



SINTEF

# Faglig sluttrapport

## Overordnet vurdering av bærekraft av produksjon av laks i 2050

Hovedfunn fra PåLaks-prosjektet (FHF 901833)

### Forfattere:

Andrea Viken Strand, Shraddha Mehta, Marit Schei Olsen, Bård Misund, Elisabeth Maria Fugger, Tonje Osmundsen, Ragnar Tveterås, Hans Tobias Slette, Ellie Johansen, Cristina Maria Iordan

### Rapportnummer:

2024:00909 - Åpen

### Tilsagnsgiver:

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering

# Faglig sluttrapport

## Overordnet vurdering av bærekraft av produksjon av laks i 2050

Hovedfunn fra PåLaks-prosjektet (FHF 901833)

**EMNEORD**

Havbruk  
Nye  
produksjonsformer  
Bærekraft  
Framtidsscenarier

**VERSJON**

Versjon 1.0

**DATO**

2024-09-15

**FORFATTERE**

Andrea Viken Strand, Shraddha Mehta, Marit Schei Olsen, Bård Misund, Elisabeth Maria Fugger, Tonje Osmundsen, Ragnar Tveterås, Hans Tobias Slette, Ellie Johansen, Cristina Maria Jordan

**TILSAGNSGIVER**

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering

**TILSAGNSSGIVERS REFERANSE**

901833

**PROSJEKTNUMMER**

302007308

**ANTALL SIDER**

66

**SAMMENDRAG**


Målet med PåLaks-prosjektet er å kartlegge hvilken påvirkning ulike produksjonsformer for laks har på klima, miljø og natur. I tillegg er det å vurdere hvilke konsekvenser en overgang til nye produksjonsformer kan ha for økonomisk og sosial bærekraft. Produksjonsformene som vurderes er; tradisjonelle, semilukkede, lukkede, nedsenkede, offshore/eksponerte og landbaserte anlegg. Siden prosjektet setter søkelys på forskjeller mellom ulike produksjonsformer, er omfanget avgrenset til produksjonsfasen av laks, ekskludert slakt og prosessering, og fôrproduksjon er også ikke inkludert. I prosjektets sluttrapport undersøkes den tredimensjonale bærekraften av norsk lakseproduksjon for tre ulike scenarier i 2050. Funnene er sammenlignet med et referanse-scenario som representerer dagens produksjon av laks. Hovedkonklusjonene er:

- En dobling av lakseproduksjonen og overgang til nye produksjonsformer er mulig uten at det medfører økt klimafotavtrykk fra produksjonsfasen, dersom det også gjennomføres optimistiske tiltak for å ta i bruk lavutslipps-energibærere og resirkulert materiale. Mengden energiforbruk og typen energibærere de viktigste driverne for klimafotavtrykket for laks når fôret er utelatt.
- En økning i produksjonen vil medføre positive ringvirkninger for samfunnet, med økt verdiskaping og sysselsetting og de største endringene vil skje i andre næringer.
- Overgang til nye produksjonsformer vil øke trykket på natur og miljø ved bl.a. større behov for areal og energi selv om produksjonsvolum reduseres eller holdes stabilt.

**UTARBEIDET AV**

Andrea Viken Strand

SIGNATUR

  
Andrea Viken Strand (Sep 15, 2024 18:02 GMT+2)**KONTROLLERT AV**

Trine Thorvaldsen

SIGNATUR

  
Trine Thorvaldsen (Sep 15, 2024 18:06 GMT+2)**GODKJENT AV**

Sarah Schmidt

SIGNATUR

**RAPPORT NR.**

2024:00909

**ISBN**

978-82-14-07004-0

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
0.1	2024-08-05	Sendt til intern kvalitetssikring
0.2	2024-08-14	Sendt til referansegruppe
1.0	2024-09-15	Ferdig versjon

