters samvirkeeffekter er et svært komplekst fagområde og at mange kunnskapshull og faglig usikkerhet gjenstår. Det fins dessuten fortsatt store kunnskapshull når det gjelder transport og akkumulering av miljøgifter i arktiske økosystemer og denne typen informasjon er en viktig basiskunnskap også for vurderinger av mulige biologiske effekter og samvirkeeffekter. Sett fra en økologisk synsvinkel kan en anse som sannsynlig at typisk K-selekterte arter (det vil si at dyr som lever lenge, har høy reproduktiv alder og som produserer kun et fåtall avkom) også er de mest sårbare for samvirkeeffekter av blandinger av persistente miljøgifter, og dette gjelder også i en arktisk kontekst. I sammenheng med at vi beskriver kunnskapsbehovet knyttet til samvirkeeffekter trengs det at vi beskriver de mest aktuelle scenarier for eksponering, akkumulering og vevsfordeling av samvirke-relevante stressorer i definerte indikatororganismer. Dessuten er det nødvendig å definere de viktigste Adverse Outcome Pathways (AOPs) for samvirkeeffekter som kan synes relevante på basis av de forut beskrevne eksponeringsscenarier for kombinasjoner av stressorer. Det er også nødvendig at de mest relevante toksikologiske årsak-virkning mekanismer (mode of action, MoA) innenfor de aktuelle AOPs blir definert. I en slik sammenheng er det dessuten naturlig å vektlegge AOPs som er enten direkte eller indirekte relevante for organismer og populations biologisk/økologiske fitness (det vil si at evne til utvikling, vekst, overlevelse og reproduksjon). Dessuten bør en prioritere å forske på mulige synergistiske innvirkninger fra klimatiske endringer og andre ikke-kjemiske faktorer i forhold til samvirkeeffekter i Arktis.

5. Referanser

- Aas, W., Solberg, S., Manø, S., and Yttri, K. E. 2011 *Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør: atmosfærisk tilførsel, 2010*. Oslo: Klima- og forurensningsdirektoratet.
- Agusa, T., Nomura, K., Kunito, T., Anan, Y., Iwata, H., and Tanabe, S. 2011. Accumulation of trace elements in harp seals (*Phoca groenlandica*) from Pangnirtung in the Baffin Island, Canada. *Marine Pollution Bulletin* 63.
- Akearok, J. A., Hebert, C. E., Braune, B. M., and Mallory, M. L. 2010. Inter- and intraclutch variation in egg mercury levels in marine bird species from the Canadian Arctic. *Science of the Total Environment* 408.
- Allan, I., Aas, W., Green, N. W., Bæk, K., Christensen, G., and Breivik, K. 2011. Tilførselsprogrammet 2010: Passive air and water sampling at Andøya, Bjørnøya and Jan Mayen, 2009-2010. Klima og forurensningsdirektoratet (Klif).
- Allan, I., Aas, W., Langford, K., Christensen, G., Green, N. W., Breivik, K., Bæk, K., and Ranneklev, S. 2012. Passive air and water sampling at Andøya, Bjørnøya og Jan Mayen. Klima og forurensningsdirektoratet (Klif).
- Altenburger, R., Scholz, S., Schmitt-Jansen, M., Busch, W., and Eschert, B. I. 2012. Mixture Toxicity Revisited from a Toxicogenomic Perspective. *Environmental Science & Technology* 46.
- Arneberg, P., Ottersen, G., Frie, A. S., van der Meeren, G. I., Johansson, J., and Selvik I. 2013. Forvaltningsplan Norskehavet - rapport fra overvåkingsgruppen 2013. Tromsø Havforskningsinstituttet.
- Asbakk, K., Aars, J., Derocher, A. E., Wiig, O., Oksanen, A., Born, E. W., Dietz, R., Sonne, C., Godfroid, J., and Kapel, C. M. O. 2010. Serosurvey for *Trichinella* in polar bears (*Ursus maritimus*) from Svalbard and the Barents Sea. *Vet Parasitol* 172.
- Aubail, A., Dietz, R., Riget, F., Sonne, C., Wiig, O., and Caurant, F. 2012. Temporal trend of mercury in polar bears (*Ursus maritimus*) from Svalbard using teeth as a biomonitoring tissue. *Journal of Environmental Monitoring* 14.
- Baussant, T., Ortiz-Zarragoitia, M., Cajaraville, M. P., Bechmann, R. K., Taban, I. C., and Sanni, S. 2011. Effects of chronic exposure to dispersed oil on selected reproductive processes in adult blue mussels (*Mytilus edulis*) and the consequences for the early life stages of their larvae. *Marine Pollution Bulletin* 62.
- Bechmann, R. K., Larsen, B. K., Taban, I. C., Hellgren, L. I., Moller, P., and Sanni, S. 2010. Chronic exposure of adults and embryos of *Pandalus borealis* to oil causes PAH accumulation, initiation of biomarker responses and an increase in larval mortality. *Mar Pollut Bull* 60, 2087-2098.
- Bechmann, R. K., Taban, I. C., Westerlund, S., Godal, B. F., Arnberg, M., Vingen, S., Ingvarsdottir, A., and Baussant, T. 2011. Effects of Ocean Acidification on Early Life Stages of Shrimp (*Pandalus borealis*) and Mussel (*Mytilus edulis*). *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 74.
- Bechshoft, T. O., Sonne, C., Dietz, R., Born, E. W., Muir, D. C. G., Letcher, R. J., Novak, M. A., Henchey, E., Meyer, J. S., Jenssen, B. M., and Villanger, G. D. 2012. Associations between complex OHC mixtures and thyroid and cortisol hormone levels in East Greenland polar bears. *Environmental Research* 116.
- Berg, T., Pfaffhuber, K. A., Cole, A. S., Engelsen, O., and Steffen, A. 2013. Ten years trends in atmospheric mercury concentrations, meteorological effects and climate variables at Zeppelin, Ny-Ålesund. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 13, 2273-2312.
- Bernhoft, A., Wiig, Ø., and Skaare, J. U. 1997. Organochlorines in polar bears (*Ursus maritimus*) at Svalbard. *Environmental Pollution* 95.
- Beyer, J and Borgå, K. 2012. Interactive effects of pollutants in the Barents Sea and Arctic region. NIVA, Oslo, Norway. p. 1-9.
- Beyer, J, Petersen, K, Song, Y, Ruus, A, Grung, M, Bakke, T, and Tollefsen, KE. 2013a. Environmental risk assessment of combined effects in aquatic ecotoxicology: a discussion paper. Faro, Portugal Marine Environmental Research (Submitted).

