

2020:00342 - Åpen

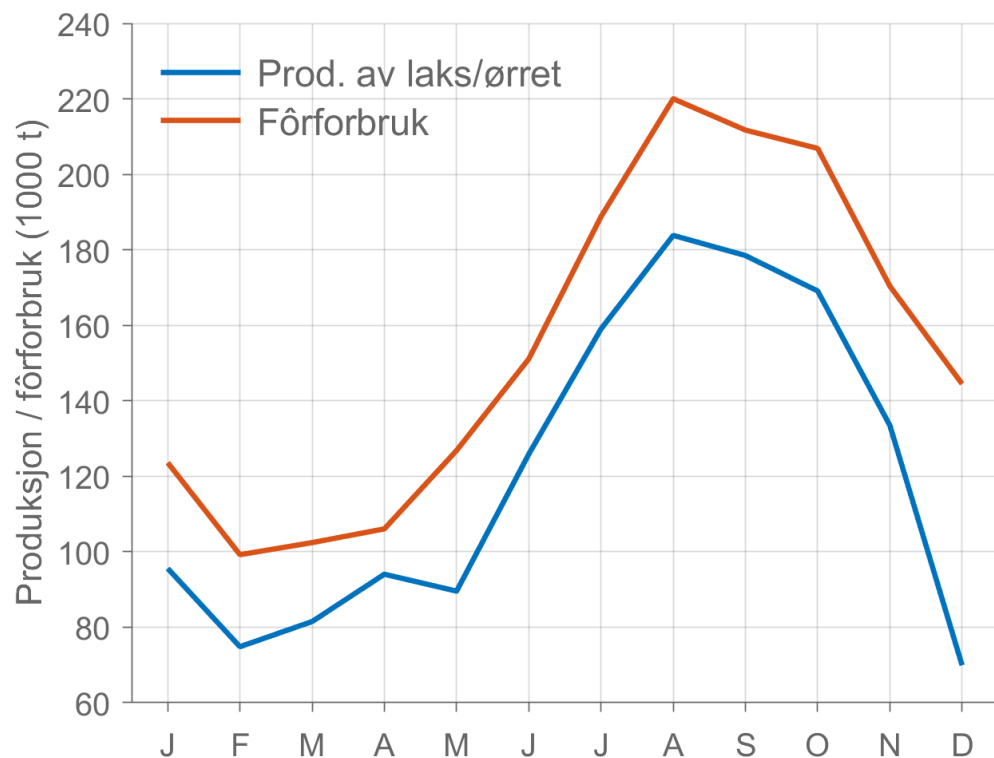
Rapport

Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av utslipp av organisk materiale og næringsalter fra havbruk

Delrapport 1 - Kvantifisering av utslipp

Forfatter(e)

Ole Jacob Broch, Ingrid Ellingsen



UTARBEIDET AV
Ole Jacob Broch

KONTROLLERT AV
Aleksander Handå

GODKJENT AV
Ute Brønner

Rapport

Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av utslipp av organisk materiale og næringssalter fra havbruk

Delrapport 1 - Kvantifisering av utslipp

VERSJON
1**DATO**
31. mars 2020**FORFATTER(E)**
Ole Jacob Broch, Ingrid Ellingsen**OPPDRAGSGIVER(E)**
FHF**OPPDRAGSGIVERS REFERANSE**
Kjell Maroni**PROSJEKT**
302005212**ANTALL SIDER OG VEDLEGG**
41**SAMMENDRAG**

Dette er en delrapport i prosjektet "Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av organisk materiale og næringssalter fra havbruk" finansiert av FHF (prosjektnummer 901572). Her kvantifiseres utslippene av organisk material og næringssalter fra sette- og matfiskanlegg til sjø. Oppdraget har vært å kvantifisere forspill, fekalie- og næringssaltutslipp.

RAPPORTNUMMER
2020:00342**ISBN**
978-82-14-06291-5**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBEKRIVELSE |
|---------|------------|------------------------------------------------------------------|
| 0.1 | 2020-03-06 | Første utkast. Ikke komplett. Ikke KS |
| 0.2 | 2020-03-30 | Oppdatert til KS |
| 0.3 | 2020-03-31 | Kvalitetssikret versjon til kunde for tilbakemelding |
| 1 | 2020-03-31 | Kvalitetssikret og godkjent versjon til kunde for tilbakemelding |

Innhold

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Innledning | 5 |
| 2 | Metoder | 5 |
| 2.1 | Tall for fôrforbruk og produksjon | 5 |
| 2.2 | Utslipp fra andre antropogene kilder | 5 |
| 2.3 | Havmodellering | 6 |
| 2.4 | Massebalansemodell | 6 |
| 2.4.1 | Fôrspill F_W | 7 |
| 2.4.2 | Fôrsammensetning F_X | 7 |
| 2.4.3 | Assimilerings effektivitet og fekalier $E_{A,X}$ | 7 |
| 2.4.4 | Retensjon og ekskresjon $E_{G,X}$ | 8 |
| 2.4.5 | Løselighet av ulike komponenter i fôr og fekalier S_X | 8 |
| 2.4.6 | Gjennomføring av beregningene | 8 |
| 2.5 | Fordeling av fôrforbruk og utslipp | 9 |
| 2.5.1 | Matfisk | 9 |
| 2.5.2 | Settefisk | 9 |
| 3 | Resultater og diskusjon | 10 |
| 3.1 | Oppdrettsproduksjon i Norge | 10 |
| 3.2 | Kvantifisering av utslipp fra havbruk, oversikt | 10 |
| 3.3 | Kvantifisering av utslipp over produksjonsområder og sesong | 11 |
| 3.3.1 | Produksjonsområde 1 | 14 |
| 3.3.2 | Produksjonsområde 2 | 15 |
| 3.3.3 | Produksjonsområde 3 | 16 |
| 3.3.4 | Produksjonsområde 4 | 17 |
| 3.3.5 | Produksjonsområde 5 | 18 |
| 3.3.6 | Produksjonsområde 6 | 19 |
| 3.3.7 | Produksjonsområde 7 | 20 |
| 3.3.8 | Produksjonsområde 8 | 21 |
| 3.3.9 | Produksjonsområde 9 | 22 |
| 3.3.10 | Produksjonsområde 10 | 23 |
| 3.3.11 | Produksjonsområde 11 | 24 |
| 3.3.12 | Produksjonsområde 12 | 25 |
| 3.3.13 | Produksjonsområde 13 | 26 |
| 3.4 | Sammenligning av havbruksutslipp med andre kilder | 28 |
| 3.4.1 | Antropogene utslipp | 28 |
| 3.4.2 | Naturlige næringssalter i havet | 29 |
| 3.5 | Spredning, fortykning og deponering av utslipp | 29 |
| 3.5.1 | Oppløste næringssalter | 29 |
| 3.5.2 | Partikulært material | 30 |
| 3.6 | Usikkerhet og sensitivitet | 31 |
| 3.7 | Kunnskapsbehov | 31 |
| | Referanser | 32 |
| | Appendix A. Geografisk fordeling av indre og ytre anlegg | 35 |

1 Innledning

Dette er en delrapport i prosjektet Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av organisk materiale og næringssalter fra havbrukfinansiert av FHF (prosjektnummer 901572). Her kvantifiseres utslippene av organisk material og næringssalter fra sette- og matfiskanlegg til sjø. Oppdraget har vært å kvantifisere fôrspill, fekalie- og næringssaltutslipp. Det har ikke vært innen oppdraget å kvantifisere eller vurdere utslipp av kjemikalier eller farmasøytiske produkter eller å vurdere betydningen av disse.

Mye av arbeidet som gjøres her er basert på tidligere arbeider (f.eks. Wang et al. 2012, FHF-prosjekt 901178). Siden disse arbeidene ble publisert har imidlertid produksjonen av laks og regnbueørret økt. Landfasen for laks er forlenget. Innføringen av trafikklyssystemet i 2017 har også ført til at havbruksnæringen ikke lenger forvaltes fylkesvis. Dermed er det relevant å se på fordelingen og kvantifiseringen av utslippene på nytt.

Utslippene vurderes ut fra produksjonen av laks og regnbueørret. Produksjonen av andre fiskeslag utgjør mindre enn én prosent av akvakulturproduksjonen i Norge. Dette betyr ikke at utslipp fra andre fiskeslag er like eller at de ikke kan ha lokal innvirkning på miljøet. Det betyr imidlertid at bidragene fra andre fiskeslag er relativt små sammenlignet med utslippene fra et helt produksjonsområde.

Utslippene er grovt fordelt over to typer resipienter: 1) beskyttede fjord- og kystområder; 2) mer eksponerte kystområder. Bæreevnen til disse resipientene antas å være ulik, og effekten per enhet utslipp kan variere mellom dem. Klassifiseringen av enkeltanlegg innen disse kategoriene er gjort subjektivt ut fra plassering. Det er ikke gjort oseanografiske eller andre vurderinger av enkeltanlegg.

Det gjøres ikke betraktninger på anleggsnivå, og det er heller ikke brukt data på anleggsnivå, bortsett fra offentlig tilgjengelig informasjon om maksimalt tillatt biomasse (MTB). Posisjonene til enkeltanlegg er tegnet inn for å illustrere en helhetlig geografisk fordeling av anleggene, og ikke for å ta stilling til produksjonsforhold ved det enkelte anlegg eller hvilke effekter produksjonen kan ha på miljøet. Dette har ikke vært en del av oppdraget.

Utslippene blir sammenlignet med utslipp fra andre antropogene kilder. Tids- og sesongaspekter ved utslippene blir belyst. Dette har betydning for arbeid i de andre delrapportene.

I denne delrapporten tas det ikke stilling til eventuelle positive eller negative effekter på økosystemet. Det gjøres heller ingen vurderinger av bæreevnen i de ulike produksjonsområdene. En vurdering av økosystemeffekter av utslippene blir gitt i delrapport 2, teknologier og muligheter for utnyttelse i delrapport 3 og aspekter knyttet til klimaendringer i delrapport 4.

2 Metoder

Arbeidet er basert på offentlig tilgjengelig statistikk, publisert vitenskapelig tidsskriftlitteratur og rapporter og havmodeller. Videre er det brukt en enkel massebalansmodell (Wang et al., 2012, 2013) til å kvantifisere utslippene.

2.1 Tall for fôrforbruk og produksjon

Tallene for fôrforbruk, plassering av anlegg og produksjon med mer som er brukt som utgangspunkt er hentet fra Fiskeridirektoratets offisielle data Fiskeridirektoratet (2020). Alle data er hentet ut 11. februar 2020.

2.2 Utslipp fra andre antropogene kilder

Utslipp fra andre antropogene kilder som jordbruk, industri og den generelle befolkningen er basert på NIVAs TEOTIL-rapporter (Selvik and Sample, 2017).

2.3 Havmodellering

Konsentrasjoner av naturlig forekommende nitrogen er estimert fra resultater fra havmodellsystemet SINMOD (www.sintef.no/sinmod). Modellen beregner verdier av fysiske og biologiske variabler i havet, slik som havstrømmer, temperatur, planteplanktonkonsentrasjoner og næringsalter (Wassmann et al., 2006). Modellområder for norskekysten i 800 m oppløsning er benyttet. Detaljer rundt modelloppsett og gjennomføring av simuleringene, inkludert atmosfærisk pådrag og ferskvannsavrenning fra land, er gitt i Broch et al. (2019). Beregning av flukser og omsetning av nitrogen i produksjonsområdene er gjennomført i dette prosjektet basert på disse tidligere simuleringene.

2.4 Massebalansemodell

Til å beregne utslippene er det brukt en enkel massebalansemodell (fig. 1). Denne er i all hovedsak basert på Wang et al. (2012). Noen av parametrene i modellen er revidert basert på Wang et al. (2013) og Aas et al. (2019) og noe annen nyere litteratur. Aas et al. (2019) tegner for øvrig et oppdatert bilde av utnyttelsen av fôrressursene i norsk laksenæring, og spesielt drøftes andelen av fôrressursene som faktisk går til menneskelig føde. Dette siste er ikke så viktig for utslippene fra næringen isolert sett, men det er et viktig perspektiv på ressursutnyttelse.

Grunnidéen bak massebalansemodeller er å unngå kompliserte beregninger knyttet til detaljerte metabolske prosesser i fisken (eller i andre dyr for den saks skyld), men heller fokusere på hvor mye av et gitt stoff som finnes i føret og hvor mye som blir igjen i fisken. Massebevaringsprinsippet forteller oss at materie ikke kan forsvinne, og dermed må differansen slippes ut til omgivelsene. Så er spørsmålet hvilken form dette utslippet antar. Her tar vi hensyn til tre former for utslipp

1. fôrspill, altså fiskefôr som ikke blir spist;
2. skit;
3. eksresksjon (f.eks. gjennom respirasjon).

Skit og fôr som ikke blir spist antas å slippes ut som partikulært organisk material, og vi følger karbonet, nitrogenet og fosforet gjennom henholdsvis POC (Particulate organic Carbon) PON (- Nitrogen) eller POP (- Phosphate). Eskresjonsprodukter antas å slippes ut som oppløste uorganiske forbindelser: oppløst inorganisk karbon (DIC (CO₂)), oppløst inorganisk nitrogen (DIN) eller oppløst inorganisk fosfor (DIP). For laks og ørret slippes DIN hovedsakelig ut i form av ammonium (NH₄⁺) og ammoniakk (NH₃), mens DIP slippes ut i form av f.eks. fosfat (PO₄³⁻). En viss andel av POC, PON og POP løses opp til oppløst organisk material DOC (“dissolved organic carbon”), DON og DOP.

$$PO_X = F \cdot F_X (F_W + (1 - F_W)(1 - E_{A,X})) (1 - S_X). \quad (1)$$

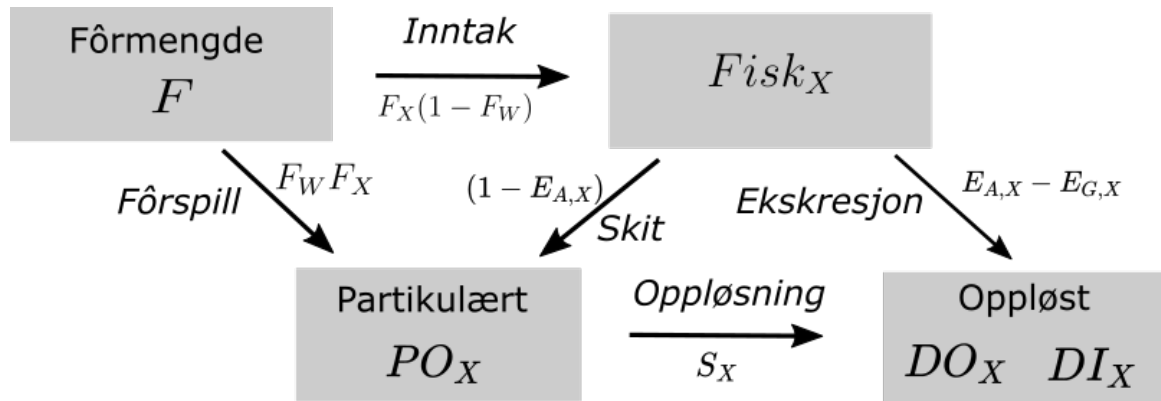
$$DO_X = F \cdot F_X (F_W + (1 - F_W)(1 - E_{A,X})) S_X. \quad (2)$$

$$Fisk_X = F \cdot F_X (1 - F_W) E_{G,X}. \quad (3)$$

$$DI_X = F \cdot F_X (1 - F_W) (E_{A,X} - E_{G,X}) \quad (4)$$

Figur 1 viser skjematisk hvordan disse massebalansene fremkommer. En detaljert gjennomgang, med litt annen notasjon, blir gitt i Wang et al. (2012).

Tabell 1 gir en oversikt over parameterverdiene som er brukt i modellen. En nærmere begrunnelse for valgene av disse gis i de følgende delavsnittene. Gu (2019) gir et god oversikt over ulike tall fra litteraturen.



Figur 1: Massebalanse for utslipp av partikulært karbon, nitrogen og fosfor. Se symbolforklaringene i tabell 1. X betegner her karbon (C), nitrogen (N) eller fosfor (P). En følger X og beregner mengden i neste rute ved å multiplisere massen i en rute med faktoren tilhørende hver av pilene fra ruten. For eksempel: bidraget til PO_C via skit beregnes som $F F_C(1 - F_W)(1 - E_{A,C})$. Se ligningene (1 - 4). I karbontilfellet må "DIC" tolkes som utslipp av CO_2 gjennom respirasjon.

2.4.1 Fôrspill F_W

En "standardverdi" for fôrspill (altså fiskefôr som ikke blir spist) er 3 % (Reid et al., 2009). Denne er også brukt i Wang et al. (2012, 2013). Andre faktorer som er brukt tidligere er 5 % (Broch et al., 2017). Bakgrunnen for det mye brukte "3 % fôrspill" kan være Cromey et al. (2002). Fôrspill på 3 – 5 % kan synes lave i forhold til Ballester-Moltó et al. (2017) som viser til verdier på 8 – 50 %. Noe av forskjellene kan forklares ut fra hvilken art det er snakk om og hvilke teknologier som benyttes. I Torrison et al. (2016) skiller det mellom tapte fôrpellets (6,45 %) og "fôrstøv" (finpartikulært fôrspill) (0,98 %) med utgangspunkt i tall for 2012. Dette gir et totalt fôrspill på 7,42 %. I beregningene som er gjort her, er det brukt et spenn av verdier fra 1 til 10 % (tabell 1).