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>11</b>
1.1 Prosjektorganisering og leveranser .....	11
<b>2 Bakgrunn</b> .....	<b>13</b>
2.1 Påvirkningskategorier .....	14
2.2 Scenarier .....	14
<b>3 Metode</b> .....	<b>16</b>
3.1 Omfang og begrensninger .....	16
3.2 Om det å tallfeste scenarier.....	17
3.3 Hvordan vurdere bærekraft i scenarier .....	18
3.3.1 Miljømessig bærekraft.....	18
3.3.2 Sosial bærekraft.....	20
3.3.3 Økonomisk bærekraft.....	22
<b>4 Overordnet vurdering av miljømessig og sosial bærekraft i scenarier</b> .....	<b>24</b>
4.1 Referanse-scenarier .....	24
4.1.1 Miljømessig bærekraft.....	25
4.2 Scenario 1: Ambisjon om økt bærekraft med påfølgende nedgang i produksjonsvolum .....	25
4.2.1 Miljømessig bærekraft.....	26
4.2.2 Sosial bærekraft.....	27
4.3 Scenario 2: Ambisjon om stabilisering av produksjonen, og mer bærekraftig utnyttelse av dagens kapasitet .....	27
4.3.1 Miljømessig bærekraft.....	28
4.3.2 Sosial bærekraft.....	29
4.4 Scenario 3: Ambisjon om økt bærekraftig produksjon gjennom verdensledende teknologi .....	29
4.4.1 Klima, miljø og natur.....	30
4.4.2 Sosial bærekraft.....	31
<b>5 Sammenligning mellom scenarier</b> .....	<b>32</b>
5.1 Miljømessig bærekraft .....	32
5.2 Økonomisk bærekraft .....	39
5.3 Ringvirkingsanalyse.....	41
5.4 Sosial bærekraft .....	44
<b>6 Begrensninger og videre arbeid</b> .....	<b>44</b>

7	Konklusjon .....	47
8	Referanser.....	49
A	Innsatsfaktorer til LCA .....	55
B	Prosesser brukt i LCA modell .....	56
C	Miljøfotavtrykk per kg laks med 95% konfidensintervall.....	59
D	Miljøfotavtrykk i scenarier med 95% konfidensintervall .....	61
E	Ringvirkningsanalyse .....	64
F	Leveranser .....	66



## Sammendrag

Denne rapporten presenterer resultater fra prosjektet 'Økt kunnskap om klima-, natur- og miljøpåvirkninger fra ulike produksjonssystemer for laks (PåLaks)', prosjektnummer 901833.

Hovedformålet med prosjektet har vært å undersøke påvirkningen på klima, miljø og natur ved forskjellige produksjonsformer for lakseoppdrett og gi en vurdering på sosial og økonomisk bærekraft. En sentral del av analysen var å vurdere hvordan forskjeller i design og drift påvirker det totale miljøfotavtrykket til de ulike teknologiene samt hva som kan bli de sosiale og økonomiske konsekvensene ved bruk av nye produksjonsformer. Nye produksjonsformer som var inkludert i prosjektet er semi-lukket, lukket i sjø, landbasert, nedsenkbar og offshore/eksponert. Siden hovedformålet har vært undersøke hvilke påvirkninger nye produksjonsformer har på miljø, samfunn og økonomi, har andre deler av verdikjeden som ikke er knyttet til produksjonsform, som fôrproduksjon og distribusjon og laks, ikke vært inkludert i prosjektets omfang til tross for at dette har stor innvirkning på den totale bærekraften av norsk lakseindustri.

Med utgangspunkt i prosjektets Delrapport L3.1, *Regulering og utvikling av fremtidens havbruksproduksjon – Scenarier for 2050*, er det definert tre fremtidige scenarier som beskriver hvordan produksjonen kan foregå i 2050. De tre ulike scenariene presenteres og sammenlignes med dagens produksjon, representert som et referanse-scenario. Følgende scenarier presenteres: Scenario 1: *Ambisjon om økt bærekraft med påfølgende nedgang i produksjonsvolum*, Scenario 2: *Ambisjon om stabilisering av produksjonen, og mer bærekraftig utnyttelse av dagens kapasitet*, og Scenario 3: *Ambisjon om økt bærekraftig produksjon gjennom verdensledende teknologi*.