- Beyer, J., Aarab, N., Tandberg, A. H., Ingvarsdottir, A., Bamber, S., Børseth, J. F., Camus, L., and Velvin, R. 2013b. Environmental harm assessment of a wastewater discharge from Hammerfest LNG: A study with biomarkers in mussels (*Mytilus* sp.) and Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Mar Pollut Bull* 69, 28-37.
- Bidleman, T. F., Helm, P. A., Braune, B. M., and Gabrielsen, G. W. 2010. Polychlorinated naphthalenes in polar environments - A review. *Sci Total Environ* 408, 2919-2935.
- Boitsov, S., Petrova, V., Jensen, H. K. B., Kursheva, A., Litvinenko, I., Chen, Y. F., and Klungsoyr, J. 2011. Petroleum-related hydrocarbons in deep and subsurface sediments from South-Western Barents Sea. *Mar Environ Res* 71, 357-368.
- Boitsov, Stepan and Klungsøyr, Jarle. 2012. Undersøkelser av hydrokarboner i sedimenter fra MAREANO-området 2010. Bergen Havforskningsinstituttet. p. 1-53.
- Boitsov, Stepan and Klungsøyr, Jarle. 2013. Undersøkelser av hydrokarboner i sedimenter fra MAREANO-området 2011. Bergen Havforskningsinstituttet. p. 1-40.
- Borgå, K., Gabrielsen, G. W., and Skaare, J. U. 2001. Biomagnification of organochlorines along a Barents Sea food chain. *Environmental Pollution* 113.
- Borgå, K., Saloranta, T. M., and Ruus, A. 2010. Simulating climate change-induced alterations in bioaccumulation of organic contaminants in an arctic marine food web. *Environ Toxicol Chem* 29, 1349-1357.
- Bourgeon, S., Leat, E. H. K., Magnúsdóttir, E., Fisk, A. T., Furness, R. W., Strom, H., Hanssen, S. A., Petersen, A. E., Olafsdóttir, K., Borgå, K., Gabrielsen, G. W., and Bustnes, J. O. 2012. Individual variation in biomarkers of health: Influence of persistent organic pollutants in Great skuas (*Stercorarius skua*) breeding at different geographical locations. *Environmental Research* 118.
- Bratberg, M., Olsvik, P. A., Edvardsen, R. B., Brekken, H. K., Vadla, R., and Meier, S. 2013. Effects of oil pollution and persistent organic pollutants (POPs) on glycerophospholipids in liver and brain of male Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Chemosphere* 90.
- Braune, B. M. and Letcher, R. J. 2013. Perfluorinated Sulfonate and Carboxylate Compounds in Eggs of Seabirds Breeding in the Canadian Arctic: Temporal Trends (1975-2011) and Interspecies Comparison. *Environmental Science & Technology* 47.
- Braune, B. M., Mallory, M. L., Butt, C. M., Mabury, S. A., and Muir, D. C. G. 2010. Persistent halogenated organic contaminants and mercury in northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) from the Canadian Arctic. *Environmental Pollution* 158.
- Braune, B. M., Scheuhammer, A. M., Crump, D., Jones, S., Porter, E., and Bond, D. 2012. Toxicity of methylmercury injected into eggs of thick-billed murres and arctic terns. *Ecotoxicology* 21.
- Broch, O. J., Slagstad, D., and Smit, M. 2013. Modelling produced water dispersion and its direct toxic effects on the production and biomass of the marine copepod *Calanus finmarchicus*. *Marine Environmental Research* 84.
- Brooks, S., Harman, C., Soto, M., Cancio, I., Glette, T., and Marigomez, I. 2012. Integrated coastal monitoring of a gas processing plant using native and caged mussels. *Science of the Total Environment* 426.
- Brooks, S., Harman, C., Zaldibar, B., Izagirre, U., Glette, T., and Marigomez, I. 2011a. Integrated biomarker assessment of the effects exerted by treated produced water from an onshore natural gas processing plant in the North Sea on the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Pollution Bulletin* 62.
- Brooks, S. J., Harman, C., Grung, M., Farmen, E., Ruus, A., Vingen, S., Godal, B. F., Barsiene, J., Andreikenaitė, L., Skarpheimsdóttir, H., Liewenborg, B., and Sundt, R. C. 2011b. Water Column Monitoring of the Biological Effects of Produced Water from the Ekofisk Offshore Oil Installation from 2006 to 2009. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 74.
- Brown, T. M., Kuzyk, Z. Z. A., Stow, J. P., Burgess, N. M., Solomon, S. M., Sheldon, T. A., and Reimery, K. J. 2013. EFFECTS-BASED MARINE ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT AT A POLYCHLORINATED BIPHENYL-CONTAMINATED SITE IN SAGLEK, LABRADOR, CANADA. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32.

- Bustnes, J. O., Anker-Nilssen, T., and Lorentsen, S. H. 2010a. Local and large-scale climatic variables as predictors of the breeding numbers of endangered Lesser Black-backed Gulls on the Norwegian Coast. *Journal of Ornithology* 151.
- Bustnes, J. O., Borgå, K., Dempster, T., Lie, E., Nygard, T., and Uglem, I. 2012a. Latitudinal Distribution of Persistent Organic Pollutants in Pelagic and Demersal Marine Fish on the Norwegian Coast. *Environmental Science & Technology* 46.
- Bustnes, J. O., Gabrielsen, G. W., and Verreault, J. 2010b. Climate Variability and Temporal Trends of Persistent Organic Pollutants in the Arctic: A Study of Glaucous Gulls. *Environ Sci Technol* 44, 3155-3161.
- Bustnes, J. O., Lie, E., Herzke, D., Dempster, T., Bjorn, P. A., Nygard, T., and Uglem, I. 2010c. Salmon Farms as a Source of Organohalogenated Contaminants in Wild Fish. *Environmental Science & Technology* 44.
- Bustnes, J. O., Moe, B., Hanssen, S. A., Herzke, D., Fenstad, A. A., Nordstad, T., Borga, K., and Gabrielsen, G. W. 2012b. Temporal Dynamics of Circulating Persistent Organic Pollutants in a Fasting Seabird under Different Environmental Conditions. *Environ Sci Technol* 46, 10287-10294.
- Bustnes, J. O., Moe, B., Helberg, M., and Phillips, R. A. 2013. Rapid long-distance migration in Norwegian Lesser Black-backed Gulls *Larus fuscus fuscus* along their eastern flyway. *Ibis* 155.
- Bustnes, J. O., Moe, B., Herzke, D., Hanssen, S. A., Nordstad, T., Sagerup, K., Gabrielsen, G. W., and Borga, K. 2010d. Strongly increasing blood concentrations of lipid-soluble organochlorines in high arctic common eiders during incubation fast. *Chemosphere* 79.
- Bustnes, J. O., Nygard, T., Dempster, T., Ciesielski, T., Jenssen, B. M., Bjorn, P. A., and Uglem, I. 2011. Do salmon farms increase the concentrations of mercury and other elements in wild fish? *Journal of Environmental Monitoring* 13.
- Butt, C. M., Berger, U., Bossi, R., and Tomy, G. T. 2010. Levels and trends of poly- and perfluorinated compounds in the arctic environment. *Sci Total Environ* 408.
- Bytingsvik, J. 2012. Organohalogenated contaminants (OHCs) in polar bear mother-cub pairs from Svalbard, Norway: Maternal transfer, exposure assessment and thyroid hormone disruptive effects in polar bear cubs. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Bytingsvik, J., Lie, E., Aars, J., Derocher, A. E., Wiig, O., and Jenssen, B. M. 2012a. PCBs and OH-PCBs in polar bear mother-cub pairs: A comparative plasma levels in 1998 and 2008. *Science of the Total Environment* 417.
- Bytingsvik, J., Simon, E., Leonards, P. E. G., Lamoree, M., Lie, E., Aars, J., Derocher, A. E., Wiig, O., Jenssen, B. M., and Hamers, T. 2013. Transthyretin-Binding Activity of Contaminants in Blood from Polar Bear (*Ursus maritimus*) Cubs. *Environmental Science & Technology* 47.
- Bytingsvik, J., van Leeuwen, S. P. J., Hamers, T., Swart, K., Aars, J., Lie, E., Nilsen, E. M. E., Wiig, O., Derocher, A. E., and Jenssen, B. M. 2012b. Perfluoroalkyl substances in polar bear mother-cub pairs: A comparative study based on plasma levels from 1998 and 2008. *Environment International* 49.
- Carlsson, P., Herzke, D., Wedborg, M., and Gabrielsen, G. W. 2011. Environmental pollutants in the Swedish marine ecosystem, with special emphasis on polybrominated diphenyl ethers (PBDE). *Chemosphere* 82.
- Carrie, J., Wang, F., Sanei, H., Macdonald, R. W., Outridge, P. M., and Stern, G. A. 2010. Increasing Contaminant Burdens in an Arctic Fish, Burbot (*Lota lota*), in a Warming Climate. *Environ Sci Technol* 44.
- Carrizo, D. and Gustafsson, O. 2011. Distribution and Inventories of Polychlorinated Biphenyls in the Polar Mixed Layer of Seven Pan-Arctic Shelf Seas and the Interior Basins. *Environ Sci Technol* 45, 1420-1427.
- Carroll, M. L., Ambrose, W. G., Levin, B. S., Ryan, S. K., Ratner, A. R., Henkes, G. A., and Greenacre, M. J. 2011. Climatic regulation of *Clinocardium ciliatum* (bivalvia) growth in the northwestern Barents Sea. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 302.