2.4.2 Fôrsammensetning F_X

Sammensetningen av laksefôr har endret seg betydelig de siste årene, spesielt fordi det brukes en stor andel av terrestrisk planteprotein i fôret. Aas et al. (2019) gir et oppdatert bilde av massebalansen i et ressursperspektiv med utgangspunkt i tall fra det største fôrproducentene fra 2016. Dette er de mest komplette, oppdaterte tallene som er tilgjengelige.

Det er grunnstoffene karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) som blir fulgt her. Wang et al. (2013) rapporterer et karboninnhold i laksefôret på 51,9 til 55 %.

Wang et al. (2012, 2013) bruker et nitrogeninnhold på 5,5 til 7,2 %. Torrison et al. (2016) opererer med 5,68 % nitrogen i fôret. Aas et al. (2015) fant et nitrogeninnhold på 6,2 til 6,7 %.

Aas et al. (2019) rapporterer et fosforinnhold i fôret på 1,3 % mot 1,2 % i Wang et al. (2012). Wang et al. (2013) bruker 0,64-1%. Andre tall som er brukt i tilsvarende beregninger er 0,91 % (Torrison et al., 2016) og 0,95 til 0,99 % (Aas et al., 2015). I beregningene her, er det brukt et intervall fra 0,64 til 1,3 %.

Det kan knyttes en viss usikkerhet til protein- og nitrogeninnhold siden det benyttes ulike konverteringsfaktorer mellom nitrogen og protein. Standardverdien er protein/nitrogen = 6,25.

2.4.3 Assimilerings effektivitet og fekalier $E_{A,X}$

Assimilerings effektiviteten for et stoff er den andelen av stoffet som blir spist som blir assimilert i tarmen. Ulike komponenter blir assimilert i ulik grad. Wang et al. (2012) brukte assimileringseffektiviteter for karbon, nitrogen og fosfor på henholdsvis 0,8, 0,85 og 0,5. Aas et al. (2015) fant 0,89 til 0,9 for nitrogen og 0,41 til

Tabell 1: Oversikt over parameterverdier som er brukt i massabalanseregningene for matfisk i sjø. Referanser er angitt i teksten.

| Parameter | Matematisk symbol | Numerisk Intervall |
|--------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Mengde fôr brukt | F | - |
| Fôrspill | F_W | 0,01 – 0,1 |
| Løselighet av POC | S_C | 0,1 – 0,2 |
| Løselighet av PON | S_N | 0,1 – 0,2 |
| Løselighet av POP | S_P | 0,1 – 0,2 |
| C-andel av fôr | F_C | 0,519 – 0,55 |
| N-andel av fôr | F_N | 0,055 – 0,072 |
| P-andel av fôr | F_P | 0,0064 – 0,013 |
| Assimilerings effektivitet for karbon | $E_{A,C}$ | 0,75 – 0,89 |
| Assimilerings effektivitet for nitrogen | $E_{A,N}$ | 0,85 – 0,89 |
| Assimilerings effektivitet for fosfor | $E_{A,P}$ | 0,25 – 0,5 |
| Veksteffektivitet for karbon (retensjon) | $E_{G,C}$ | 0,4 – 0,46 |
| Veksteffektivitet for nitrogen (retensjon) | $E_{G,N}$ | 0,43 – 0,49 |
| Veksteffektivitet for fosfor (retensjon) | $E_{G,P}$ | 0,21 – 0,26 |

0,48 for fosfor. Torrisen et al. (2016) har tall på 0,89 for karbon, 0,9 for nitrogen og 0,24 for fosfor. Føre et al. (2016) bruker en assimileringseffektivitet for fôret totalt sett på 0,75, uten å spesifisere hvilke komponenter det er snakk om. I beregningene som er gjort her, er det antatt at assimileringseffektiviteten ligger mellom 0,75 og 0,89 for karbon, mellom 0,85 og 0,9 for nitrogen og mellom 0,25 og 0,5 for fosfor.

2.4.4 Retensjon og ekskresjon $E_{G,X}$

Retensjonen eller veksteffektiviteten (Wang et al., 2013) er den andelen av et stoff som blir spist som blir værende igjen i fisken ved slakt: hvor effektivt organismen (fisken) utnytter stoffet. Resultatene i Aas et al. (2019) antyder en veksteffektivitet for fosfat på 0,18 (altså 18 % blir igjen i fisken). Dette er fra et totalt perspektiv, og tar ikke hensyn til for eksempel fôrspill og død fisk. Wang et al. (2013) bruker en veksteffektivitet ($E_{G,X}$) på 0,40 for karbon, 0,43 til 0,46 for nitrogen og 0,24 til 0,26 for fosfor. Fra Torrisen et al. (2016) følger veksteffektivitet på 0,46 for karbon, 0,49 for nitrogen og 0,21 for fosfor. Vi bruker intervaller på 0,40 til 0,46 for karbon, 0,43 til 0,49 for nitrogen og 0,21 til 0,26 for fosfor.

Den andelen som ikke blir skitt ut og ikke sitter igjen i fisken antas å bli sluppet ut som oppløst materiale, hovedsakelig respirasjonsprodukter som karbondioksid (CO_2) og ammonium (NH_4^+).

2.4.5 Løselighet av ulike komponenter i fôr og fekalier S_X

Wang et al. (2012) har antatt at 15 % av det partikulære materialet fra skit og fôrspill umiddelbart blir oppløst. Vi har brukt dette som et utgangspunkt, men med et verdispenn fra 10 til 20 % (Aas and Åsgård, 2017).

2.4.6 Gjennomføring av beregningene

For hver måned og hvert produksjonsområde er det gjennomført 10.000 beregninger, der det i hver beregning velges tilfeldige parameterverdier (uniform fordeling, pseudo-random utvalg) fra intervallene i tabell 1. Det er gjennomsnittsverdier fra disse 10.000 beregningene som blir brukt, med mindre noe annet blir presisert eksplisitt.

Det tas ikke eksplisitt hensyn til temperaturen i beregningene som er gjort her. Temperaturen kommer imidlertid implisitt med gjennom data om fôrforbruk og biomasseutvikling, som til en viss grad er korrelert med temperaturen.

2.5 Fordeling av fôrforbruk og utslipp

Den totale produksjonen av laks og det tilhørende fôrforbruket finnes i Fiskeridirektoratets offisielle statistikker (Fiskeridirektoratet, 2020). Vi har ikke brukt data om fôrforbruket eller produksjonen ved enkeltanlegg. Hensikten med dette arbeidet er heller ikke å vurdere enkeltanlegg, men å kvantifisere utslippene fra akvakulturnæringen fra et helhetlig regionalt og nasjonalt perspektiv. Det er ikke tatt hensyn til annen fisk enn laks og regnbueørret.

2.5.1 Matfisk

Selv om det ikke blir sett på enkeltanlegg her, er det gjort et forsøk på å fordele utslippene over to anleggstyper med tilhørende resipienter: “indre” og “ytre” beliggende anlegg innen et produksjonsområde. Denne inndelingen er gjort ved en grov subjektiv vurdering. Det er ikke lagt til grunn informasjon om strømforhold eller lignende, men det er tatt utgangspunkt i geografisk plassering av anleggene. Primært er det hvorvidt anlegg ligger i eller utenfor fjorder som er brukt som kategorisering. Faktiske eksponeringsforhold har vi ikke sett på. Figurer som viser inndelingen i indre og ytre anlegg for hvert produksjonsområde finnes i appendix A. Det er mye som tyder på at det i fremtiden vil være flere anlegg som ligger eksponert og helt ute i havet, men i dag er et bare ett slikt anlegg (SalMars Ocean Farm 1).

Innen hvert produksjonsområde har vi fordelt fôrforbruk og produksjon over anleggene som har hatt biomasse i 2019. Denne informasjonen er hentet ut fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Fôrforbruket til hvert enkelt anlegg er vektet ut fra anleggets MTB i forhold til summen av MTB over alle anlegg i produksjonsområdet:

$$\text{fôrforbruk enkeltanlegg} = \text{totalt fôrforbruk i PO} \times \frac{\text{MTB anlegg}}{\text{total MTB i PO}}$$

Hos fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2020) blir ikke fôrforbruk ved stamfisk, forsknings og undervisnings/visningsanlegg sortert under noen av de 13 produksjonsområdene, men i en egen kategori. Vi har imidlertid fordelt disse utslippene geografisk over produksjonsområdene som følger. Anleggene som er kategorisert *utelukkende* som “forskning” eller “visning/undervisning” er ikke talt med (men fôrforbruket blir da fordelt over andre anlegg); det er totalt åtte slike anlegg. Det er 37 anlegg i sjø som er kategorisert utelukkende som “stamfisk” (og *ikke* matfisk). Disse blir tillagt fôrforbruk ut fra anleggets MTB i forhold til total MTB innen stamfiskkategorien. Dernest blir disse anleggenes geografiske plassering brukt til å sortere dem under produksjonsområdene. Det er i dag (mars 2020) kun ett landbasert matfiskanlegg (Fredrikstad Seafood AS). Dette er tatt med under utslipp fra matfiskanlegg til PO1.

Det kan forekomme avvik mellom de anleggene vi har registret med biomasse og de som offisielt har blitt registrert med biomasse, men det er ikke snakk om mange. Det totale fôrforbruket og produksjonen for hvert produksjonsområde er uansett korrekt, bortsett fra små unøyaktigheter i forbindelse med fordelingen av fôr over de rene stamfiskanleggene.

2.5.2 Settefisk

Fiskeridirektoratet fører ikke statistikk over fôrforbruk i norsk settefiskproduksjon. Det er dermed vanskeligere å estimere utslippene direkte for settefiskproduksjonen enn for matfiskproduksjonen. Den informasjonen som er tilgjengelig er MTB eller maksimalt antall fisk tillatt i settefiskanlegget. I de tilfellene det er rapportert antall fisk, har vi regnet om til MTB ved å anta at den gjennomsnittlige størrelsen på smolten er 80 g (Aas and Åsgård, 2017), selv om det i dag er mange anlegg der smolten står lenger.

For settefisk er det antatt en økonomisk fôrfaktor på 1. Lignende verdier er brukt i for eksempel Hilmarsen et al. (2018). Bak dette ligger det en biologisk fôrfaktor på 0,7 og fôrspill på ca. 30 % (Aas and Åsgård, 2017). Massebalansen for smolt antas å være nokså lik den for større fisk (Rosten, 2015). Vi har imidlertid antatt at andelen nitrogen i fôret ligger på 7,5 % mens fosforinnholdet er på 1,3 %. Veksteffektiviteten/retensjonen for fosfor er satt til 0,3 for å harmonere med Rosten (2015). Assimilerings effektiviteten for fosfor er satt til 0,4 (Aas and Åsgård, 2017). Resten av parametrene i massebalansmodellen er som i tabell 1.

Utslippene fra settefiskanlegg renses i ulik grad, og det er ikke alltid teknologien som benyttes er like effektiv (Rosten, 2015). Vi har ikke hatt tilgang til informasjon om renseteknologien som benyttes ved enkeltanlegg. Kravet er at 50 % av det partikulære materialet skal filtreres bort, men samtidig blir nitrogen og fosfor i liten grad filtrert bort. Vi har antatt at myndighetenes rensekrav blir fulgt, slik at 50 % av det partikulære materialet blir filtrert bort og ikke slippes ut i sjøen.

Vi har ikke fordelt utslippene fra settefiskproduksjonen over måned eller sesong. Vi har heller ikke tatt hensyn til hvilke måneder det er gjort utsett fra settefiskanlegg til matfiskanlegg i sjø. Settefiskproduksjonen fra anleggene er fordelt som slik fôrforbruket ble fordelt innen hvert PO, med den forskjellen at vi har fordelt totalproduksjonen av settefisk for hele landet over enkeltanleggene:

$$\text{produksjon i enkeltanlegg} = \text{total produksjon i Norge} \times \frac{\text{MTB anlegg}}{\text{total MTB i Norge}}.$$

Stamfisk, forsknings- og (under)visningsanlegg er tatt med.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Oppdrettsproduksjon i Norge

Lakseproduksjonen i Norge økte tilnærmet eksponentielt fra 1998 til 2007 med en årlig spesifikk vekstrate på 0.0795 (figur 3). Fra 2012 har den årlige produksjonen variert noe fra år til år, men har holdt seg ganske stabil. For å vurdere de totale utslippene av næringssalter og organiske materialer fra oppdrett, må man se på det totale fôrforbruket, og spesielt den økonomiske fôrfaktoren snarere enn den biologiske/metabolske fôrfaktoren. Den økonomiske fôrfaktoren (economic feed conversion ration) eFCR er gitt ved

$$eFCR = \frac{\text{total mengde fôr brukt}}{\text{total mengde laks produsert}}. \quad (5)$$

Denne faktoren tar hensyn til fôrtap og fôr brukt til produksjon av død fisk. De siste femten årene har den økonomiske fôrfaktoren ligget mellom 1,2 og 1,3 bortsett fra i 2009 og 2017 (figur 3). Det er også verdt å merke seg at eFCR gikk noe ned fra 2018 til 2019 til tross for stor dødelighet som følge av oppblomstringen av giftalgen *Chrysochromulina leadbeateri* i Nordland og Sør-Troms i mai/juni i fjor (2019).

Fôrfaktoren ser ut til å øke med fiskestørrelsen (Wang et al., 2013). Fra et totalperspektiv er imidlertid ikke dette så viktig da vi kun ser på totalt fôrforbruk i forhold til total produksjon.

3.2 Kvantifisering av utslipp fra havbruk, oversikt

Basert på beregningene beskrevet ovenfor, var de totale utslippene fra matfiskanlegg til norsk kystvann i 2019 på omtrent 224 000 t karbon, 66 000 t nitrogen og 14 000 t fosfor (tabell 2). I tillegg bidro settefiskproduksjonen med 3219 t karbon, 925 t nitrogen og 149 t fosfor. Utslippene fra settefiskanleggene utgjorde bare en liten del av de totale akvakulturutslippene.

Til sammenligning oppgir Selvik and Sample (2018) utslipp på 10 350 t fosfor og 59 962 t nitrogen fra norsk akvakultur i 2017, mens Torrisen et al. (2016) har kommet frem til 10 100 t fosfor og 44 500 t nitrogen i 2012. Spesielt tallene for nitrogen fra Selvik and Sample (2018) stemmer godt med herværende tall all den tid laksproduksjonen økte med ca. 10 % fra 2017 til 2019. Forskjellene i fosfor kan skyldes assimileringseffektiviteten for fosfor som er antatt i våre beregninger (tabell 1). Torrisen et al. (2016) diskuterer også potensialet for at fisken absorberer oppløst fosfor fra vannet omkring. Her er det altså en del usikkerhet.

Dersom det ikke ble antatt noen form for rensing, ville fosforutslippet fra settefiskanlegg beløpe seg til 251 t, som passer godt med 225 t i Aas and Åsgård (2017) og en noe høyere produksjon i 2019 enn i 2017.

Figur 5 og tabell 2 inneholder mer detaljert informasjon om utslippene i Norge under ett.



Figur 2: De tretten produksjonsområdene for havbruk i Norge.

3.3 Kvantifisering av utslipp over produksjonsområder og sesong

Tidligere ville det vært naturlig å inndelegge utslippene geografisk etter fylker (Wang et al., 2012; Torrisen et al., 2016). Alternativt kunne man brukt de seks økoregionene eller forvaltningsplanområder. Etter innføringen av produksjonsområdene og trafikklyssystemet er det naturlig å bruke produksjonsområdene. Fiskeridirektoratets statistikk forholder seg til disse, og de er også basert på oseanografiske betraktninger (Ådlandsvik, 2015). Det er primært vurderinger rundt smittepress for lakselus som ligger til grunn for etableringen av produksjonsområdene. Utslipp av oppløste næringssalter, for eksempel, forvaltes ikke direkte innen trafikklyssystemet, men kommer inn under EUs vanddirektiv.

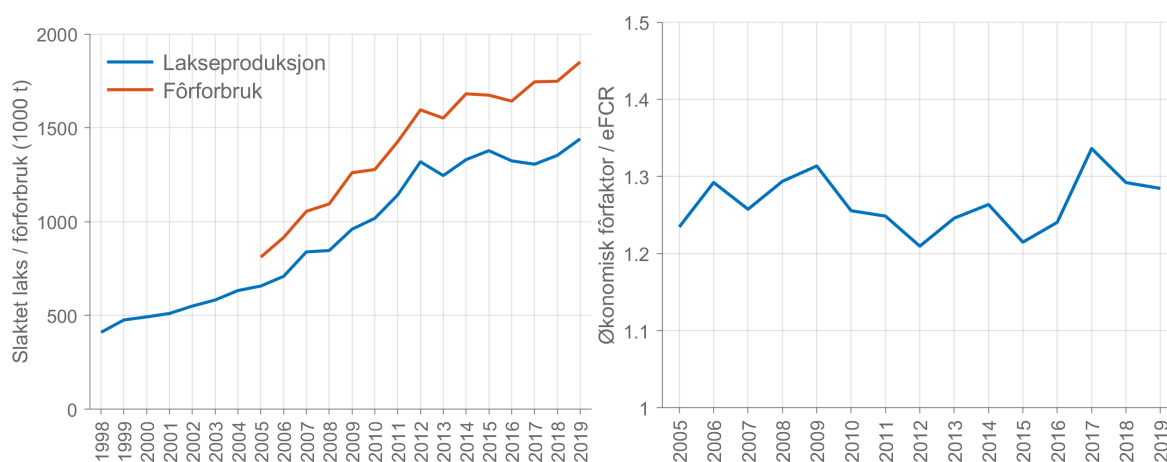
I figurene på de følgende sidene (figurene 7 til 19) presenteres månedlige utslipp for hvert produksjonsområde separat. Det er også tabeller (tabellene 4 til 16) som fordeler utslippene over sesong og over hele året. Videre er anleggene delt inn i to kategorier: ytre og indre. Kategoriseringen er gjort subjektivt.

Figurene viser verdier for utslipp basert på beregningene som er beskrevet i avsnitt 2.4. De heltrukne kurvene representerer gjennomsnittsverdier (aritmetisk middel) fra disse beregningene. De skyggelagte feltene representerer standardavviket i disse beregningene. De skyggelagte feltene er tatt med for å understreke at det hefter usikkerhet ved beregningene, og standardavviket er *en* måte å beskrive denne på. Det har ikke vært mulig å vurdere for eksempel forskjeller i metabolske rater mellom enkeltanlegg.

De beregnede utslippene fra matfisk- og settefiskanlegg i hvert produksjonsområde er fremstilt samlet i figurene 20 og 21.

Tabell 2: Utslipp fra norsk havbruksnæring i 2019 i tonn.

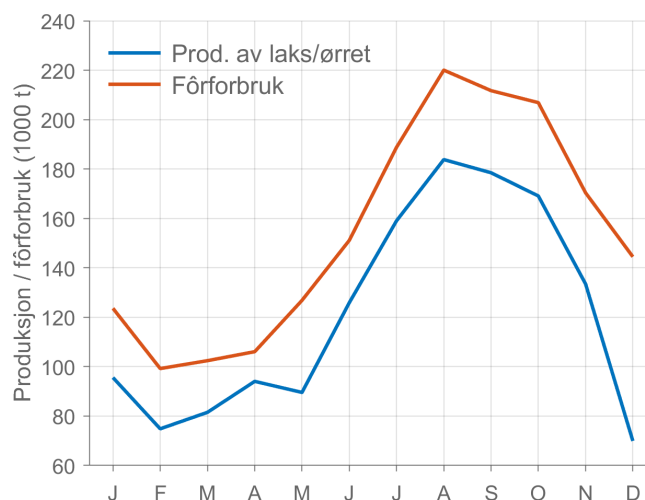
| Type produksjon | Karbon (unntatt CO ₂) | Nitrogen | Fosfor |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| Matfiskproduksjon | 223 845 | 66 463 | 13 972 |
| Settefisk | 3219 | 925 | 149 |
| Totalt | 227 064 | 67 388 | 14 121 |



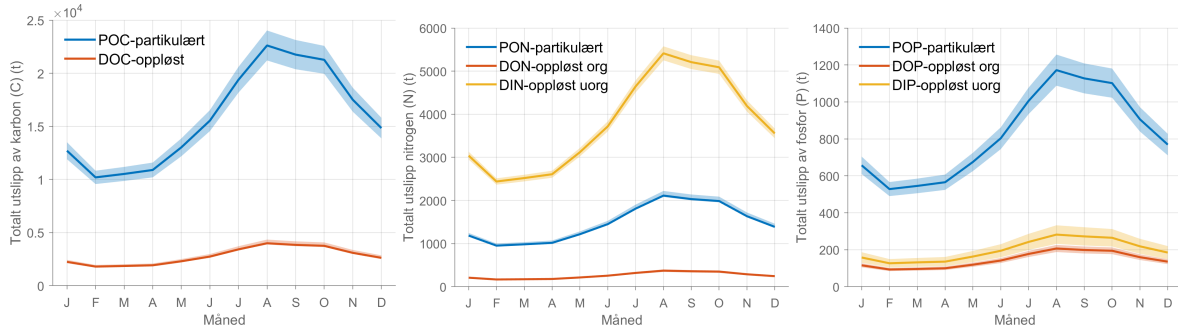
Figur 3: Til venstre: Tidsutvikling i årlig mengde slaktet laks og årlig fôrforbruk i norsk akvakultur. Tallene inkluderer all matfisk og alt fôr brukt. Unntaket er 2019-tallene som kun inkluderer laks og regnbueørret. 2019-tallene er heller ikke basert på den offisielle totalstatistikken, men er integrert fra den månedlige statistikken (fra Fiskeridirektoratet). Alle tallene er hentet fra Fiskeridirektoratets offisielle statistikker (Fiskeridirektoratet, 2020). Til høyre: økonomisk fôrfaktor (eFCR) totalt for hele landet fra 2005 til 2019.

Tabell 3: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp fra matfiskanlegg til sjø over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

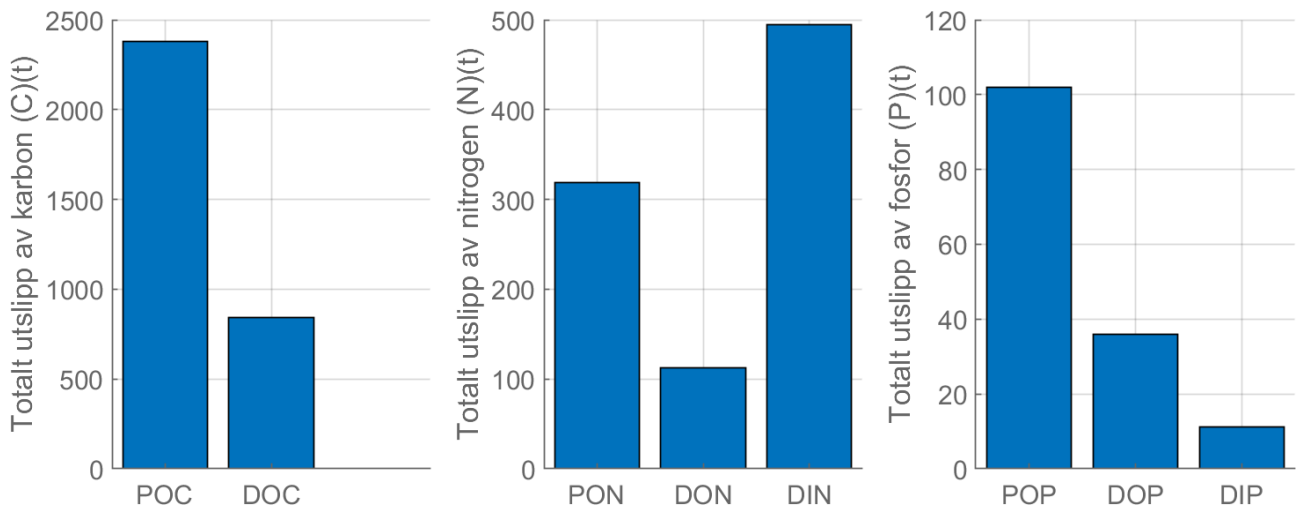
| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|-------|-----------|-------|------|-----------|------|------|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 255326 | 335311 | 34443 | 6078 | 3217 | 8250 | 569 | 1787 | 432 | 314 |
| Sommer | Totalt | 448224 | 559917 | 57548 | 10158 | 5375 | 13778 | 949 | 2980 | 718 | 526 |
| Høst | Totalt | 461919 | 588970 | 60530 | 10684 | 5655 | 14490 | 996 | 3134 | 757 | 551 |
| Vinter | Totalt | 233539 | 367304 | 37745 | 6665 | 3528 | 9033 | 625 | 1955 | 469 | 345 |
| År | Indre | 751711 | 1006953 | 103476 | 18260 | 9666 | 24773 | 1704 | 5362 | 1291 | 946 |
| | Ytre | 647302 | 844551 | 86788 | 15319 | 8106 | 20781 | 1429 | 4496 | 1083 | 793 |
| | Totalt | 1399014 | 1851506 | 190263 | 33582 | 17774 | 45553 | 3134 | 9857 | 2375 | 1739 |



Figur 4: Månedlig produksjon av laks og regnbueørret (i blått) og fôrforbruk (i rødt) for hele Norge i 2019.

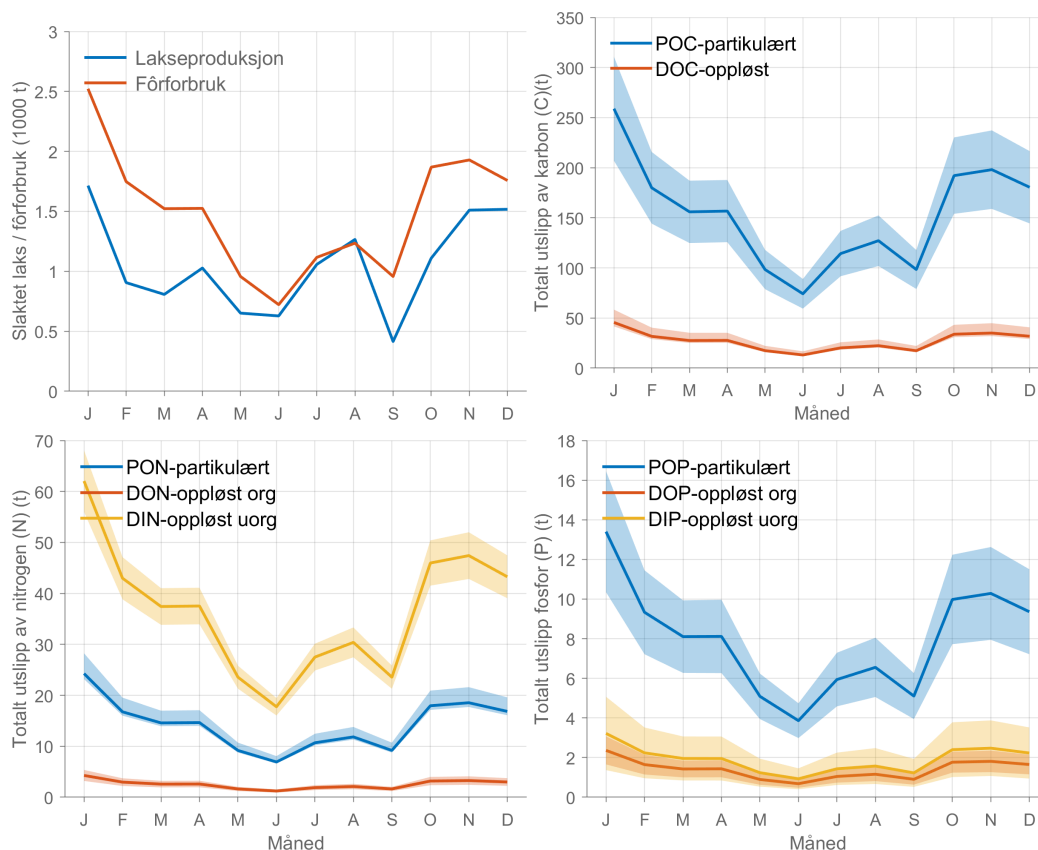


Figur 5: Månedlige utslipp av karbon (til venstre), nitrogen (i midten) og fosfor (til høyre) for hele Norge i 2019. Alle tallene er i tonn C, N eller P. De heltrukne linjene er gjennomsnittsverdier av 10 000 beregninger med pseudo-tilfeldige utvalg av parameterverdier fra tabell 1. De skyggelagte feltene angir standardavviket i disse beregningene.



Figur 6: Utslipp av karbon (til venstre), nitrogen (i midten) og fosfor (til høyre) fra settefiskproduksjon til sjø for hele Norge. Det er antatt rensing av faststoffet på 50 %.

3.3.1 Produksjonsområde 1

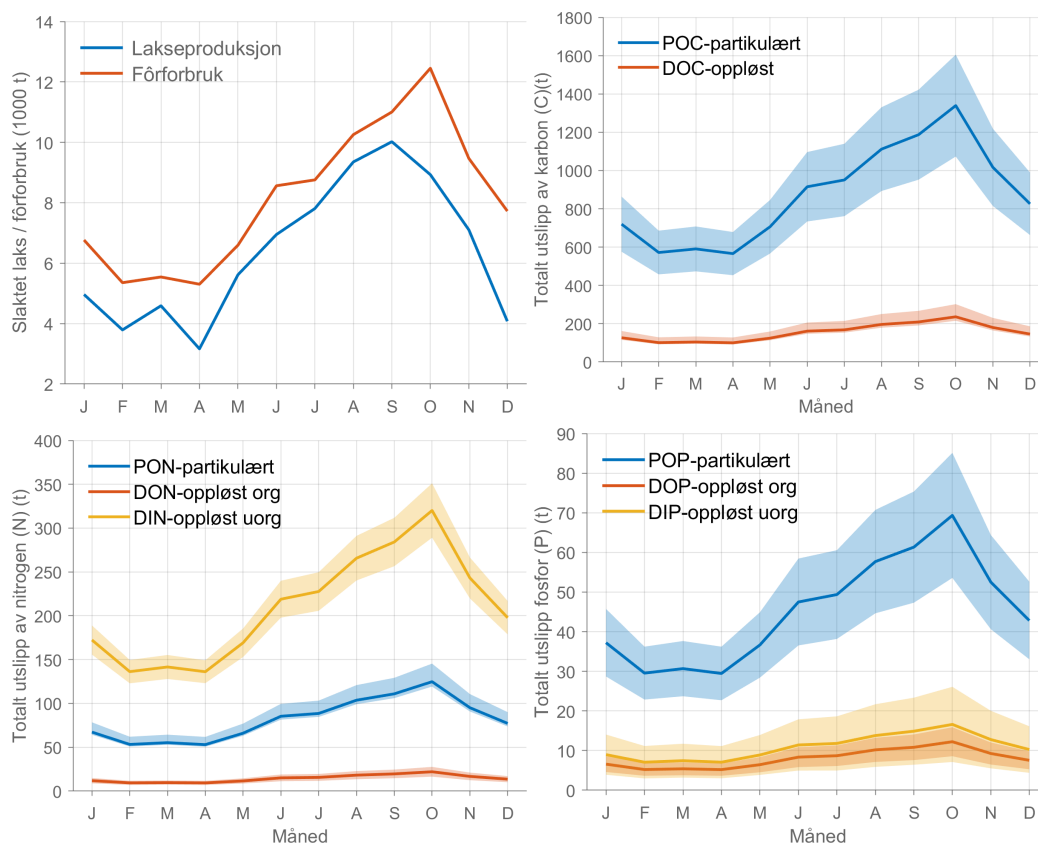


Figur 7: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 4: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 2486 | 4004 | 411 | 73 | 38 | 99 | 7 | 21 | 5 | 4 |
| Sommer | Totalt | 2952 | 3074 | 316 | 56 | 29 | 76 | 5 | 16 | 4 | 3 |
| Høst | Totalt | 3035 | 4755 | 489 | 86 | 46 | 117 | 8 | 25 | 6 | 4 |
| Vinter | Totalt | 4138 | 6028 | 619 | 109 | 58 | 148 | 10 | 32 | 8 | 6 |
| År | Indre | 12021 | 17025 | 1749 | 308 | 163 | 419 | 29 | 91 | 22 | 16 |
| | Ytre | 590 | 836 | 86 | 15 | 8 | 21 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| | Totalt | 12611 | 17862 | 1835 | 324 | 171 | 439 | 30 | 95 | 23 | 17 |