- Choy, E. S., Kimpe, L. E., Mallory, M. L., Smol, J. P., and Blais, J. M. 2010. Contamination of an arctic terrestrial food web with marine-derived persistent organic pollutants transported by breeding seabirds. *Environmental Pollution* 158.
- Christiansen, J. S., Karamushko, L. I., and Nahrgang, J. 2010. Sub-lethal levels of waterborne petroleum may depress routine metabolism in polar cod *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774). *Polar Biol* 33, 1049-1055.
- Dallaire, R., Dewailly, E., Ayotte, P., Forget-Dubois, N., Jacobson, S. W., Jacobson, J. L., and Muckle, G. 2013. Exposure to organochlorines and mercury through fish and marine mammal consumption: Associations with growth and duration of gestation among Inuit newborns. *Environment International* 54.
- de Hoop, L., Schipper, A. M., Leuven, R. S. E. W., Huijbregts, M. A. J., Olsen, G. H., Smit, M. G. D., and Hendriks, A. J. 2011. Sensitivity of Polar and Temperate Marine Organisms to Oil Components. *Environ Sci Technol* 45, 9017-9023.
- De Laender, F., Hammer, J., Hendriks, A. J., Soetaert, K., and Janssen, C. R. 2011a. Combining Monitoring Data and Modeling Identifies PAHs as Emerging Contaminants in the Arctic. *Environ Sci Technol* 45, 9024-9029.
- De Laender, F., Olsen, G. H., Frost, T., Grosvik, B. E., Grung, M., Hansen, B. H., Hendriks, A. J., Hjorth, M., Janssen, C. R., Klok, C., Nordtug, T., Smit, M., Carroll, J., and Camus, L. 2011b. Ecotoxicological Mechanisms and Models in an Impact Analysis Tool for Oil Spills. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 74, 605-619.
- De Laender, F., Van Oevelen, D., Frantzen, S., Middelburg, J. J., and Soetaert, K. 2010. Seasonal PCB Bioaccumulation in an Arctic Marine Ecosystem: A Model Analysis Incorporating Lipid Dynamics, Food-Web Productivity and Migration. *Environmental Science & Technology* 44.
- de Wit, C. A., Herzke, D., and Vorkamp, K. 2010. Brominated flame retardants in the Arctic environment - trends and new candidates. *Sci Total Environ* 408.
- Dietz, R., Sonne, C., Basu, N., Braune, B., O'Hara, T., Letcher, R. J., Scheuhammer, T., Andersen, M., Andreasen, C., Andriashek, D., Asmund, G., Aubail, A., Baagoe, H., Born, E. W., Chan, H. M., Derocher, A. E., Grandjean, P., Knott, K., Kirkegaard, M., Krey, A., Lunn, N., Messier, F., Obbard, M., Olsen, M. T., Ostertag, S., Peacock, E., Renzoni, A., Riget, F. F., Skaare, J. U., Stern, G., Stirling, I., Taylor, M., Wiig, O., Wilson, S., and Aars, J. 2013. What are the toxicological effects of mercury in Arctic biota? *Science of the Total Environment* 443.
- Donaldson, S. G., Van Oostdam, J., Tikhonov, C., Feeley, M., Armstrong, B., Ayotte, P., Boucher, O., Bowers, W., Chan, L., Dallaire, F., Dallaire, R., Dewailly, E., Edwards, J., Egeland, G. M., Fontaine, J., Furgal, C., Leech, T., Loring, E., Muckle, G., Nancarrow, T., Pereg, D., Plusquellec, P., Potyrala, M., Receveur, O., and Shearer, R. G. 2010. Environmental contaminants and human health in the Canadian Arctic. *Science of the Total Environment* 408.
- Eggesbø, M., Stigum, H., Longnecker, M. P., Polder, A., Aldrin, M., Basso, O., Thomsen, C., Skaare, J. U., Becher, G., and Magnus, P. 2009. Levels of hexachlorobenzene (HCB) in breast milk in relation to birth weight in a Norwegian cohort. *Environmental Research* 109.
- Eide, I., Berg, T., Thorvaldsen, B., Christensen, G. N., Savinov, V., and Larsen, J. 2011. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Dated Freshwater and Marine Sediments Along the Norwegian Coast. *Water Air and Soil Pollution* 218, 387-398.
- Erikstad, K. E., Moum, T., Bustnes, J. O., and Reiertsen, T. K. 2011. High levels of organochlorines may affect hatching sex ratio and hatchling body mass in arctic glaucous gulls. *Functional Ecology* 25.
- Fakness, L. G., Hansen, B. H., Altin, D., and Brandvik, P. J. 2012. Chemical composition and acute toxicity in the water after in situ burning - A laboratory experiment. *Marine Pollution Bulletin* 64.
- Farmen, E., Harman, C., Hylland, K., and Tollefsen, K. E. 2010. Produced water extracts from North Sea oil production platforms result in cellular oxidative stress in a rainbow trout in vitro bioassay. *Mar Pollut Bull* 60, 1092-1098.

- Foster, K. L., Kimpe, L. E., Brimble, S. K., Liu, H. J., Mallory, M. L., Smol, J. P., Macdonald, R. W., and Blais, J. M. 2011a. Effects of Seabird Vectors on the Fate, Partitioning, and Signatures of Contaminants in a High Arctic Ecosystem. *Environmental Science & Technology* 45.
- Foster, K. L., Mallory, M. L., Hill, L., and Blais, J. M. 2011b. PCB and organochlorine pesticides in northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) from a high arctic colony: chemical exposure, fate, and transfer to predators. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30.
- Frantzen, M., Falk-Petersen, I. B., Nahrgang, J., Smith, T. J., Olsen, G. H., Hangstad, T. A., and Camus, L. 2012. Toxicity of crude oil and pyrene to the embryos of beach spawning capelin (*Mallotus villosus*). *Aquat Toxicol* 108, 42-52.
- Frantzen, S., Mage, A., Iversen, S. A., and Julshamn, K. 2011. Seasonal variation in the levels of organohalogen compounds in herring (*Clupea harengus*) from the Norwegian Sea. *Chemosphere* 85, 179-187.
- Frouin, H., Lebeuf, M., Hammill, M., and Fournier, M. 2012. Transfer of PBDEs and chlorinated POPs from mother to pup during lactation in harp seals *Phoca groenlandica*. *Science of the Total Environment* 417.
- Frouin, H., Lebeuf, M., Hammill, M., Sjare, B., and Fournier, M. 2011. PBDEs in serum and blubber of harbor, grey and harp seal pups from Eastern Canada. *Chemosphere* 82.
- Gabrielsen, Geir Wing, Evenset, Anita, Frantzen, Sylvia, Gwynn, Justin, Hallanger, Ingeborg Gammelsæter, Kallenborn, Roland, Pfaffhuber, Katrine Aspmo, Routti, Heli, and Sagerup, Kjetil. 2012. MOSJ statusrapport 2011 miljøgifter. Tromsø Norwegian Polar Institute.
- Gabrielsen, K. M., Villanger, G. D., Lie, E., Karimi, M., Lydersen, C., Kovacs, K. M., and Jenssen, B. M. 2011. Levels and patterns of hydroxylated polychlorinated biphenyls (OH-PCBs) and their associations with thyroid hormones in hooded seal (*Cystophora cristata*) mother-pup pairs. *Aquatic Toxicology* 105.
- Gevao, B., Harner, T., and Jones, K. C. 2000. Sedimentary record of polychlorinated naphthalene concentrations and deposition fluxes in a dated Lake Core. *Environ Sci Technol* 34, 33-38.
- Golubeva, N. I., Burtseva, L. V., and Ginzburg, V. A. 2010. Heavy metals in the atmospheric precipitation on the Barents Sea coast. *Russian Meteorology and Hydrology* 35, 333-340.
- Gouin, T., Armitage, J. M., Cousins, I. T., Muir, D. C. G., Ng, C. A., Reid, L., and Tao, S. 2013. Influence of global climate change on chemical fate and bioaccumulation: The role of multimedia models. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32.
- Goutte, A., Angelier, F., Chastel, C. C., Trouve, C., Moe, B., Bech, C., Gabrielsen, G. W., and Chastel, O. 2010a. Stress and the timing of breeding: Glucocorticoid-luteinizing hormones relationships in an arctic seabird. *General and Comparative Endocrinology* 169.
- Goutte, A., Angelier, F., Welcker, J., Moe, B., Clement-Chastel, C., Gabrielsen, G. W., Bech, C., and Chastel, O. 2010b. Long-term survival effect of corticosterone manipulation in Black-legged kittiwakes. *General and Comparative Endocrinology* 167.
- Goutte, A., Clement-Chastel, C., Moe, B., Bech, C., Gabrielsen, G. W., and Chastel, O. 2011. Experimentally reduced corticosterone release promotes early breeding in black-legged kittiwakes. *Journal of Experimental Biology* 214.
- Grandjean, P., Andersen, E. W., Budtz-Jorgensen, E., Nielsen, F., Molbak, K., Weihe, P., and Heilmann, C. 2012. Serum Vaccine Antibody Concentrations in Children Exposed to Perfluorinated Compounds. *Jama-Journal of the American Medical Association* 307.
- Grandjean, P. and Budtz-Jorgensen, E. 2013. Immunotoxicity of perfluorinated alkylates: calculation of benchmark doses based on serum concentrations in children. *Environmental Health* 12.
- Grandjean, P., Murata, K., Budtz-Jorgensen, E., and Weihe, P. 2004. Cardiac autonomic activity in methylmercury neurotoxicity: 14-year follow-up of a Faroese birth cohort. *J Pediatr* 144.
- Grandjean, P., Weihe, P., Burse, V. W., Needham, L. L., Storr-Hansen, E., Heinzow, B., Debes, F., Murata, K., Simonsen, H., Ellefsen, P., Budtz-Jorgensen, E., Keiding, N., and White, R. F. 2001. Neurobehavioral deficits associated with PCB in 7-year-old children prenatally exposed to seafood neurotoxins. *Neurotoxicol Teratol* 23.

- Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., and Debes, F. 1998. Cognitive performance of children prenatally exposed to "safe" levels of methylmercury. *Environ Res* 77.
- Green, Norman W., Molvæ, J., Kaste, Ø., Schrum, C., Yakushev, E., Sørensen, K., Allan, I., Høgåsen, T., Christiansen, A. B., Heldal, H. E., Klungsøyr, Jarle, Boitsov, Stepa, Børsheim, K. Y., Måge, Amund, Julshamn, Kaare, Aas, Wenche, Braathen, Ole-Anders, Breivik, Knut, Eckhardt, S., Rudjord, A. L., Iosjpe, M., and Brungot, A. L. 2010. Tilførselsprogrammet 2009. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Barentshavet og Lofotenområdet. Oslo Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif). p. 1-246.
- Green, Norman W., Skogen, M., Aas, Wenche, Iosjpe, M., Måge, Amund, Breivik, K., Yakushev, E., Høgåsen, T., Eckhardt, S., Ledang, A. B., Jaccard, P. F., Staalstrøm, A., Isachsen, P. E., and Franzten, S. 2013. Tilførselsprogrammet 2013. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Barentshavet og Lofotenområdet. Oslo Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif). p. 1-149.
- Green, Normann W., Heldal, H. E., Måge, Amund, Aas, Wenche, Gafvert, T., Schrum, C., Boitsov, S., Breivik Knut, Iosjpe, M., Yakushev, E., Skogen, M., Høgåsen, T., Eckhardt, S., Christiansen, A. B., Daae, K. L., Durand, D., Ledang, A. B., and Jaccard, P. F. 2012. Tilførselsprogrammet 2011. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Norskehavet. Oslo Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif). p. 1-227.
- Gutleb, A. C., Ceni, P., van Velzen, M., Lie, E., Ropstad, E., Skaare, J. U., Malmberg, T., Bergman, A., Gabrielsen, G. W., and Legler, J. 2010. In Vitro Assay Shows That PCB Metabolites Completely Saturate Thyroid Hormone Transport Capacity in Blood of Wild Polar Bears (*Ursus maritimus*). *Environ Sci Technol* 44.
- Hallanger, I. G., Jorgensen, E. H., Fuglei, E., Ahlstrom, O., Muir, D. C. G., and Jenssen, B. M. 2012. Dietary contaminant exposure affects plasma testosterone, but not thyroid hormones, vitamin A, and vitamin E, in male juvenile arctic foxes (*Vulpes lagopus*). *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 75.
- Hallanger, I. G., Ruus, A., Herzke, D., Warner, N. A., Evenset, A., Heimstad, E. S., Gabrielsen, G. W., and Borgå, K. 2011a. Influence of season, location, and feeding strategy on bioaccumulation of halogenated organic contaminants in Arctic marine zooplankton. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30.
- Hallanger, I. G., Ruus, A., Warner, N. A., Herzke, D., Evenset, A., Schøyen, M., Gabrielsen, G. W., and Borgå, K. 2011b. Differences between Arctic and Atlantic fjord systems on bioaccumulation of persistent organic pollutants in zooplankton from Svalbard. *Science of the Total Environment* 409.
- Hallanger, I. G., Warner, N. A., Ruus, A., Evenset, A., Christensen, G., Herzke, D., Gabrielsen, G. W., and Borgå, K. 2011c. Seasonality in contaminant accumulation in Arctic marine pelagic food webs using trophic magnification factor as a measure of bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30.
- Hannam, M. L., Bamber, S. D., Moody, A. J., Galloway, T. S., and Jones, M. B. 2010. Immunotoxicity and oxidative stress in the Arctic scallop *Chlamys islandica*: Effects of acute oil exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73.
- Hansen, B. H., Altin, D., Olsen, A. J., and Nordtug, T. 2012. Acute toxicity of naturally and chemically dispersed oil on the filter-feeding copepod *Calanus finmarchicus*.
- Hansen, B. H., Altin, D., Overjordet, I. B., Jager, T., and Nordtug, T. 2013. Acute exposure of water soluble fractions of marine diesel on Arctic *Calanus glacialis* and boreal *Calanus finmarchicus*: Effects on survival and biomarker response. *Science of the Total Environment* 449.
- Hansen, B. H., Altin, D., Rorvik, S. F., Overjordet, I. B., Olsen, A. J., and Nordtug, T. 2011. Comparative study on acute effects of water accommodated fractions of an artificially weathered crude oil on *Calanus finmarchicus* and *Calanus glacialis* (Crustacea: Copepoda). *Science of the Total Environment* 409.
- Hegseth, M. N., Camus, L., Helgason, L. B., Bocchetti, R., Gabrielsen, G. W., and Regoli, F. 2011a. Hepatic antioxidant responses related to levels of PCBs and metals in chicks of three Arctic seabird species. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology* 154, 28-35.