3.3.2 Produksjonsområde 2

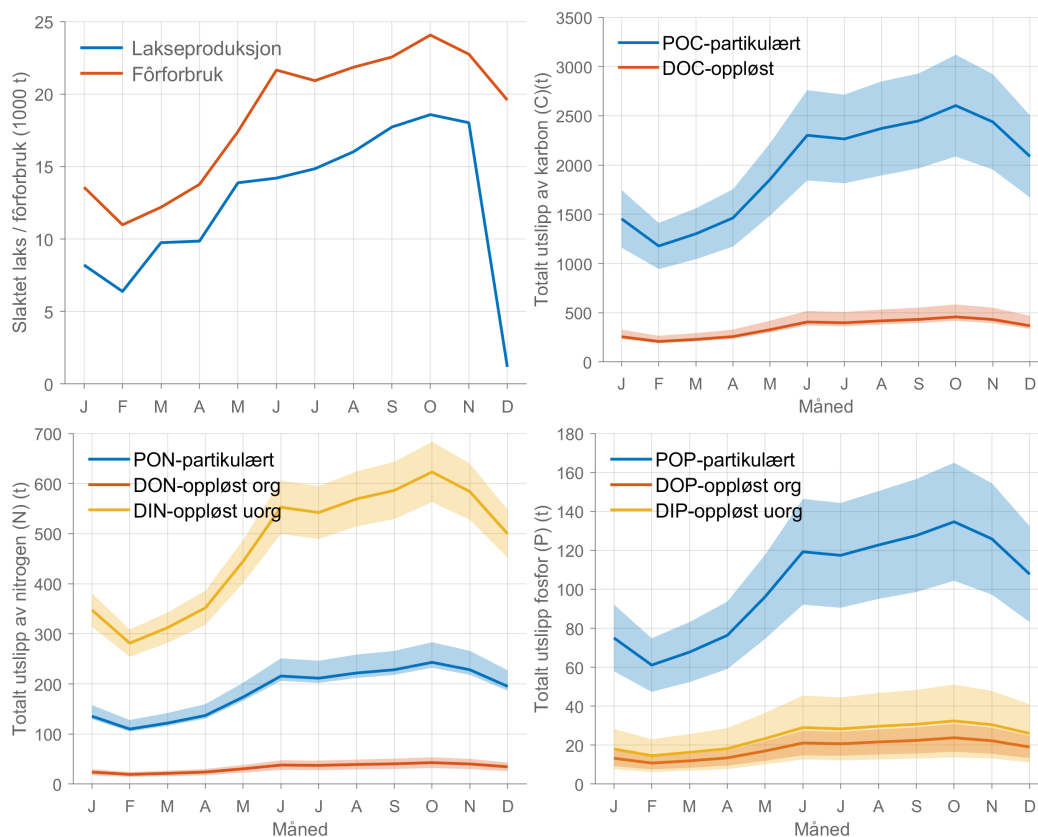


Figur 8: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 5: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 13373 | 18161 | 1863 | 329 | 174 | 447 | 31 | 97 | 23 | 17 |
| Sommer | Totalt | 24113 | 28957 | 2978 | 526 | 278 | 712 | 49 | 155 | 37 | 27 |
| Høst | Totalt | 26056 | 34467 | 3543 | 625 | 331 | 847 | 58 | 183 | 44 | 32 |
| Vinter | Totalt | 12834 | 20599 | 2118 | 374 | 198 | 506 | 35 | 110 | 26 | 19 |
| År | Indre | 58669 | 78494 | 8067 | 1424 | 753 | 1930 | 133 | 418 | 101 | 74 |
| | Ytre | 17707 | 23691 | 2435 | 430 | 227 | 583 | 40 | 126 | 30 | 22 |
| | Totalt | 76376 | 102185 | 10502 | 1854 | 981 | 2513 | 173 | 544 | 131 | 96 |

3.3.3 Produksjonsområde 3

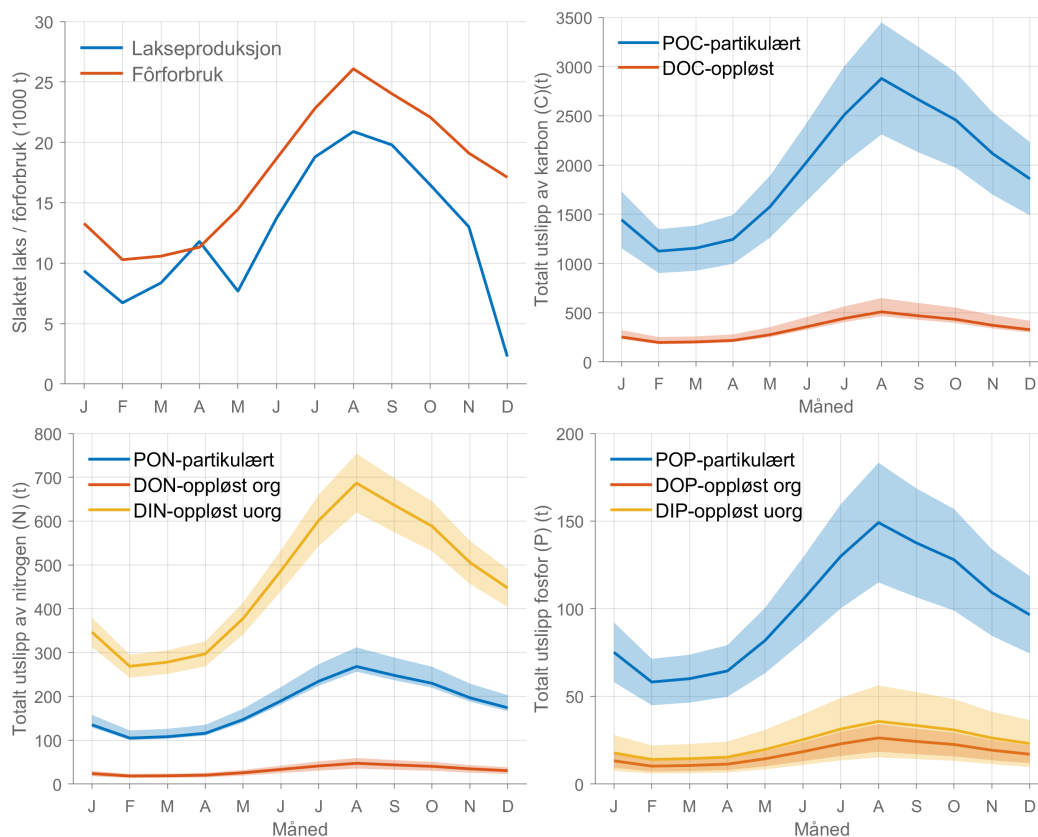


Figur 9: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 6: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 33485 | 45020 | 4619 | 816 | 432 | 1109 | 76 | 240 | 58 | 42 |
| Sommer | Totalt | 45068 | 67587 | 6939 | 1223 | 649 | 1664 | 115 | 359 | 87 | 63 |
| Høst | Totalt | 54325 | 72902 | 7490 | 1322 | 700 | 1793 | 124 | 388 | 94 | 68 |
| Vinter | Totalt | 15779 | 45868 | 4719 | 833 | 441 | 1128 | 78 | 244 | 59 | 43 |
| År | Indre | 111176 | 173040 | 17775 | 3137 | 1662 | 4258 | 293 | 921 | 222 | 163 |
| | Ytre | 37481 | 58337 | 5992 | 1058 | 560 | 1436 | 99 | 311 | 75 | 55 |
| | Totalt | 148657 | 231378 | 23767 | 4195 | 2222 | 5694 | 392 | 1232 | 297 | 217 |

3.3.4 Produksjonsområde 4

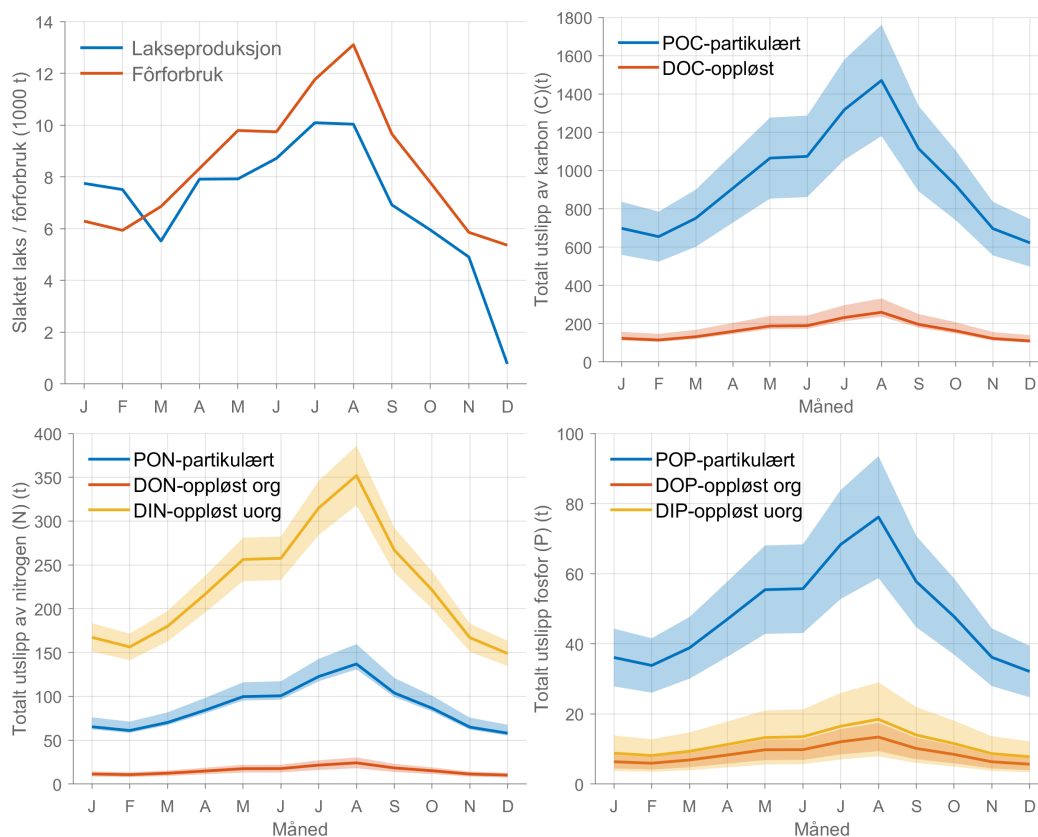


Figur 10: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 7: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 27860 | 38754 | 3979 | 701 | 372 | 953 | 65 | 207 | 50 | 36 |
| Sommer | Totalt | 53384 | 72135 | 7429 | 1312 | 693 | 1775 | 122 | 384 | 92 | 68 |
| Høst | Totalt | 49271 | 70345 | 7235 | 1275 | 675 | 1731 | 119 | 375 | 91 | 66 |
| Vinter | Totalt | 18365 | 43197 | 4430 | 781 | 415 | 1063 | 73 | 230 | 55 | 41 |
| År | Indre | 83147 | 125341 | 12885 | 2272 | 1203 | 3084 | 212 | 668 | 161 | 118 |
| | Ytre | 65734 | 99091 | 10187 | 1796 | 951 | 2438 | 168 | 528 | 127 | 93 |
| | Totalt | 148881 | 224432 | 23072 | 4068 | 2154 | 5522 | 380 | 1196 | 288 | 211 |

3.3.5 Produksjonsområde 5

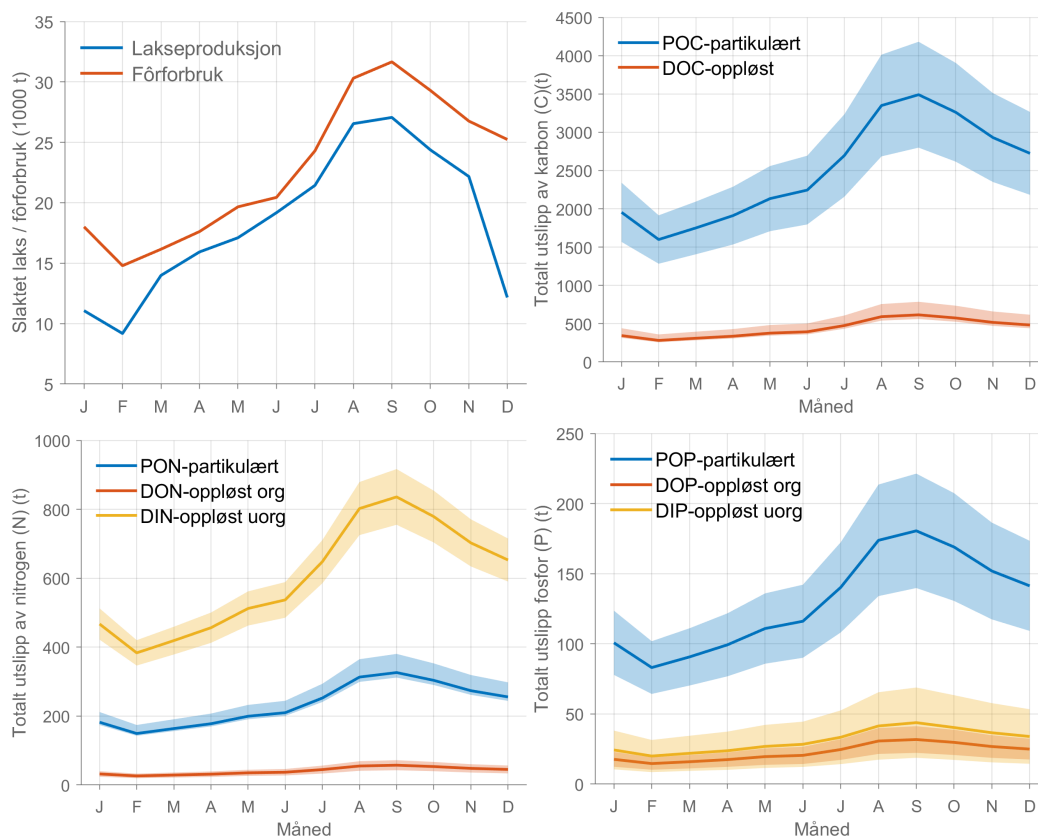


Figur 11: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 8: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 21360 | 26528 | 2724 | 480 | 255 | 653 | 45 | 141 | 34 | 25 |
| Sommer | Totalt | 28842 | 37594 | 3862 | 682 | 361 | 925 | 64 | 200 | 48 | 35 |
| Høst | Totalt | 17774 | 26635 | 2734 | 482 | 256 | 655 | 45 | 142 | 34 | 25 |
| Vinter | Totalt | 16037 | 19218 | 1975 | 349 | 185 | 473 | 33 | 102 | 25 | 18 |
| År | Indre | 48371 | 63319 | 6503 | 1147 | 608 | 1558 | 107 | 337 | 81 | 59 |
| | Ytre | 35642 | 46656 | 4792 | 845 | 448 | 1148 | 79 | 248 | 60 | 44 |
| | Totalt | 84013 | 109975 | 11295 | 1992 | 1055 | 2706 | 186 | 585 | 141 | 103 |

3.3.6 Produksjonsområde 6

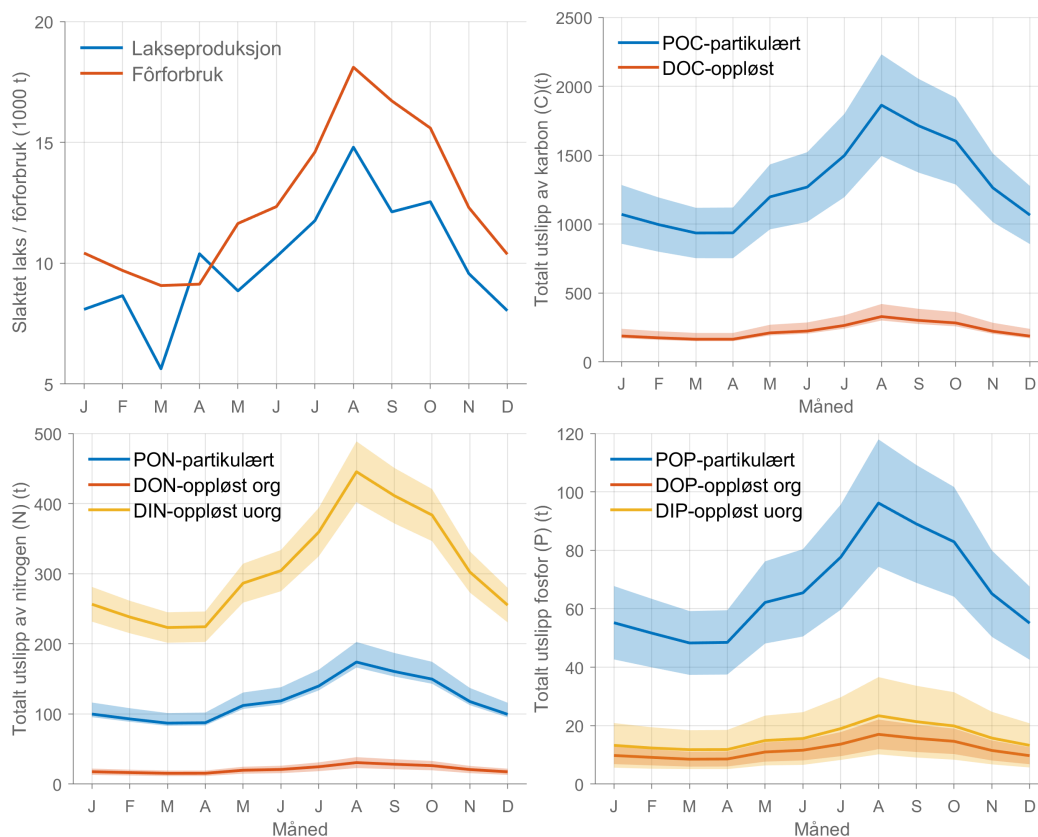


Figur 12: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 9: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 47025 | 56407 | 5795 | 1024 | 541 | 1387 | 96 | 301 | 73 | 53 |
| Sommer | Totalt | 67165 | 80758 | 8289 | 1463 | 775 | 1987 | 137 | 430 | 103 | 76 |
| Høst | Totalt | 73615 | 94097 | 9681 | 1708 | 904 | 2317 | 159 | 501 | 121 | 88 |
| Vinter | Totalt | 32420 | 61150 | 6277 | 1110 | 587 | 1503 | 104 | 325 | 78 | 57 |
| År | Indre | 57893 | 76870 | 7898 | 1394 | 738 | 1891 | 130 | 409 | 99 | 72 |
| | Ytre | 162332 | 215542 | 22145 | 3910 | 2069 | 5304 | 365 | 1148 | 276 | 202 |
| | Totalt | 220225 | 292412 | 30042 | 5304 | 2807 | 7195 | 495 | 1558 | 375 | 274 |