- Hegseth, M. N., Regoli, F., Gorbi, S., Bocchetti, R., Gabrielsen, G. W., and Camus, L. 2011b. Lysosomal and lipid-associated parameters in the livers of three species of arctic seabird chicks: Species differences and relationships with contaminant levels. *Marine Pollution Bulletin* 62.
- Hegseth, Marit Nøst. 2011. Cellular responses induced by environmental stress factors in Arctic Seabird chicks : Responses of the antioxidant defense system and autophagic lysosomal processes related to contaminant exposure and food restriction. University of Tromsø, Tromsø, Norway.
- Hegseth, M. N., Camus, L., Gorbi, S., Regoli, F., and Gabrielsen, G. W. 2011c. Effects of exposure to halogenated organic compounds combined with dietary restrictions on the antioxidant defense system in herring gull chicks. *Sci Total Environ* 409, 2717-2724.
- Heilmann, C., Budtz-Jorgensen, E., Nielsen, F., Heinzow, B., Weihe, P., and Grandjean, P. 2010. Serum Concentrations of Antibodies Against Vaccine Toxoids in Children Exposed Perinatally to Immunotoxicants. *Environmental Health Perspectives* 118.
- Helgason, L. B., Arukwe, A., Gabrielsen, G. W., Harju, M., Hegseth, M. N., Heimstad, E. S., Jorgensen, E. H., Mortensen, A. S., and Wolkers, J. 2010a. Biotransformation of PCBs in Arctic seabirds: Characterization of phase I and II pathways at transcriptional, translational and activity levels. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology* 152.
- Helgason, L. B., Verreault, J., Braune, B. M., Borgå, K., Primicerio, R., Jenssen, B. M., and Gabrielsen, G. W. 2010b. Relationship between persistent halogenated organic contaminants and TCDD-toxic equivalents on EROD activity and retinoid and thyroid hormone status in northern fulmars. *Science of the Total Environment* 408.
- Hermanson, M. H., Jackson, D. S., and Johnson, G. W. 2010. History of Inuit community excretion of polychlorinated biphenyls recorded in sewage lake sediments. *Chemosphere* 78.
- Hicken, C. E., Linbo, T. L., Baldwin, D. H., Willis, M. L., Myers, M. S., Holland, L., Larsen, M., Stekoll, M. S., Rice, S. D., Collier, T. K., Scholz, N. L., and Incardona, J. P. 2011. Sublethal exposure to crude oil during embryonic development alters cardiac morphology and reduces aerobic capacity in adult fish. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108, 7086-7090.
- Hoguet, J., Keller, J. M., Reiner, J. L., Kucklick, J. R., Bryan, C. E., Moors, A. J., Pugh, R. S., and Becker, P. R. 2013. Spatial and temporal trends of persistent organic pollutants and mercury in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from Alaska. *Science of the Total Environment* 449.
- Holth, T. F., Beylich, B. A., Camus, L., Klobucar, G. I. V., and Hylland, K. 2011. Repeated Sampling of Atlantic Cod (*Gadus morhua*) for Monitoring of Nondestructive Parameters During Exposure to a Synthetic Produced Water. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 74, 555-568.
- Holth, T. F. and Tollefsen, K. E. 2012. Acetylcholine esterase inhibitors in effluents from oil production platforms in the North Sea. *Aquat Toxicol* 112, 92-98.
- Hop, H., Borgå, K., Gabrielsen, G. W., Kleivane, L., and Skaare, J. U. 2002. Food web magnification of persistent organic pollutants in poikilotherms and homeotherms from the Barents Sea. *Environmental Science & Technology* 36.
- Howard, P. H. and Muir, D. C. G. 2010. Identifying New Persistent and Bioaccumulative Organics Among Chemicals in Commerce. *Environ Sci Technol* 44, 2277-2285.
- Hung, H., Kallenborn, R., Breivik, K., Su, Y. S., Brorstrom-Lunden, E., Olafsdottir, K., Thorlacius, J. M., Leppanen, S., Bossi, R., Skov, H., Mano, S., Patton, G. W., Stern, G., Sverko, E., and Fellin, P. 2010. Atmospheric monitoring of organic pollutants in the Arctic under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): 1993-2006. *Sci Total Environ* 408.
- Ingvarsdottir, A., Bjorkblom, C., Ravagnan, E., Godal, B. F., Arnberg, M., Joachim, D. L., and Sanni, S. 2012. Effects of different concentrations of crude oil on first feeding larvae of Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Journal of Marine Systems* 93, 69-76.
- Jensen, L. K., Honkanen, J. O., Jaeger, I., and Carroll, J. 2012. Bioaccumulation of phenanthrene and benzo a pyrene in *Calanus finmarchicus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 78.
- Jenssen, B. M., Aarnes, J. B., Murvoll, K. M., Herzke, D., and Nygard, T. 2010a. Fluctuating wing asymmetry and hepatic concentrations of persistent organic pollutants are associated in European shag (*Phalacrocorax aristotelis*) chicks. *Science of the Total Environment* 408.

- Jenssen, B. M., Villanger, G. D., Smette, E. I., Letcher, R. J., Sonne, C., and Dietz, R. 2010b. Associative interactions of complex mixtures of organohalogen compounds and circulating testosterone in polar bears (*Ursus maritimus*). *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* 157.
- Jonsson, H., Sundt, R. C., Aas, E., and Sanni, S. 2010. The Arctic is no longer put on ice: Evaluation of Polar cod (*Boreogadus saida*) as a monitoring species of oil pollution in cold waters. *Marine Pollution Bulletin* 60.
- Jorundsdottir, H., Lofstrand, K., Svavarsson, J., Bignert, A., and Bergman, A. 2010. Organochlorine Compounds and Their Metabolites in Seven Icelandic Seabird Species - a Comparative Study. *Environmental Science & Technology* 44.
- Julshamn, K., Duinker, A., Nilsen, B. M., Frantzen, S., Maage, A., Valdersnes, S., and Nedreaas, K. 2013. A baseline study of levels of mercury, arsenic, cadmium and lead in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea. *Mar Pollut Bull* 67, 187-195.
- Jung, S. W., Kwon, O. Y., Joo, C. K., Kang, J. H., Kim, M., Shim, W. J., and Kim, Y. O. 2012. Stronger impact of dispersant plus crude oil on natural plankton assemblages in short-term marine mesocosms. *Journal of Hazardous Materials* 217, 338-349.
- Kallenborn, R., Ottesen, R. T., Gabrielsen, G. W., Shrum, C., Evenset, A., Ruus, A., Benjaminsen, H., Sagerup, K., Christensen, G., Eggen, O., Carlsson, P., Johansson-Karlsson, E., Polder, A., Pedersen, H. R., and Lundkvist, Q. 2012a. PCB på Svalbard; Rapport 2011. Oslo Sysselmannen på Svalbard.
- Kallenborn, R., Halsall, C., Dellong, M., and Carlsson, P. 2012b. The influence of climate change on the global distribution and fate processes of anthropogenic persistent organic pollutants. *J Environ Monit* 14, 2854-2869.
- Kirk, J. L., Lehnher, I., Andersson, M., Braune, B. M., Chan, L., Dastoor, A. P., Durnford, D., Gleason, A. L., Loseto, L. L., Steffen, A., and St Louis, V. L. 2012. Mercury in Arctic marine ecosystems: Sources, pathways and exposure. *Environ Res* 119, 64-87.
- Kirkegaard, M., Sonne, C., Jakobsen, J., Jenssen, B. M., Letcher, R. J., and Dietz, R. 2010. Organohalogenes in A Whale-Blubber-Supplemented Diet Affects Hepatic Retinol and Renal Tocopherol Concentrations in Greenland Sled Dogs (*Canis familiaris*). *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 73.
- Knott, K. K., Boyd, D., Ylitalo, G. M., and O'Hara, T. M. 2012. Lactational transfer of mercury and polychlorinated biphenyls in polar bears. *Chemosphere* 88.
- Konovalov, D., Renaud, P. E., Berge, J., Voronkov, A. Y., and Cochrane, S. K. J. 2010. Contaminants, benthic communities, and bioturbation: potential for PAH mobilisation in Arctic sediments. *Chemistry and Ecology* 26, 197-208.
- Kurtio, P., Pukkala, E., Ilus, T., Rahola, T., and Auvinen, A. 2010. Radiation doses from global fallout and cancer incidence among reindeer herders and Sami in Northern Finland. *Occup Environ Med* 67.
- Leat, E. H. K., Bourgeon, S., Eze, J. I., Muir, D. C. G., Williamson, M., Bustnes, J. O., Furness, R. W., and Borgå, K. 2013. Perfluoroalkyl substances in eggs and plasma of an avian top predator, great skua (*Stercorarius skua*), in the north Atlantic. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32.
- Letcher, R. J., Bustnes, J. O., Dietz, R., Jenssen, B. M., Jorgensen, E. H., Sonne, C., Verreault, J., Vijayan, M. M., and Gabrielsen, G. W. 2010. Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in arctic wildlife and fish. *Sci Total Environ* 408.
- Løkke, H. 2010. Novel methods for integrated risk assessment of cumulative stressors - Results from the NoMiracle project. *Science of the Total Environment* 408.
- Louis, V. L. S., Derocher, A. E., Stirling, I., Graydon, J. A., Lee, C., Jocks, E., Richardson, E., Ghorpade, S., Kwan, A. K., Kirk, J. L., Lehnher, I., and Swanson, H. K. 2011. Differences in Mercury Bioaccumulation between Polar Bears (*Ursus maritimus*) from the Canadian high- and sub-Arctic. *Environ Sci Technol* 45.
- Ma, J., Hung, H., Tian, C., and Kallenborn, R. 2011. Revolatilization of persistent organic pollutants in the Arctic induced by climate change. *Nature Clim Change* 1, 255-260.