3.3.7 Produksjonsområde 7

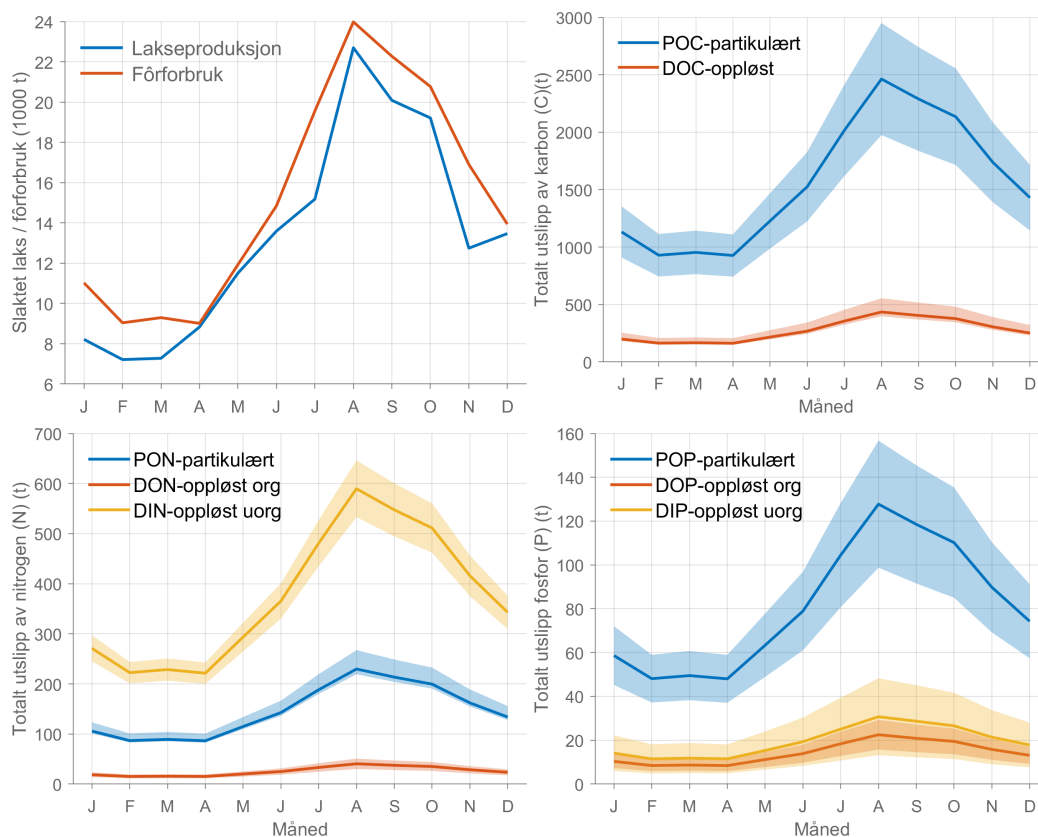


Figur 13: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 10: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 24876 | 29851 | 3071 | 542 | 287 | 734 | 51 | 159 | 39 | 28 |
| Sommer | Totalt | 36830 | 45051 | 4629 | 819 | 433 | 1109 | 76 | 239 | 58 | 42 |
| Høst | Totalt | 34237 | 44608 | 4579 | 808 | 428 | 1097 | 75 | 237 | 57 | 42 |
| Vinter | Totalt | 24780 | 30490 | 3133 | 552 | 292 | 750 | 52 | 162 | 39 | 29 |
| År | Indre | 47823 | 59420 | 6105 | 1078 | 570 | 1462 | 101 | 316 | 76 | 56 |
| | Ytre | 72900 | 90579 | 9307 | 1644 | 869 | 2228 | 153 | 481 | 116 | 85 |
| | Totalt | 120723 | 149999 | 15412 | 2722 | 1440 | 3690 | 254 | 797 | 192 | 141 |

3.3.8 Produksjonsområde 8

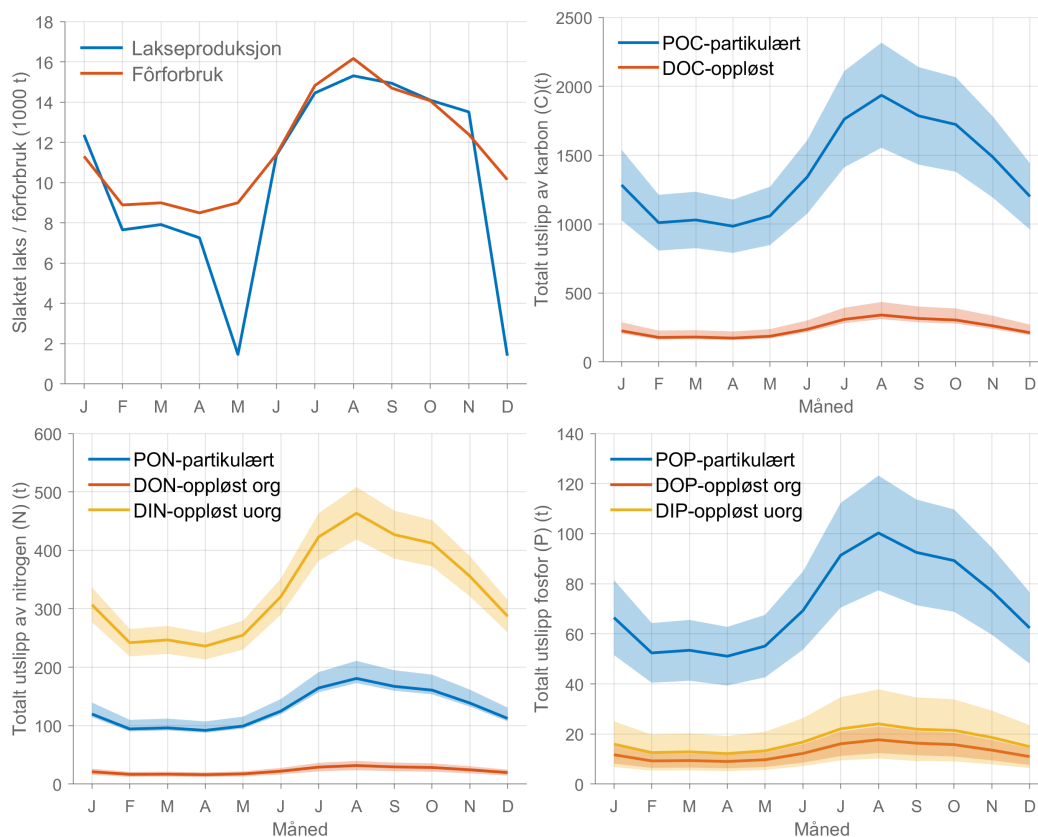


Figur 14: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 11: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 27618 | 30238 | 3109 | 548 | 291 | 744 | 51 | 161 | 39 | 28 |
| Sommer | Totalt | 51476 | 58392 | 6005 | 1060 | 561 | 1436 | 99 | 311 | 75 | 55 |
| Høst | Totalt | 52047 | 59951 | 6162 | 1089 | 575 | 1475 | 101 | 319 | 77 | 56 |
| Vinter | Totalt | 28901 | 34003 | 3492 | 616 | 327 | 836 | 58 | 181 | 43 | 32 |
| År | Indre | 60445 | 68959 | 7088 | 1251 | 662 | 1696 | 117 | 367 | 88 | 65 |
| | Ytre | 99597 | 113625 | 11680 | 2062 | 1091 | 2795 | 192 | 605 | 146 | 107 |
| | Totalt | 160043 | 182584 | 18768 | 3313 | 1753 | 4491 | 309 | 972 | 234 | 171 |

3.3.9 Produksjonsområde 9

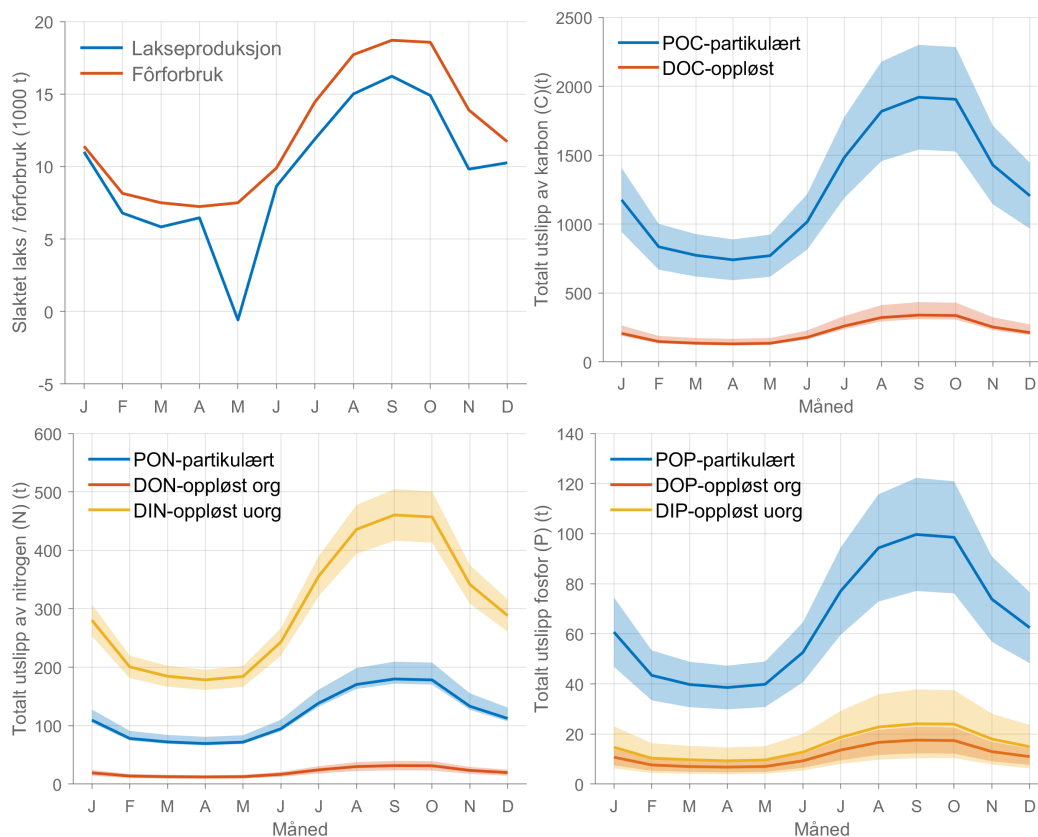


Figur 15: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 12: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 16648 | 29967 | 3075 | 542 | 287 | 738 | 51 | 160 | 38 | 28 |
| Sommer | Totalt | 41113 | 49055 | 5039 | 887 | 470 | 1207 | 83 | 261 | 63 | 46 |
| Høst | Totalt | 42536 | 48590 | 4994 | 882 | 467 | 1195 | 82 | 259 | 62 | 46 |
| Vinter | Totalt | 21435 | 33979 | 3495 | 617 | 327 | 836 | 58 | 181 | 43 | 32 |
| År | Indre | 86830 | 115259 | 11843 | 2088 | 1106 | 2836 | 195 | 614 | 147 | 108 |
| | Ytre | 34903 | 46331 | 4761 | 839 | 445 | 1140 | 78 | 247 | 59 | 44 |
| | Totalt | 121733 | 161590 | 16604 | 2928 | 1551 | 3976 | 273 | 860 | 207 | 152 |

3.3.10 Produksjonsområde 10

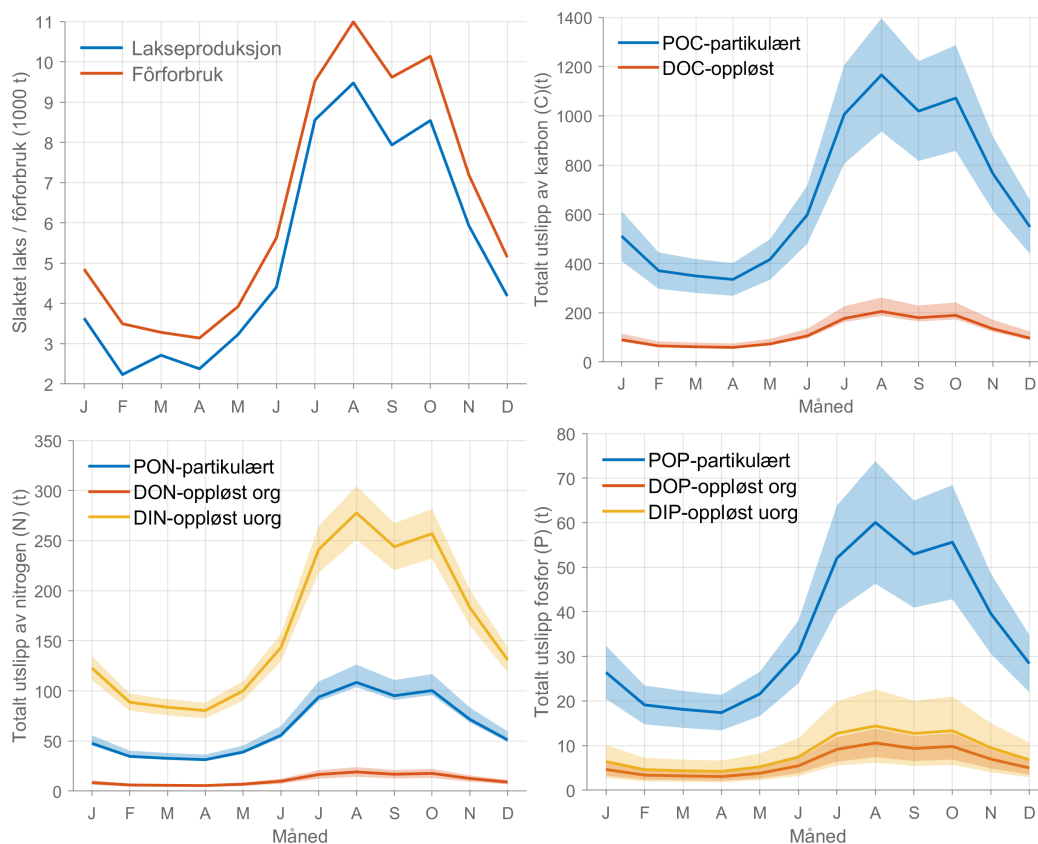


Figur 16: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 13: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 11720 | 22240 | 2287 | 404 | 213 | 547 | 38 | 118 | 29 | 21 |
| Sommer | Totalt | 35543 | 42066 | 4319 | 763 | 404 | 1035 | 71 | 224 | 54 | 40 |
| Høst | Totalt | 40946 | 51175 | 5255 | 931 | 491 | 1259 | 87 | 272 | 66 | 48 |
| Vinter | Totalt | 28059 | 31265 | 3217 | 569 | 300 | 769 | 53 | 167 | 40 | 29 |
| År | Indre | 61098 | 77113 | 7923 | 1401 | 740 | 1897 | 130 | 410 | 99 | 72 |
| | Ytre | 55171 | 69633 | 7154 | 1265 | 668 | 1713 | 118 | 370 | 90 | 65 |
| | Totalt | 116269 | 146746 | 15077 | 2666 | 1409 | 3610 | 248 | 781 | 189 | 138 |

3.3.11 Produksjonsområde 11

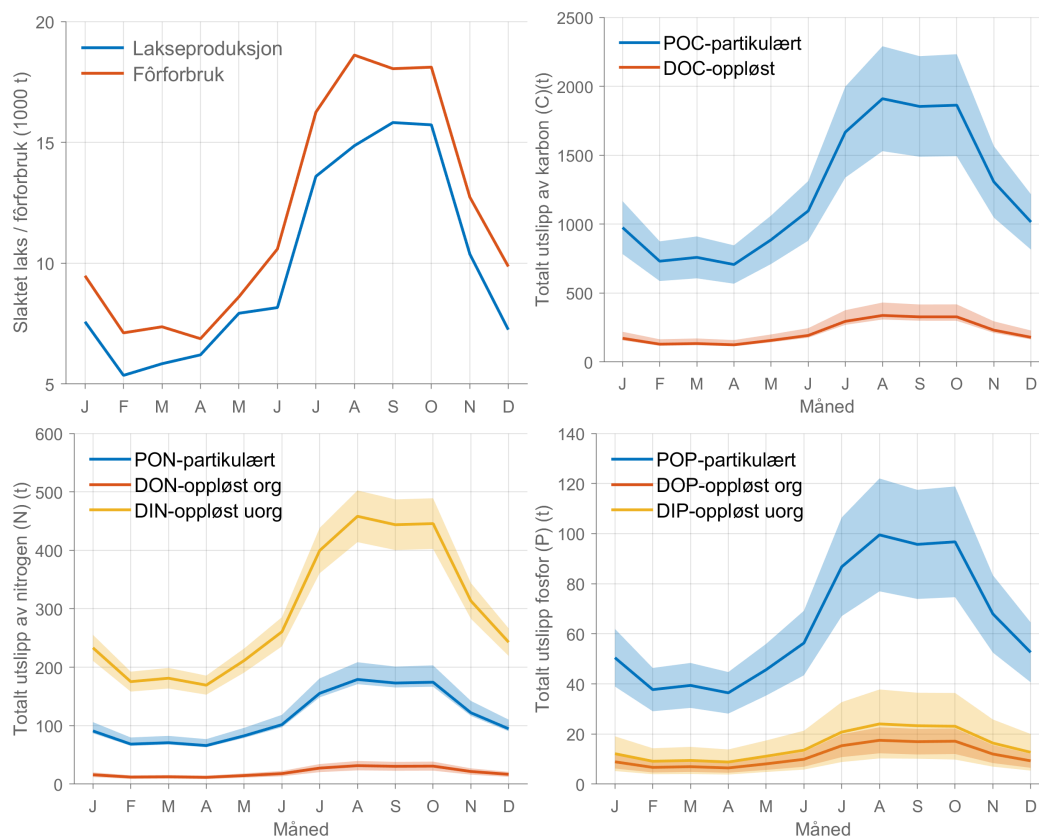


Figur 17: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 14: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 8321 | 10743 | 1101 | 194 | 103 | 264 | 18 | 57 | 14 | 10 |
| Sommer | Totalt | 22437 | 26903 | 2771 | 488 | 258 | 662 | 46 | 143 | 35 | 25 |
| Høst | Totalt | 22411 | 27796 | 2856 | 504 | 267 | 684 | 47 | 148 | 36 | 26 |
| Vinter | Totalt | 10055 | 13911 | 1431 | 253 | 133 | 342 | 24 | 74 | 18 | 13 |
| År | Indre | 35004 | 43935 | 4518 | 797 | 422 | 1081 | 74 | 234 | 56 | 41 |
| | Ytre | 28220 | 35419 | 3642 | 642 | 340 | 872 | 60 | 189 | 45 | 33 |
| | Totalt | 63224 | 79354 | 8159 | 1439 | 762 | 1953 | 135 | 422 | 102 | 75 |

3.3.12 Produksjonsområde 12

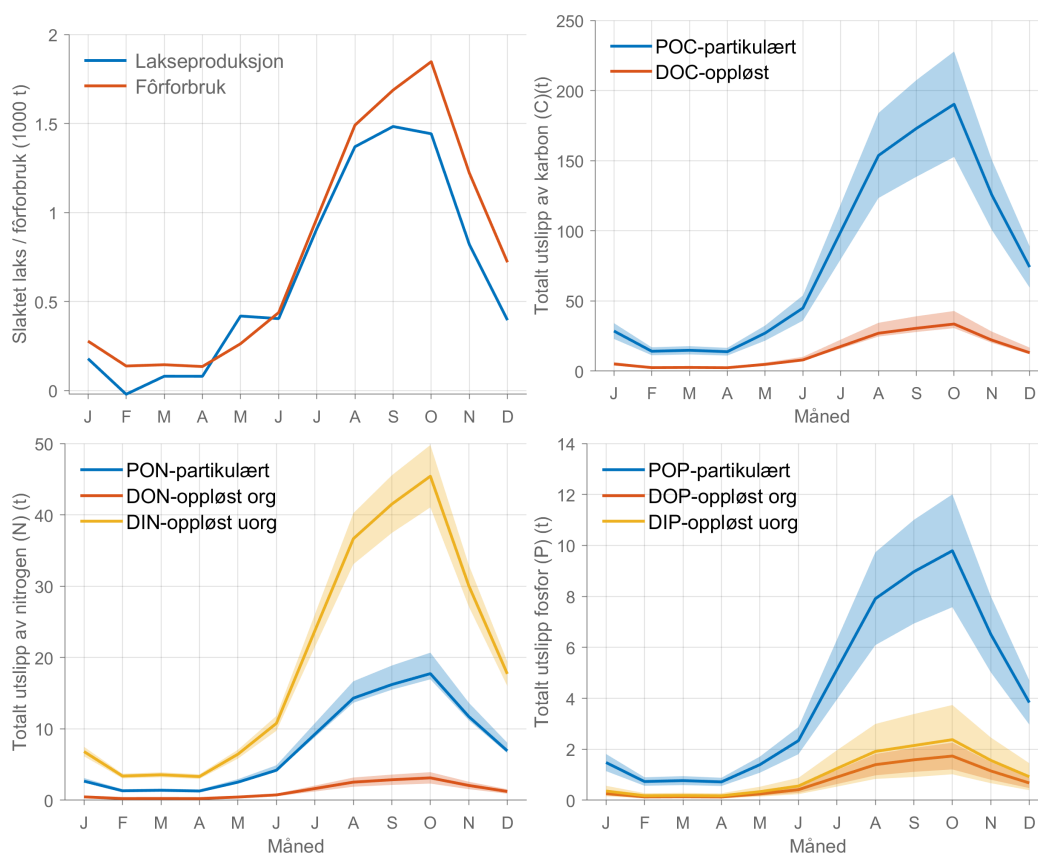


Figur 18: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 15: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|------|-----------|------|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 19976 | 22856 | 2353 | 415 | 219 | 562 | 39 | 122 | 29 | 21 |
| Sommer | Totalt | 36619 | 45450 | 4674 | 826 | 436 | 1119 | 77 | 243 | 58 | 43 |
| Høst | Totalt | 41920 | 48893 | 5023 | 886 | 469 | 1203 | 83 | 260 | 63 | 46 |
| Vinter | Totalt | 20183 | 26460 | 2722 | 481 | 254 | 651 | 45 | 141 | 34 | 25 |
| År | Indre | 81674 | 98848 | 10163 | 1794 | 949 | 2432 | 167 | 527 | 127 | 93 |
| | Ytre | 37025 | 44811 | 4607 | 813 | 430 | 1103 | 76 | 239 | 58 | 42 |
| | Totalt | 118699 | 143659 | 14771 | 2608 | 1379 | 3535 | 243 | 765 | 184 | 135 |

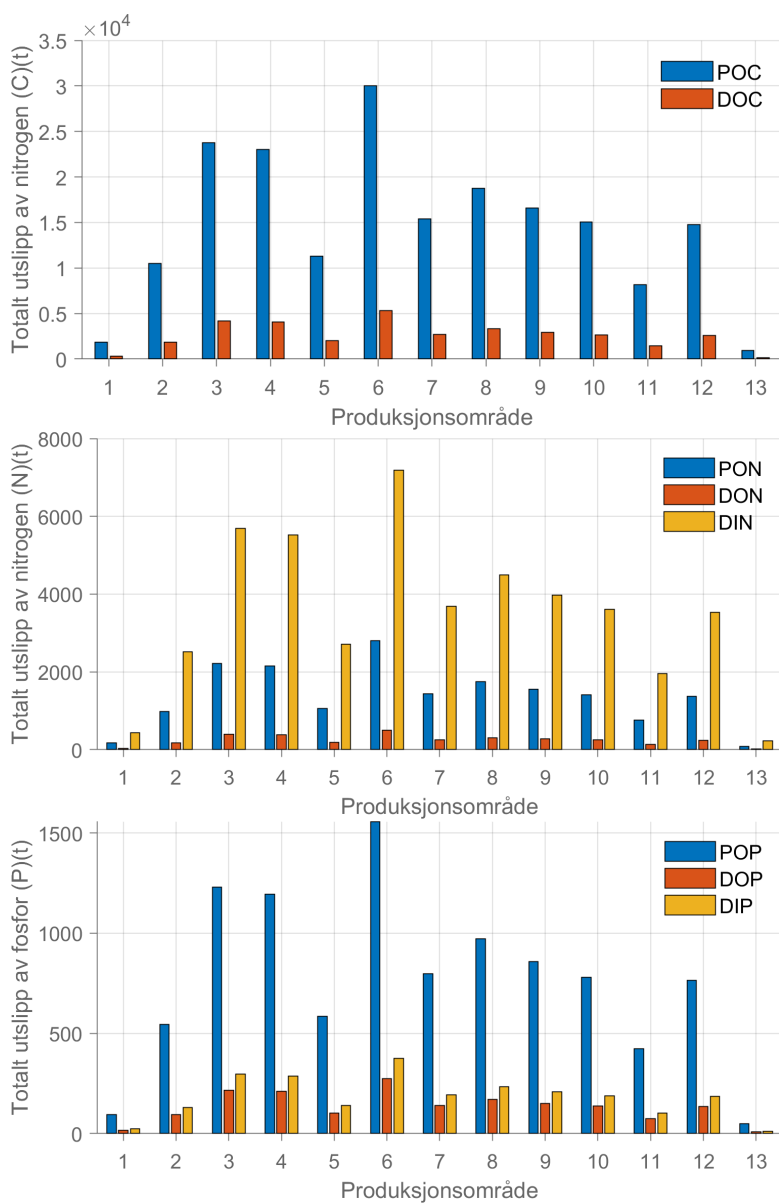
3.3.13 Produksjonsområde 13



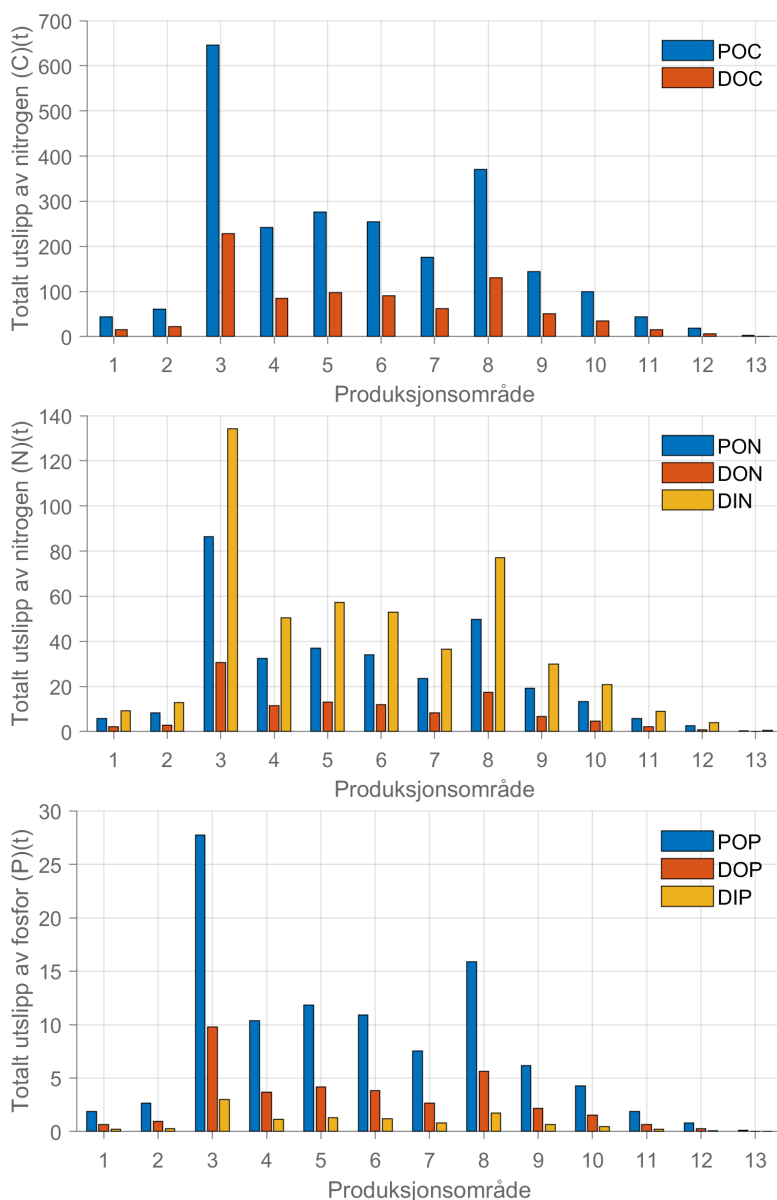
Figur 19: Øverst til venstre: Produksjon av laks og regnbueørret (blå linje) og fôrforbruk (rød linje) i hele produksjonsområdet i 2019. Øverst til høyre: utslipp av karbon (t). Nederst til venstre: utslipp av nitrogen (t). Nederst til høyre: utslipp av fosfor (t). De skyggelagte feltene viser standardavviket i tallene basert på 10 000 beregninger av utslippet med pseudo-tilfeldig utvalg av parametre fra tabell 1.

Tabell 16: Fordeling av produksjon, fôrforbruk og utslipp over sesonger og indre/ytre anlegg. Alle tall er oppgitt i tonn av det relevante grunnstoffet.

| Periode | Region | Produksjon | Fôrforbruk | C-utslipp | | N-utslipp | | | P-utslipp | | |
|---------|--------|------------|------------|-----------|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | | | | POC | DOC | PON | DIN | DON | POP | DIP | DOP |
| Vår | Totalt | 578 | 542 | 56 | 10 | 5 | 13 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Sommer | Totalt | 2682 | 2895 | 298 | 53 | 28 | 71 | 5 | 15 | 4 | 3 |
| Høst | Totalt | 3746 | 4756 | 489 | 86 | 46 | 117 | 8 | 25 | 6 | 4 |
| Vinter | Totalt | 553 | 1136 | 117 | 21 | 11 | 28 | 2 | 6 | 1 | 1 |
| År | Indre | 7560 | 9330 | 959 | 169 | 90 | 229 | 16 | 50 | 12 | 9 |
| | Ytre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Totalt | 7560 | 9330 | 959 | 169 | 90 | 229 | 16 | 50 | 12 | 9 |



Figur 20: Utslipp av karbon (øverst), nitrogen (i midten) og fosfor (nederst) fra matfiskproduksjon til sjø for hvert produksjonsområde gjennom hele 2019.



Figur 21: Utslipp av karbon (øverst), nitrogen (i midten) og fosfor (nederst) fra settefiskproduksjon til sjø for hvert produksjonsområde. Det er antatt rensing av faststoffet på 50 %.

3.4 Sammenligning av havbruksutslipp med andre kilder

3.4.1 Antropogene utslipp

Det er TEOTIL-rapportene fra NIVA som er standarden for antropogene utslipp av fosfor og nitrogen til norske kystområder (Selvik and Sample, 2018). Vi sammenligner tallene for hele Norge siden TEOTIL-tallene oppgis som utslipp per vannregion eller forvaltningsplanområde og ikke produksjonsområder for laks.

Dersom utslippet av fosfor fra norsk havbruk i 2019 var på 14 000 t (tabell 2) og de antropogene utslippene for øvrig var som i 2017 (Selvik and Sample, 2018), ville fosforutslippene fra havbruk utgjøre nesten 86 % av de antropogene fosforutslippene og rundt 81 % av de totale utslippene til kystfarvannene. Ved et utslipp på 66 000 tonn nitrogen fra norsk akvakultur, blir de tilsvarende tallene for nitrogen 58 % og 35 %.

Fra 1990 til i dag har nitrogenutslippene fra jordbruk til norske kystområder økt fra ca 25 000 tonn per år til 29 000 tonn per år. For havbruk er det nesten en nidobling fra 7431 tonn nitrogen per år i 1990 til 66 000

Tabell 17: Sammenligning av netto tilførsel av oppløst uorganisk nitrogen (DIN) til fire produksjonsområder i løpet av et år. Tallene er oppgitt i tonn nitrogen.

| Område | PO2 | PO3 | PO6 | PO9 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Naturlig tilførsel | 15 000 | 32 000 | 74 000 | 70 000 |
| Tilførsel fra havbruk | 2500 | 5700 | 7200 | 4000 |

tonn i dag (Selvik and Sample, 2018). Det er ingen klar trend i de øvrige antropogene utslippene.

3.4.2 Naturlige næringsalter i havet

Utslippene fra havbruksnæringen må sees i sammenheng med den naturlige tilgangen på oppløste næringsalter i havet. Her ser vi på nitrogen, som regnes som begrensende for primærproduksjonen hos planktonalger langs norskekysten. Hovedsakelig opptrer oppløst uorganisk nitrogen i havet som nitrat (NO_3^-). Ammonium (NH_4^+ , evt ammoniakk NH_3) er et resultat av respirasjon og metabolisme. Over tid blir ammonium remineralisert til nitritt (NO_2^-) og nitrat, og man finner normalt ikke høye ammoniumkonsentrasjoner i havet bortsett fra i nærheten av en kilde. Se for øvrig avsnitt 3.5 nedenfor.

De naturlige næringsaltkonsentrasjonene langs norskekysten følger, i grove trekk, årstidene (Sætre, 2007). De er høyest rett før våroppblomstringen av planktonalger begynner sent på vinteren/tidlig om våren og lavest sent på våren/om sommeren. Når oppblomstringen begynner avhenger av temperatur, lysintensitet i og lagdeling av vannmassene.

Modellresultatene fra SINMOD (se avsnitt 2.3) antyder at netto tilførsel av oppløst næringsalt (nitrat-N) til de øvre 30 m av vannsøylen i hvert av produksjonsområdene er på 15 000 til 75 000 tonn per sesong. De øverste 30 m er der man kan forvente at størstedelen av primærproduksjonen finner sted. Dette er også sonen der utslippene fra havbruk tilkommer. Netto tilførsel er her regnet som differansen mellom den maksimale og den minimale totalmengden nitrat i et område. Dette er den mengden oppløst nitrogen som er tilgjengelig ved begynnelsen av våroppblomstringen, og det tilføres og omsettes i tillegg store mengder i løpet av året. Tallene varierer med områdenes sjøareal, men også fysiske forhold som i hvor stor grad det er vertikal oppblanding av dypereliggende, næringsrikt vann. Som eksempler har vi sammenlignet to av områdene med lavest tilførsel av naturlige næringsalter med to av områdene med høyest tilførsel i tabell 17.