- Malinga, M., Szefer, P., and Gabrielsen, G. W. 2010. Age, sex and spatial dependent variations in heavy metals levels in the Glaucous Gulls (*Larus hyperboreus*) from the Bjørnøya and Jan Mayen, Arctic. *Environmental Monitoring and Assessment* 169.
- McKinney, M. A., Dietz, R., Sonne, C., de Guise, S., Skirnisson, K., Karlsson, K., Steingrimsdóttir, E., and Letcher, R. J. 2011a. Comparative Hepatic Microsomal Biotransformation of Selected Pbdes, Including Decabromodiphenyl Ether, and Decabromodiphenyl Ethane Flame Retardants in Arctic Marine-Feeding Mammals. *Environ Toxicol Chem* 30, 1506-1514.
- McKinney, M. A., Letcher, R. J., Aars, J., Born, E. W., Branigan, M., Dietz, R., Evans, T. J., Gabrielsen, G. W., Muir, D. C. G., Peacock, E., and Sonne, C. 2011b. Regional Contamination versus Regional Dietary Differences: Understanding Geographic Variation in Brominated and Chlorinated Contaminant Levels in Polar Bears. *Environmental Science & Technology* 45.
- McKinney, M. A., Letcher, R. J., Aars, J., Born, E. W., Branigan, M., Dietz, R., Evans, T. J., Gabrielsen, G. W., Peacock, E., and Sonne, C. 2011c. Flame retardants and legacy contaminants in polar bears from Alaska, Canada, East Greenland and Svalbard, 2005-2008. *Environment International* 37.
- McKinney, M. A., McMeans, B. C., Tomy, G. T., Rosenberg, B., Ferguson, S. H., Morris, A., Muir, D. C. G., and Fisk, A. T. 2012. Trophic Transfer of Contaminants in a Changing Arctic Marine Food Web: Cumberland Sound, Nunavut, Canada. *Environmental Science & Technology* 46.
- Mearns, A. J., Reish, D. J., Oshida, P. S., Ginn, T., and Rempel-Hester, M. A. 2011. Effects of Pollution on Marine Organisms. *Water Environment Research* 83, 1789-1852.
- Miljeteig, C., Gabrielsen, G. W., Strøm, H., Gavrilov, M. V., Lie, E., and Jenssen, B. r. M. 2012. Eggshell thinning and decreased concentrations of vitamin E are associated with contaminants in eggs of ivory gulls. *Sci Total Environ* 431, 92-99.
- Moe, S. J., De Schamphelaere, K., Clements, W. H., Sorensen, M. T., Van den Brink, P. J., and Liess, M. 2013. Combined and interactive effects of global climate change and toxicants on populations and communities. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32.
- Molde, K., Ciesielski, T. M., Fisk, A. T., Lydersen, C., Kovacs, K. M., Sormo, E. G., and Jenssen, B. M. 2013. Associations between vitamins A and E and legacy POP levels in highly contaminated Greenland sharks (*Somniosus microcephalus*). *Science of the Total Environment* 442.
- Muir, D. C. G. and de Wit, C. A. 2010. Trends of legacy and new persistent organic pollutants in the circumpolar arctic: Overview, conclusions, and recommendations. *Sci Total Environ* 408.
- Nahrgang, J., Brooks, S. J., Evenset, A., Camus, L., Jonsson, M., Smith, T. J., Lukina, J., Frantzen, M., Giarratano, E., and Renaud, P. E. 2013. Seasonal variation in biomarkers in blue mussel (*Mytilus edulis*), Icelandic scallop (*Chlamys islandica*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) - Implications for environmental monitoring in the Barents Sea. *Aquatic Toxicology* 127.
- Nahrgang, J., Camus, L., Broms, F., Christiansen, J. S., and Hop, H. 2010a. Seasonal baseline levels of physiological and biochemical parameters in polar cod (*Boreogadus saida*): Implications for environmental monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 60.
- Nahrgang, J., Camus, L., Carls, M. G., Gonzalez, P., Jonsson, M., Taban, I. C., Bechmann, R. K., Christiansen, J. S., and Hop, H. 2010b. Biomarker responses in polar cod (*Boreogadus saida*) exposed to the water soluble fraction of crude oil. *Aquatic Toxicology* 97.
- Nahrgang, J., Camus, L., Gonzalez, P., Goksøyr, A., Christiansen, J. S., and Hop, H. 2009. PAH biomarker responses in polar cod (*Boreogadus saida*) exposed to benzo(a)pyrene. *Aquatic Toxicology* 94.
- Nahrgang, J., Jonsson, M., and Camus, L. 2010c. EROD activity in liver and gills of polar cod (*Boreogadus saida*) exposed to waterborne and dietary crude oil. *Marine Environmental Research* 70.
- Nahrgang, J., Camus, L., Gonzalez, P., Jønsson, M., Christiansen, J. S., and Hop, H. 2010d. Biomarker responses in polar cod (*Boreogadus saida*) exposed to dietary crude oil. *Aquat Toxicol* 96, 77-83.
- Naidenko, S. V., Ivanov, E. A., Mordvintsev, I. N., Platonov, N. G., Ershov, R. V., and Rozhnov, V. V. 2013. Serum prevalence of polar bears (*Ursus maritimus*) to various pathogens on the Barents Sea islands. *Zool Zhurnal* 92.