3.5 Spredning, fortykning og deponering av utslipp

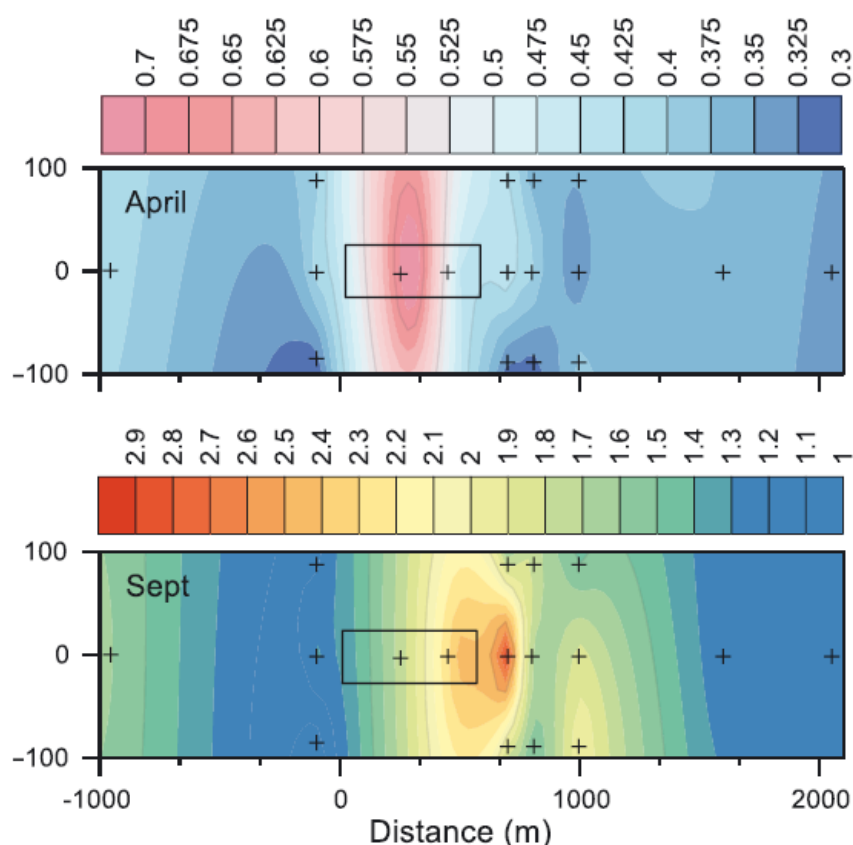
Både fysiske forhold, som strøm og temperatur, og andre miljøbetingelser, som plankton- og næringsaltkonsentrasjon, varierer ganske mye fra ett anlegg et annet. Derfor krever en *grundig* vurdering av spredning og deponering av utslipp en detaljert vurdering for hvert enkelt anlegg. Det har ikke vært en del av oppdraget å gjøre dette. Her peker vi på noen av de generelle prosessene som spiller inn og noe av bakgrunnen for hvordan disse kan vurderes.

3.5.1 Oppløste næringsalter

Det er hovedsakelig to prosesser som bestemmer konsentrasjonen av oppløste næringsaltutslipp til sjø:

- fysisk fortykning (adveksjon og diffusjon),
- biologisk opptak i planteplankton.

Opptak i planteplankton skjer relativt fort, men avhengig av planktonalgenes næringsstatus kan det ta flere dager før selve primærproduksjonen blir realisert (Olsen et al., 2014). Sesongen er selvsagt også av betydning. Om vinteren vil det være lavere opptak av næringsalter, og den fysiske fortykningen har relativt større betydning. Selve anleggstrukturene, og fisken, kan også ha betydning for strømf forholdene og dermed spredningen og konsentrasjonene av utslippene (Wu et al., 2014; Broch et al., 2020).



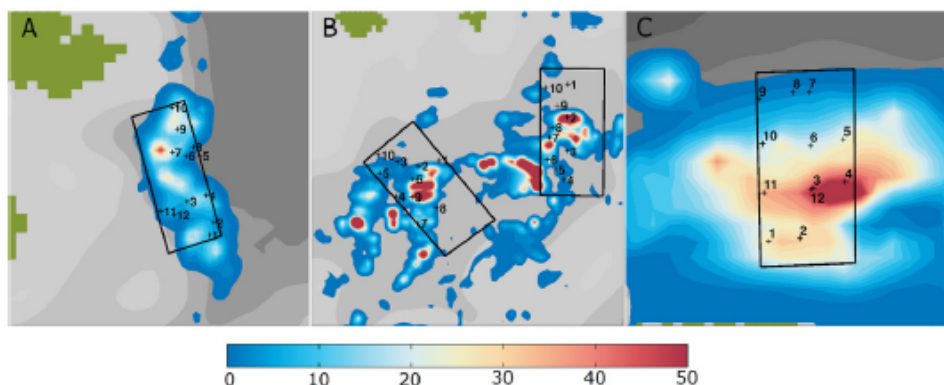
Figur 22: Denne figuren er tatt uten endring fra Jansen et al. Jansen et al. (2018). Fargene viser målte, dybdeintegreerte konsentrasjoner av ammonium-nitrogen rundt et oppdrettsanlegg på Vestlandet (folkelig betydning). Konsentrasjonene er målt i punktene merket "+", og resten av verdiene er interpolert fra disse ved hjelp av en Kriging-algoritme

Målinger av oppløste næringssalter i og i nærheten norske matfiskanlegg antyder at når en flytter seg et par anleggslengder bort fra utslippet/anlegget er ikke konsentrasjonene betydelig høyere enn bakgrunnskonsentrasjonene (figur 22). Det er ikke dermed sagt at utslippene ikke har noen miljøeffekt, men det er ikke lett å bruke næringssaltkonsentrasjoner isolert sett som mål for miljøpåvirkning (Olsen et al., 2014). Modellsimuleringer antyder mye det samme (Knutsen and Broch, 2014; Jansen et al., 2018).

3.5.2 Partikulært material

Utslipp av partikulært, organisk material fra fiskeoppdrett blir forvaltet i større grad enn oppløste næringssalter. Dette skjer gjennom MOM-systemet (Hansen et al., 2001; Stigebrandt et al., 2004). Det er først og fremst feltundersøkelser som danner grunnlaget for dette. Som med oppløste næringssalter blir spredningen av partikulært material påvirket av lokale hydrodynamiske forhold ved hvert enkelt anlegg. Videre spiller tilstanden til materialet som slippes ut en rolle. Fint førstøv eller fine fekaliepartikler spres potensielt lengre enn større partikler. Tettheten til partiklene har også betydning. Selve sammensetningen av fekalie har betydning for hvordan de legger seg på bunnen og hvor mye som skal til før de blir oppvirvlet. Endelig har tilstanden til det benthiske økosystemet betydning for hvor raskt og i hvilken grad materialet blir nedbrutt.

Det er umulig å få en god forståelse for spredning av organisk material fra havbruksanlegg uten bruk av en eller annen form for numerisk modell. Ulike numeriske modeller er delvis implementert i forvaltningssystemer og bransjestandarder for organisk belastning ved oppdrett, som for eksempel ASC-standard (https://www.asc-



Figur 23: Denne figuren er tatt uten endring fra Broch et al. (2017). Fargene viser simulert sedimenttykkelse i mm under tre oppdrettsanlegg med ulike strømforhold. Anlegg B har relativt sterk strøm, spesielt bunnstrøm, mens anlegg C er en fjordlokalitet med større bunn dyp og svakere strøm. Oppvirvling av material fører til den mer flekkvise fordeling ved anlegg B enn ved anlegg A og C.

aqua.org/) som krever bruk av en “troverdig” numerisk modell til å estimere det organiske fotavtrykket til et anlegg. DEPOMOD er et mye brukt eksempel (Cromey et al., 2002). GIS-baserte modellverktøy (Corner et al., 2006) har også blitt brukt. Disse modellene tar høyde for lokale forskjeller i strømbildet i varierende grad. Simuleringsstudier har pekt på at det kan være viktig å ta hensyn til lokale romlige variasjoner i strømforholdene (Broch et al., 2017). Prosesser som resuspensjon/oppvirvling av material kan føre til opphopning enkelte steder (figur 23). Det er ikke alle modeller som tar hensyn til dette. Likevel er det, som man burde forvente, en god del fellestrekk ved resultatene fra ulike modeller og tilnærminger (Sandberg and Hagen, 2019). I grove trekk kan man anta at det aller meste av det organiske materialet fra et oppdrettsanlegg legger seg på bunnen innen anlegget, eller i det minste innen et par anleggsdiametre fra utslippet. Deler av materialet kan imidlertid spres ganske langt (noen kilometer) (Broch et al., 2017; Woodcock et al., 2018).

3.6 Usikkerhet og sensitivitet

De fleste av utslippstallene er presenterert med et mål for usikkerhet (standardavvik). Dette er ikke på noen måte et absolutt mål for alle usikkerheter, men forteller litt om hvordan resultatene varierer med ulike valg av viktige parametre som fôrspill, fôrsammensetning, fordøyelighet og så videre.

Når tar hensyn til økningen i totalproduksjonen de siste årene, stemmer utslippstallene i denne rapporten godt overens med tidligere arbeider (Wang et al., 2012; Torrisen et al., 2016; Aas and Åsgård, 2017; Selvik and Sample, 2018). Forskjellene i beregningene av fosforutslippene ser ut til å være størst. Dette kan antagelig tilskrives variasjonen i fosforinnholdet i fôret og fordøyeligheten av fosforkomponenter.

Utslippene er påvirket noe av at vi kun har tatt hensyn til laks og regnbueørret. Disse fiskeslagene utgjør imidlertid det meste av havbruksproduksjonen, og bidragene fra andre arter har liten betydning for utslipp i et regionalt og nasjonalt perspektiv. Dette betyr imidlertid ikke at lokale utslipp fra produksjon av andre arter ikke kan ha betydning som potensielt miljøproblem eller ressurs. Dette må vurderes for hvert enkelt anlegg og hver art for seg.

3.7 Kunnskapsbehov

Her oppsummeres noen temaer der det er behov for videre kunnskap med tanke på beregning av miljøeffekter og bruk av utslipp fra akvakulturproduksjon i Norge.

- Hvilken form er karbonet, nitrogenet og fosforet bundet opp i, spesielt i fekalier? Dette har betydning for utnyttelse av utslippene til annen bioproduksjon.

- Det er også relevant å se nærmere spesielt på fosforbudsjettet i akvakulturproduksjonen.
- Hvordan er utslippene fra enkeltanlegg knyttet til lokalitetstypen (indre, ytre)?
- Hva kan man si mer detaljert om utslipp fra havbaserte anlegg?
- Det er mangelfullt offentlig datamateriale tilgjengelig om renseeffektivitet i settefiskanlegg.
- Det er mangelfull informasjon om størrelse, biomasse og fôrforbruk i settefiskanlegg.

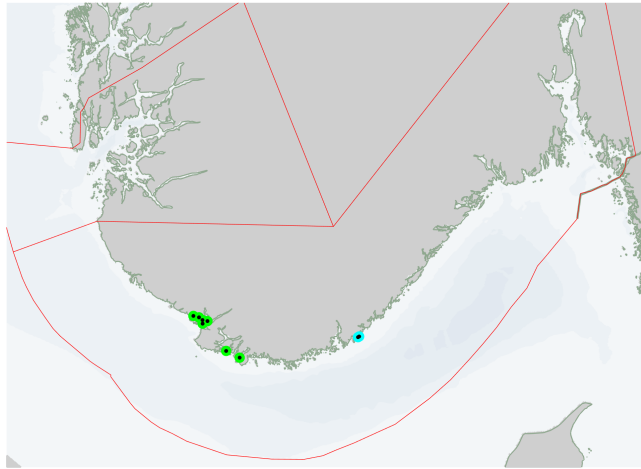
Referanser

- T. Aas and T. Åsgård. Estimert innhold av næringsstoff og energi i fôrspill og faeces fra norsk lakseoppdrett. Technical report, Nofima, 2017.
- T. Aas, H. J. Sixten, H. M., H. Ytrestøyl, T. ad Sveier, and T. Åsgård. Feed intake and nutrient digestibility and retention in Atlantic salmon fed diets with different physical pellet quality. Technical Report 35/2015, NOFIMA, 2015.
- T. S. Aas, T. Ytrestøyl, and T. Åsgård. Utilization of feed resources in the production of atlantic salmon (*salmo salar*) in norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports*, 15: 100216, 2019. ISSN 2352-5134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100216>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235251341930256X>.
- B. Ådlandsvik. Forslag til produksjonsområder i norsk lakse- og ørretproduksjon. Technical Report Rapport fra Havforskningen 20-2015, Havforskningsinstituttet, 2015.
- O. J. Broch, R. L. Daae, I. H. Ellingsen, R. Nepstad, E. Å. Bendiksen, J. L. Reed, and G. Senneset. Spatiotemporal Dispersal and Deposition of Fish Farm Wastes: A Model Study from Central Norway. *Front. Mar. Sci.*, 4:199, 2017.
- O. J. Broch, M. O. Alver, T. Bekkby, H. Gundersen, S. Forbord, A. Handå, J. Skjeremo, and K. Hancke. The kelp cultivation potential in coastal and offshore regions of norway. *Frontiers in Marine Science*, 5:529, 2019. ISSN 2296-7745. doi: 10.3389/fmars.2018.00529. URL <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2018.00529>.
- O. J. Broch, P. Klebert, F. A. Michelsen, and M. O. Alver. Multiscale modelling of cage effects on the transport of effluents from open aquaculture systems. *PLoS ONE*, 15(3):e0228502, 2020.
- R. Corner, A. Brooker, T. Telfer, and L. Ross. A fully integrated gis-based model of particulate waste distribution from marine fish-cage sites. *Aquaculture*, 258(1):299 – 311, 2006. ISSN 0044-8486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.036>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848606002250>.
- C. J. Cromey, T. D. Nickell, and K. D. Black. Depomod—modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214(1):211 – 239, 2002. ISSN 0044-8486. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00368-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00368-X). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484860200368X>.
- Fiskeridirektoratet. Fiskeridirektoratet - akvakulturstatistikk. <http://www.fiskeridir.no/English/Aquaculture/Statistics>, 2020. Lastet ned 11.02.2020.

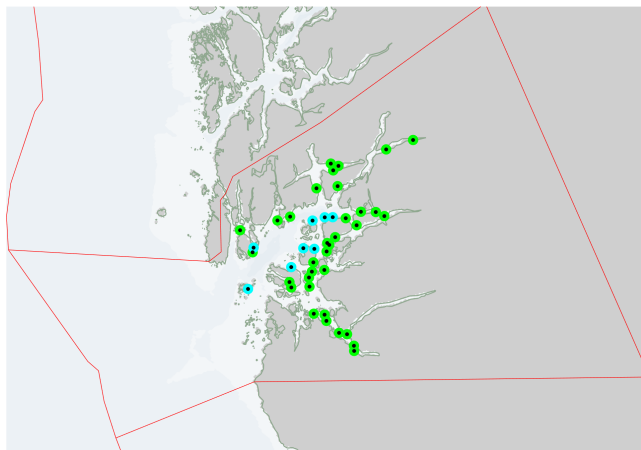
- M. Føre, M. Alver, J. A. Alfredsen, G. Marafioti, G. Senneset, J. Birkevold, F. V. Willumsen, G. Lange, Åsa Espmark, and B. F. Terjesen. Modelling growth performance and feeding behaviour of atlantic salmon (*salmo salar* L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments. *Aquaculture*, 464:268 – 278, 2016. ISSN 0044-8486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.045>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848616303490>.
- D. Gu. Mass balance approach for calculating discharge from aquaculture production system. Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, 2019.
- P. K. Hansen, A. Ervik, M. Scaanning, P. Johannesen, J. Aure, and T. e. a. Jahnsen. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: II. The monitoring programme of the MOM system (modelling-ongrowing fish farms-monitoring). *Aquaculture*, 194:75–92, 2001.
- Ø. Hilmarsen, E. A. Holte, H. Brendeløkken, R. Høyli, and E. S. Hognes. Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks - matfisk og ost-smolt. Technical Report OC2018 A-033, SINTEF Ocean, 2018.
- H. M. Jansen, O. J. Broch, R. Bannister, P. C. and. A. Handå, V. Husa, Z. Jiang, T. Strohmeier, and Ø. Strand. Spatio-temporal dynamics in the dissolved nutrient waste plume from Norwegian salmon cage aquaculture. *Aquacult. Environ. Interact.*, pages 385–399, 2018.
- Ø. Knutsen and O. J. Broch. Miljødokumentasjon nordmøre: Utslipp av næringsalter og agens i en økosystemmodell. In A. K. Woll, editor, *Miljødokumentasjon Nordmøre - samlingsrapport*. Møreforskning, 2014.
- Y. Olsen, H. Reinertsen, U. Sommer, and O. Vadstein. Responses of biological and chemical components in north east atlantic coastal water to experimental nitrogen and phosphorus addition – a full scale ecosystem study and its relevance for management. *Science of The Total Environment*, 473-474:262 – 274, 2014. ISSN 0048-9697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.028>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713014824>.
- G. K. Reid, M. Liutkus, S. M. C. Robinson, T. R. Chopin, T. Blair, T. Lander, J. Mulen, F. Page, and R. D. Moccia. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research*, 40(3):257–273, 2009. doi: 10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x>.
- T. Rosten. Karakterisering av avløpscann fra norske landbaserte settefiskanlegg. *Vann*, (3):267–277, 2015.
- R. Sætre, editor. *The Norwegian Coastal Current*. Tapir academic press, 2007.
- M. C. Sandberg and L. Hagen. Bunnpåvirkning fra marine matfiskanlegg: Modellberegninger av geografisk omfang og biologiske konsekvenser. Technical Report Report no. 339-12-19, Aqua Kompetanse, 2019. FHF project no 901322.
- J. R. Selvik and J. E. Sample. Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2016 - tabeller, figurer og kart. Technical Report 7205-2017, NIVA, 2017.
- J. R. Selvik and J. E. Sample. Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2017 - tabeller, figurer og kart. Technical Report 7312-2018, NIVA, 2018.
- A. Stigebrandt, J. Aure, A. Ervik, and P. K. Hansen. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming: Iii. a model for estimation of the holding capacity in the modelling-ongrowing fish farm-monitoring system. *Aquaculture*, 234(1):239 – 261, 2004. ISSN 0044-8486. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.029>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848603008007>.

- O. Torrisen, P. K. Hansen, J. Aure, V. Husa, T. Strohmeier, and R. E. Olsen. Næringsutslipp fra havbruk - nasjonale og regionale perspektiv. Technical Report Rapport fra Havforskningen 21-2016, Havforskningsinstituttet, 2016.
- X. Wang, L. M. Olsen, K. I. Reitan, and Y. Olsen. Emission of nutrient wastes from norwegian salmon aquaculture: nutrient loading of receiving waters and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult. Environ. Interact.*, 2:267–283, 2012.
- X. Wang, K. Andresen, A. Handå, B. Jensen, K. I. Reitan, and Y. Olsen. Chemical composition and release rate of waste discharge from an Atlantic salmon farm with an evaluation if IMTA feasibility. *Aquacult Environ Interact.*, 4:147–162, 2013.
- P. Wassmann, D. Slagstad, C. W. Riser, and M. Reigstad. Modelling the ecosystem dynamics of the Barents Sea including the marginal ice zone II. Carbon flux and interannual variability. *J. Mar. Sys.*, 59:1–24, 2006.
- S. Woodcock, T. Strohmeier, Ø. Strand, S. Olsen, and R. Bannister. Mobile epibenthic fauna consume organic waste from coastal fin-fish aquaculture. *Marine Environmental Research*, 137:16 – 23, 2018. ISSN 0141-1136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.02.017>.
- Y. Wu, J. Chaffey, B. Law, D. A. Greenberg, A. Deozdowski, F. Page, and S. Haigh. A three-dimensional hydrodynamical model for aquaculture: a case study in the Bay of Fundy. *Aquacult. Environ. Interact.*, 5: 235–248, 2014.

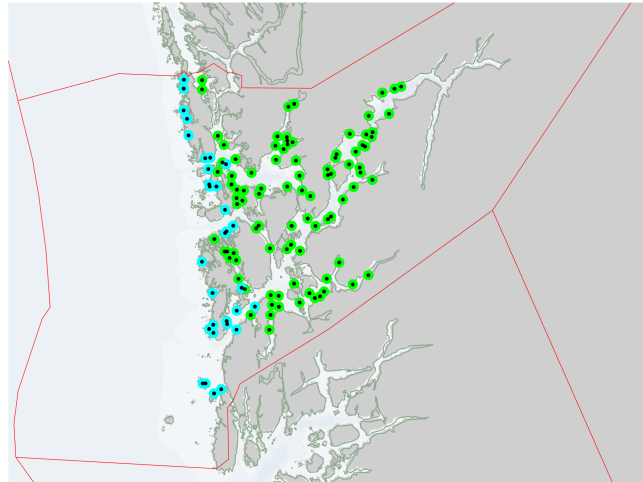
Appendix A. Geografisk fordeling av indre og ytre anlegg



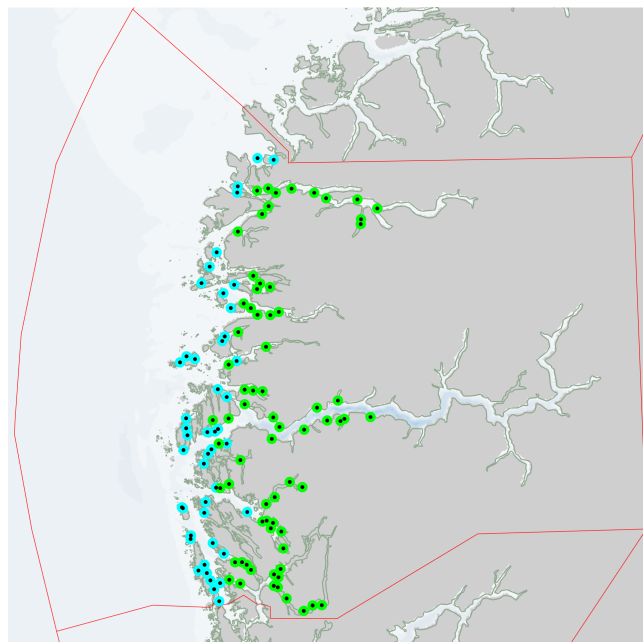
Figur 24: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO1 i 2019.



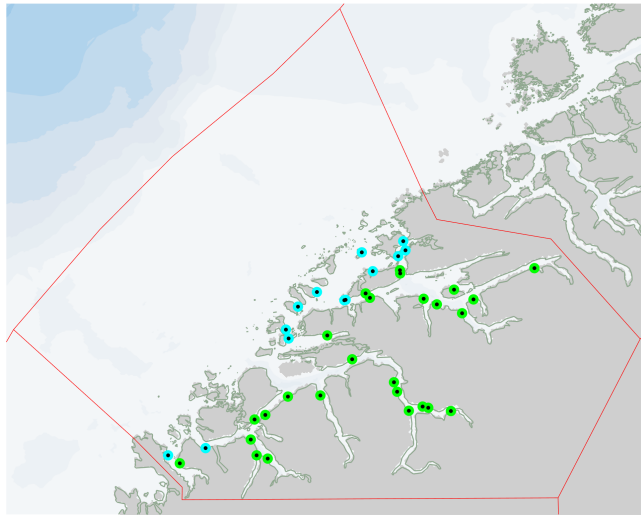
Figur 25: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO2 i 2019.



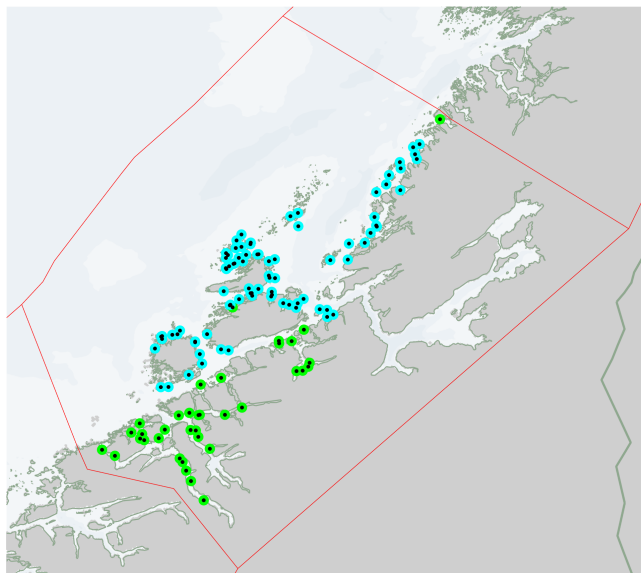
Figur 26: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO3 i 2019.



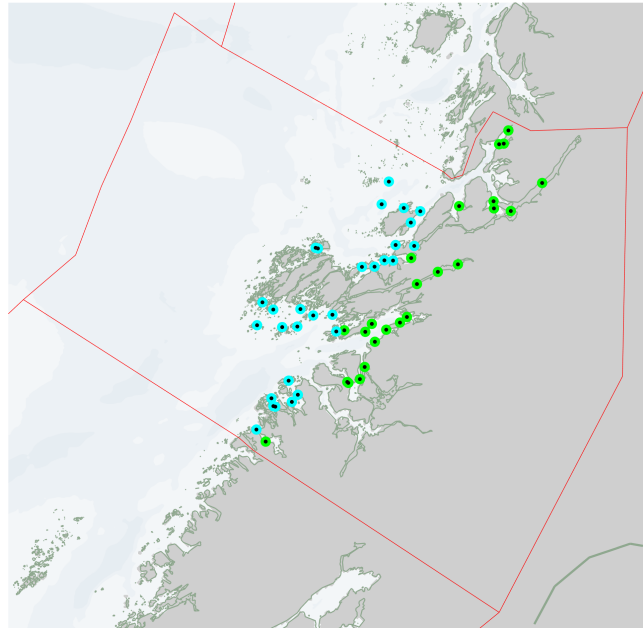
Figur 27: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO4 i 2019.



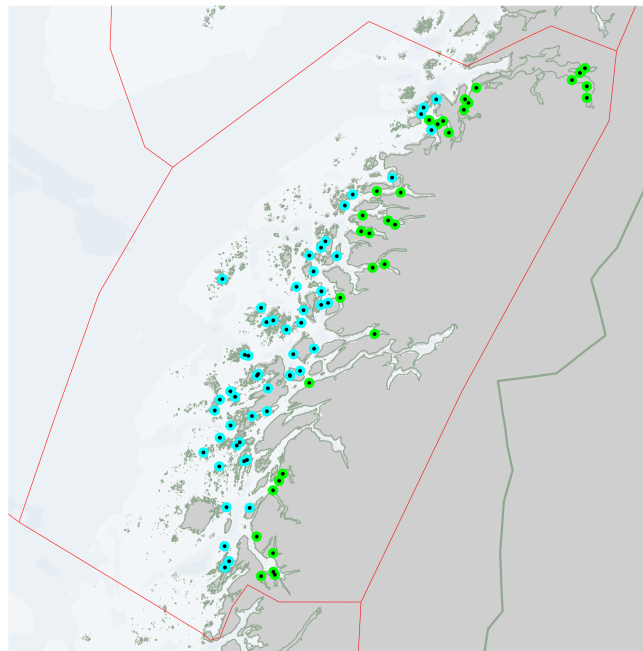
Figur 28: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO5 i 2019.



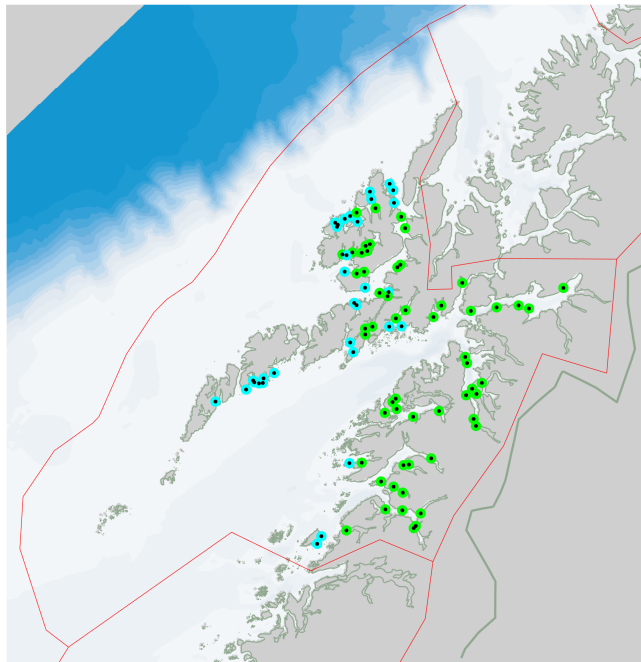
Figur 29: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO6 i 2019.



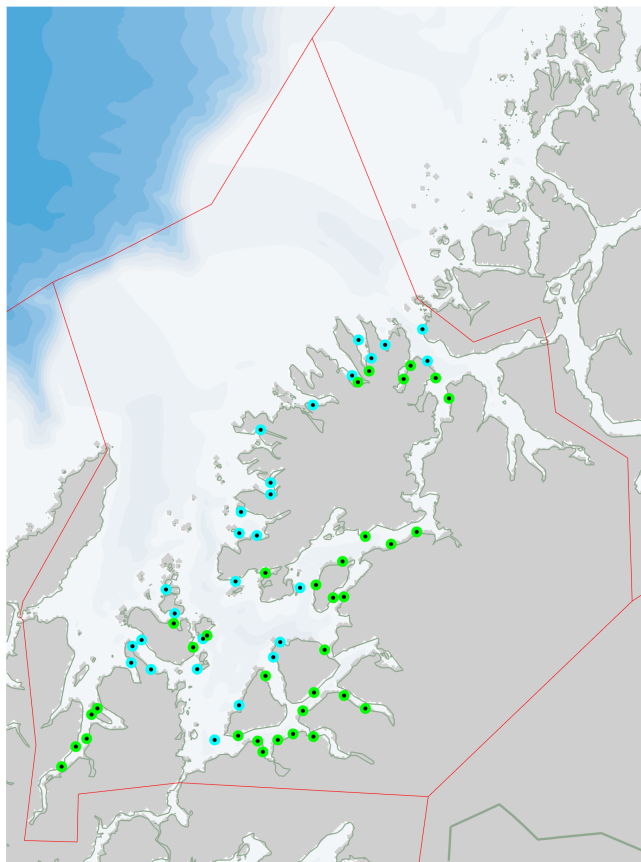
Figur 30: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO7 i 2019.



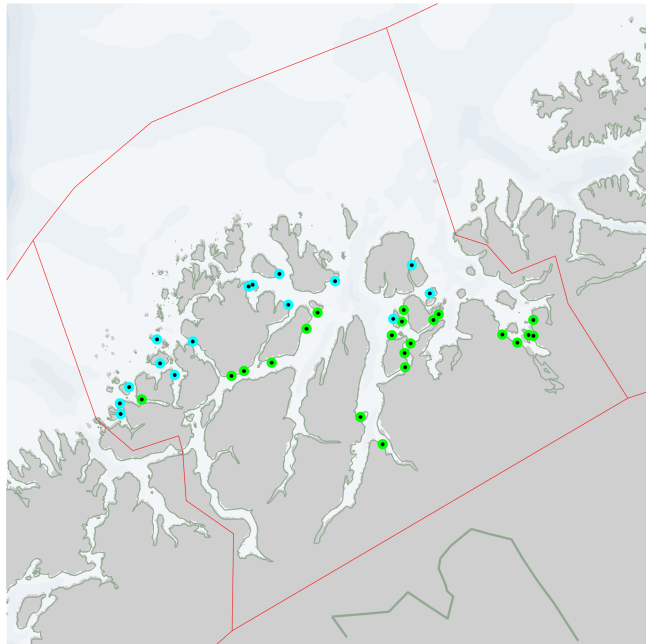
Figur 31: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO8 i 2019.



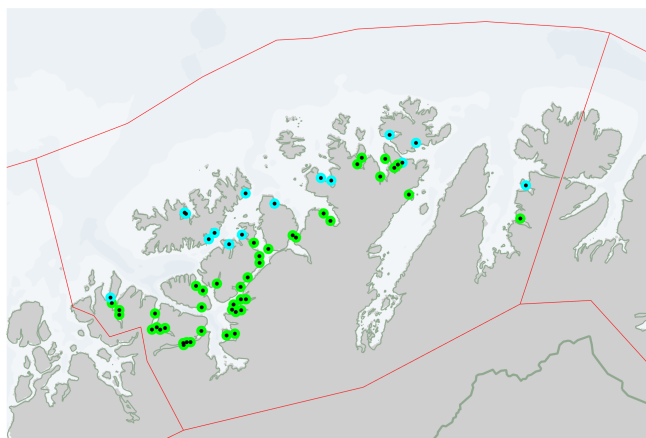
Figur 32: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO9 i 2019.



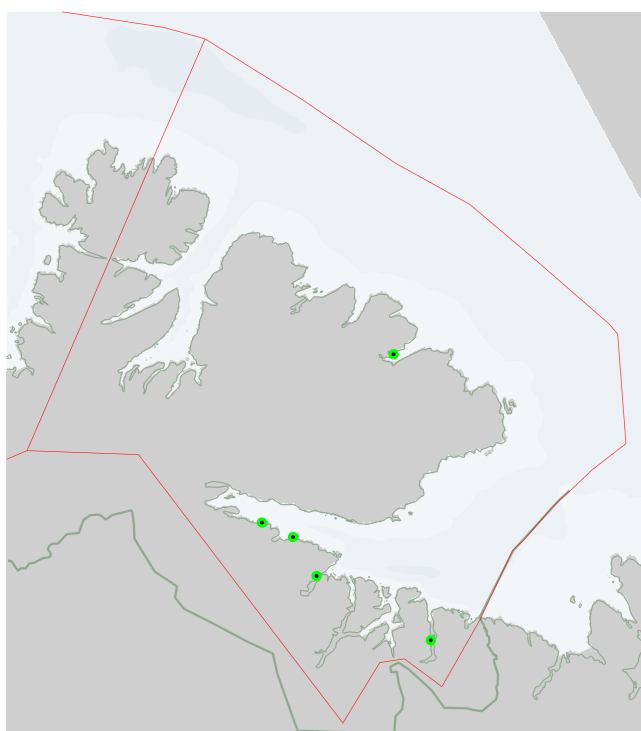
Figur 33: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO10 i 2019.



Figur 34: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO11 i 2019.



Figur 35: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO12 i 2019.



Figur 36: Kategorisering av matfiskanlegg i ytre (lyseblå punkter) og indre (grønne punkter) anlegg i PO13 i 2019.



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no