- Neuparth, T., Moreira, S. M., Santos, M. M., and Reis-Henriques, M. A. 2012. Review of oil and HNS accidental spills in Europe: Identifying major environmental monitoring gaps and drawing priorities. *Mar Pollut Bull* 64, 1085-1095.
- Nordstad, T., Moe, B., Bustnes, J. O., Bech, C., Chastel, O., Goutte, A., Sagerup, K., Trouve, C., Herzke, D., and Gabrielsen, G. W. 2012. Relationships between POPs and baseline corticosterone levels in black-legged kittiwakes (*Rissa tridactyla*) across their breeding cycle. *Environmental Pollution* 164.
- Nordtug, T., Olsen, A. J., Altin, D., Overrein, I., Storoy, W., Hansen, B. H., and De Laender, F. 2011. Oil droplets do not affect assimilation and survival probability of first feeding larvae of North-East Arctic cod. *Science of the Total Environment* 412.
- Nøst, T. H., Helgason, L. B., Harju, M., Heimstad, E. S., Gabrielsen, G. W., and Jenssen, B. M. 2012. Halogenated organic contaminants and their correlations with circulating thyroid hormones in developing Arctic seabirds. *Science of the Total Environment* 414.
- O'Brien, H. T., Blanchet, R., Gagne, D., Lauziere, J., Vezina, C., Vaissiere, E., Ayotte, P., and Dery, S. 2012. Exposure to Toxic Metals and Persistent Organic Pollutants in Inuit Children Attending Childcare Centers in Nunavik, Canada. *Environmental Science & Technology* 46.
- Olsen, G. H., Smit, M. G. D., Carroll, J., Jaeger, I., Smith, T., and Camus, L. 2011. Arctic versus temperate comparison of risk assessment metrics for 2-methyl-naphthalene. *Mar Environ Res* 72, 179-187.
- Olsen, S. A., Ervik, A., and Grahl-Nielsen, O. 2012. Tracing fish farm waste in the northern shrimp *Pandalus borealis* (Kroyer, 1838) using lipid biomarkers. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 133-144.
- Pacyna, E. G., Pacyna, J. M., Steenhuisen, F., and Wilson, S. 2006. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmos Environ* 40.
- Perez-Casanova, J. C., Hamoutene, D., Samuelson, S., Burt, K., King, T. L., and Lee, K. 2010. The immune response of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) to chronic exposure to produced water. *Marine Environmental Research* 70.
- Pistocchi, A., Groenwold, J., Lahr, J., Loos, M., Mujica, M., Ragas, A. M. J., Rallo, R., Sala, S., Schlink, U., Strebel, K., Vighi, M., and Vizcaino, P. 2011. Mapping Cumulative Environmental Risks: Examples from the EU NoMiracle Project. *Environmental Modeling & Assessment* 16.
- Polder, A., Savinova, T. N., Tkachev, A., Loken, K. B., Odland, J. O., and Skaare, J. U. 2010. Levels and patterns of Persistent Organic Pollutants (POPs) in selected food items from Northwest Russia (1998-2002) and implications for dietary exposure. *Science of the Total Environment* 408.
- Polder, A., Skaare, J. U., Skjerve, E., Loken, K. B., and Eggesbo, M. 2009. Levels of chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls in Norwegian breast milk (2002-2006), and factors that may predict the level of contamination. *Science of the Total Environment* 407.
- Provencher, J. F., Gaston, A. J., Mallory, M. L., O'Hara, P. D., and Gilchrist, H. G. 2010. Ingested plastic in a diving seabird, the thick-billed murre (*Uria lomvia*), in the eastern Canadian Arctic. *Marine Pollution Bulletin* 60.
- Quillfeldt, C. H. v., Sunnanå, K., and Fossheim, Maria. 2013. Det faglige grunnlaget for oppdateringen av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten : rapport fra Faglig forum, Overvåkinggruppen og Risikogruppen til den interdepartementale styringsgruppen for forvaltningsplanen. Bergen Havforskningsinstituttet. p. 1-309.
- Radovic, J. R., Rial, D., Lyons, B. P., Harman, C., Vinas, L., Beiras, R., Readman, J. W., Thomas, K. V., and Bayona, J. M. 2012. Post-incident monitoring to evaluate environmental damage from shipping incidents: Chemical and biological assessments. *Journal of Environmental Management* 109, 136-153.
- Regehr, E. V., Hunter, C. M., Caswell, H., Amstrup, S. C., and Stirling, I. 2010. Survival and breeding of polar bears in the southern Beaufort Sea in relation to sea ice. *J Anim Ecol* 79.
- Riget, F., Braune, B., Bignert, A., Wilson, S., Aars, J., Born, E., Dam, M., Dietz, R., Evans, M., Evans, T., Gamberg, M., Gantner, N., Green, N., Gunnlaugsdóttir, H., Kannan, K., Letcher, R., Muir, D., Roach, P., Sonne, C., Stern, G., and Wiig, O. 2011. Temporal trends of Hg in Arctic biota, an update. *Sci Total Environ* 409.

- Riget, F., Bignert, A., Braune, B., Stow, J., and Wilson, S. 2010. Temporal trends of legacy POPs in Arctic biota, an update. *Sci Total Environ* 409.
- Rotander, A., Karrman, A., van Bavel, B., Polder, A., Riget, F., Auounsson, G. A., Vikingsson, G., Gabrielsen, G. W., Bloch, D., and Dam, M. 2012a. Increasing levels of long-chain perfluorocarboxylic acids (PFCAs) in Arctic and North Atlantic marine mammals, 1984-2009. *Chemosphere* 86.
- Rotander, A., van Bavel, B., Polder, A., Riget, F., Audunsson, G. A., Gabrielsen, G. W., Vikingsson, G., Bloch, D., and Dam, M. 2012b. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine mammals from Arctic and North Atlantic regions, 1986-2009. *Environment International* 40.
- Rotander, A., van Bavel, B., Riget, F., Audunsson, G. A., Polder, A., Gabrielsen, G. W., Vikingsson, G., Mikkelsen, B., and Dam, M. 2012c. Polychlorinated naphthalenes (PCNs) in sub-Arctic and Arctic marine mammals, 1986-2009. *Environmental Pollution* 164.
- Rotander, A., van Bavel, B., Riget, F., Auounsson, G. A., Polder, A., Gabrielsen, G. W., Vikingsson, G., Mikkelsen, B., and Dam, M. 2012d. Methoxylated polybrominated diphenyl ethers (MeO-PBDEs) are major contributors to the persistent organobromine load in sub-Arctic and Arctic marine mammals, 1986-2009. *Science of the Total Environment* 416.
- Routti, H., Arukwe, A., Jenssen, B. M., Letcher, R. J., Nyman, M., Backman, C., and Gabrielsen, G. W. 2010. Comparative endocrine disruptive effects of contaminants in ringed seals (*Phoca hispida*) from Svalbard and the Baltic Sea. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology* 152.
- Routti, H., Helgason, L. B., Arukwe, A., Wolkers, H., Heimstad, E. S., Harju, M., Berg, V., and Gabrielsen, G. W. 2013. Effect of reduced food intake on toxicokinetics of halogenated organic contaminants in herring gull (*Larus argentatus*) chicks. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32.
- Routti, H., Letcher, R. J., Born, E. W., Branigan, M., Dietz, R., Evans, T. J., Fisk, A. T., Peacock, E., and Sonne, C. 2011. Spatial and temporal trends of selected trace elements in liver tissue from polar bears (*Ursus maritimus*) from Alaska, Canada and Greenland. *J Environ Monit* 13, 2260-2267.
- Routti, H., Letcher, R. J., Born, E. W., Branigan, M., Dietz, R., Evans, T. J., McKinney, M. A., Peacock, E., and Sonne, C. 2012. Influence of carbon and lipid sources on variation of mercury and other trace elements in polar bears (*Ursus maritimus*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 31.
- Savinov, V., Muir, D. C. G., Svetochev, V., Svetocheva, O., Belikov, S., Boltunov, A., Alekseeva, L., Reiersen, L. O., and Savinova, T. 2011. Persistent organic pollutants in ringed seals from the Russian Arctic. *Sci Total Environ* 409, 2734-2745.
- SFT. 2007. Veileder for klassifisering av miljøgifter i vann og sediment. Oslo Statens forurensningstilsyn - SFT. p. 1-12.
- Simon, E., Bytingsvik, J., Jonker, W., Leonards, P. E. G., de Boer, J., Jenssen, B. M., Lie, E., Aars, J., Hamers, T., and Lamoree, M. H. 2011. Blood Plasma Sample Preparation Method for the Assessment of Thyroid Hormone-Disrupting Potency in Effect-Directed Analysis. *Environmental Science & Technology* 45.
- Skaare, J. U., Bernhoft, A., Derocher, A. E., Gabrielsen, G. W., Goksoyr, A., Henriksen, E. O., Larsen, H. J. S., Lie, E., and Wiig, Ø. 2000. Organochlorines in top predators at Svalbard - occurrence, levels and effects. *Toxicol Lett* 112.
- Skarphedinsdottir, H., Gunnarsson, K., Gudmundsson, G. A., and Nfon, E. 2010. Bioaccumulation and Biomagnification of Organochlorines in a Marine Food Web at a Pristine Site in Iceland. *Arch Environ Contam Toxicol* 58, 800-809.
- Sonne, C. 2010. Health effects from long-range transported contaminants in Arctic top predators: An integrated review based on studies of polar bears and relevant model species. *Environment International* 36.
- Sonne, C., Larsen, H. J. S., Kirkegaard, M., Letcher, R. J., and Dietz, R. 2010. Trans-generational and neonatal humoral immune responses in West Greenland sledge dogs (*Canis familiaris*) exposed to organohalogenated environmental contaminants. *Science of the Total Environment* 408.

- Sonne, C., Maehre, S. A. B., Sagerup, K., Harju, M., Heimstad, E. S., Leifsson, P. S., Dietz, R., and Gabrielsen, G. W. 2013a. A screening of liver, kidney, and thyroid gland morphology in organochlorine-contaminated glaucous gulls (*Larus hyperboreus*) from Svalbard. *Toxicol Environ Chem* 95, 172-186.
- Sonne, C., Riget, F. F., Leat, E. H. K., Bourgeon, S., Borgå, K., Strom, H., Hanssen, S. A., Gabrielsen, G. W., Petersen, A., Olafsdottir, K., Magnúsdóttir, E., Bustnes, J. O., Furness, R. W., and Kjølgaard-Hansen, M. 2013b. Organohalogen contaminants and Blood plasma clinical-chemical parameters in three colonies of North Atlantic Great skua (*Stercorarius skua*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 92.
- Sormo, E. G., Lie, E., Ruus, A., Gaustad, H., Skaare, J. U., and Jenssen, B. M. 2011. Trophic level determines levels of brominated flame-retardants in coastal herring gulls. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74.
- Stige, L. C., Ottersen, G., Hjermann, D. O., Dalpadado, P., Jensen, L. K., and Stenseth, N. C. 2011. Environmental toxicology: Population modeling of cod larvae shows high sensitivity to loss of zooplankton prey. *Marine Pollution Bulletin* 62.
- Stirling, I. and Derocher, A. E. 2012. Effects of climate warming on polar bears: a review of the evidence. *Global Change Biology* 18.
- Strid, A., Athanassiadis, I., Athanasiadou, M., Svavarsson, J., Papke, O., and Bergman, A. 2010. NEUTRAL AND PHENOLIC BROMINATED ORGANIC COMPOUNDS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC ORIGIN IN NORTHEAST ATLANTIC GREENLAND SHARK (*SOMNIOSUS MICROCEPHALUS*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 29.
- Sundt, R. C., Pampanin, D. M., Grung, M., Barsiene, J., and Ruus, A. 2011. PAH body burden and biomarker responses in mussels (*Mytilus edulis*) exposed to produced water from a North Sea oil field: Laboratory and field assessments. *Mar Pollut Bull* 62, 1498-1505.
- Sunnanå, K. and Fossheim, M. 2010. Forvaltningsplan Barentshavet - rapport fra overvåkningsgruppen 2010.
- Svensson, C. J., Eriksson, A., Harkonen, T., and Harding, K. C. 2011. Detecting Density Dependence in Recovering Seal Populations. *Ambio* 40.
- Uhl, S., Scheringer, M., Stohl, A., Burkhardt, J. F., and Hungerbühler, K. 2012. Primary source regions of polychlorinated biphenyls (PCBs) measured in the Arctic. *Atmos Environ* 62, 391-399.
- Ucan-Marín, F., Arukwe, A., Mortensen, A. S., Gabrielsen, G. W., and Letcher, R. J. 2010. Recombinant Albumin and Transthyretin Transport Proteins from Two Gull Species and Human: Chlorinated and Brominated Contaminant Binding and Thyroid Hormones. *Environ Sci Technol* 44.
- Valera, B., Jorgensen, M. E., Jeppesen, C., and Bjerregaard, P. 2013. Exposure to persistent organic pollutants and risk of hypertension among Inuit from Greenland. *Environmental Research* 122.
- Verreault, J., Helgason, L. B., Gabrielsen, G. W., Dam, M., and Braune, B. M. 2013. Contrasting retinoid and thyroid hormone status in differentially-contaminated northern fulmar colonies from the Canadian Arctic, Svalbard and the Faroe Islands. *Environment International* 52.
- Vetter, W., von der Recke, R., Ostrowicz, P., and Rosenfelder, N. 2010. Liquid chromatographic enantioseparation of the brominated flame retardant 2,3-dibromopropyl-2,4,6-tribromophenyl ether (DPTE) and enantiomer fractions in seal blubber. *Chemosphere* 78.
- Vieweg, I., Hop, H., Brey, T., Huber, S., Ambrose, W. G., Locke, W. L., and Gabrielsen, G. W. 2012. Persistent organic pollutants in four bivalve species from Svalbard waters. *Environmental Pollution* 161.
- Villanger, G. D. 2011. Effects of complex organohalogen contaminant mixtures on thyroid hormone homeostasis in selected arctic marine mammals. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Villanger, G. D., Jenssen, B. M., Fjeldberg, R. R., Letcher, R. J., Muir, D. C. G., Kirkegaard, M., Sonne, C., and Dietz, R. 2011a. Exposure to mixtures of organohalogen contaminants and associative interactions with thyroid hormones in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*). *Environment International* 37.

- Villanger, G. D., Lydersen, C., Kovacs, K. M., Lie, E., Skaare, J. U., and Jenssen, B. M. 2011b. Disruptive effects of persistent organohalogen contaminants on thyroid function in white whales (*Delphinapterus leucas*) from Svalbard. *Science of the Total Environment* 409.
- Villanger, G., Gabrielsen, K., Kovacs, K., Lydersen, C., Lie, E., Karimi, M., Sørmo, E., and Jenssen, B. 2013. Effects of complex organohalogen contaminant mixtures on thyroid homeostasis in hooded seal (*Cystophora cristata*) mother-pup pairs. *Chemosphere* 92.
- Warner, N. A., Evenset, A., Christensen, G., Gabrielsen, G. W., Borga, K., and Leknes, H. 2010. Volatile Siloxanes in the European Arctic: Assessment of Sources and Spatial Distribution. *Environ Sci Technol* 44.
- Wayland, M., Hoffman, D. J., Mallory, M. L., Alisauskas, R. T., and Stebbins, K. R. 2010. EVIDENCE OF WEAK CONTAMINANT-RELATED OXIDATIVE STRESS IN GLAUCOUS GULLS (*Larus hyperboreus*) FROM THE CANADIAN ARCTIC. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues* 73.
- Weber, J., Halsall, C. J., Muir, D., Teixeira, C., Small, J., Solomon, K., Hermanson, M., Hung, H., and Bidleman, T. 2010. Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. *Sci Total Environ* 408.
- Wolkers, H., Corkeron, P. T., Van Parijs, S. M., Simila, T., and van Bavel, B. 2007. Accumulation and transfer of contaminants in killer whales (*Orcinus orca*) from norway: Indications for contaminant metabolism. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26.
- Xia, Y. Q. and Boufadel, M. C. 2010. Lessons from the Exxon Valdez Oil Spill disaster in Alaska. *Disaster Advances* 3, 270-273.
- Yuan, L. X., Sun, L. G., Wei, G. J., Long, N. Y., Xie, Z. Q., and Wang, Y. H. 2011. 9,400 yr B.P.: the mortality of mollusk shell (*Mya truncata*) at high Arctic is associated with a sudden cooling event. *Environmental Earth Sciences* 63.
- Zaborska, A., Carroll, J., Pazdro, K., and Pempkowiak, J. 2011. Spatio-temporal patterns of PAHs, PCBs and HCB in sediments of the western Barents Sea. *Oceanologia* 53, 1005-1026.
- Zuijdgeest, A. and Huettel, M. 2012. Dispersants as Used in Response to the MC252-Spill Lead to Higher Mobility of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Oil-Contaminated Gulf of Mexico Sand. *Plos One* 7, e50549.

5.1 Referanser til nettsider

Statoil <http://www.statoil.com/>

Miljøovervåkning Svalbard og Jan Mayen, Norsk Polarinstitutt <http://mosj.npolar.no/>

BarentsObserver <http://barentsobserver.com/>

Miljødirektoratet, forsureng av hav

(http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Vann_og_hav/Forsuring-av-havet/)

IUCN/SSC Polar Bear Specialist Group <http://pbsg.npolar.no/en/status/>

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) <http://www.amap.no/>