Framtidsscenariene er basert på noen nøkkeldrivere for endring som bl.a. næringens rammebetingelser, regelverk, teknologi og innovasjon, samt tilgang til fornybar energi. Det totale produksjonsvolumet i 2050 og den dominerende teknologien eller en teknologimiks er beskrevet i hvert scenario. Hindringer for fremtidig vekst som redusert tilgang til marine områder, klimaendringer og økosystemers bæreevne er også integrert i framtidsscenarioene. Driverne for endring og begrensninger ble identifisert gjennom workshops med sentrale aktører fra norsk havbruksnæring.

Bærekraftsvurderingen av hvert scenario ble gjennomført ved å analysere en rekke indikatorer for miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft med utgangspunkt i funnene fra Delrapport L1.1, *Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft*. Indikatorne ble identifisert gjennom litteraturgjennomgang, interessent-involvering og intervjuer. Miljøfotavtrykket til hvert scenario har blitt estimert ved bruk av ulike indikatorer som klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensiale og marint økotoksitetspotensiale, i tillegg til kvalitative vurderinger som for eks. fiskevelferd, sykdomsspredning. Vurderingen av miljømessig bærekraft bygger på funn fra prosjektets Delrapport 2.1, *Environmental impacts of emerging salmon production technologies*, og Delrapport L2.2, *Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks*. Andre bærekrafts-indikatorer som antall arbeidsplasser, verdiskaping, investering og arealbehov på land er også kvantifisert.

De potensielle effektene av de ulike scenariene sammenlignes med et referanse-scenario som representerer dagens situasjon. Resultatene bidrar til å gi et nyansert bilde av hvilke effekter en økning eller reduksjon, samt overgang til nye produksjonsformer vil kunne ha på samfunn, økonomi, klima og miljø, og hvorvidt det er konflikter mellom eller innad de ulike dimensjonene av bærekraft.

### Hovedfunn:

- Det er mulig å doble produksjon av laks uten økt klimafotavtrykk fra selve produksjonen med en overgang fra tradisjonelt oppdrett til en miks av nedsenkbar, offshore/eksponert og lukket og semi-lukket teknologi, dersom det også gjennomføres tiltak som alternative energibærere for fartøy, kun norsk elektrisitet/miks uten import, og 100 % bruk av resirkulert stål i havbrukskonstruksjonene.
- Implementering av tiltakene alternative energibærere for fartøy, bruk av kun norsk elektrisitet/miks uten import fra andre land, og 100 % bruk av resirkulert stål, kan gi en reduksjon på mellom 55 % til 62 % av klimafotavtrykket avhengig av scenario, sammenlignet med klimafotavtrykket uten disse tiltakene.
- I alle scenariene, også referanse-scenariet, gir forbrenning av diesel i fartøy og på lokaliteter det største utslaget i det totale klimafotavtrykket. Energiforbruk og type energibærere er viktigst for den totale klimaeffekten av produksjonsformene, mens oppsamlingsgraden av slam, samt bruk av kjemikalier til f.eks. antibegroingsmidler er viktig for å avgjøre den lokale miljøpåvirkningen fra produksjonsformene.
- Overgang til nye produksjonsformer i framtiden vil øke trykket på natur og miljø ved bl.a. større behov for areal og energi selv om produksjonsvolum reduseres eller holdes stabilt i forhold til dagens produksjon.
- Den økonomiske analysen viser at økt produksjon av laks i *Scenario 3 – Økning* gir en dobling av verdiskaping og sysselsetning sammenlignet med referanse-scenario og vil øke investeringsbehov med over 600 mrd. kroner. Samme scenario viser også over en dobling av klimafotavtrykket uten tiltak.
- Ringvirkningsanalysen viser også at en dobling i produksjon av laks gir en økning av ca. 12 % antall ansatte i akvakultursektoren, 8 % i bearbeiding av sjømat og 17 % i tjenestenæringen i sammenligning med dagens sysselsetting i disse sektorene.
- Næringens regulatoriske rammebetingelser og forventninger fra samfunnet vil kunne påvirke næringens utviklingsløp og hvordan fremtidig produksjon og bruk av produksjonsteknologier bidrar til sosial og økonomisk bærekraft. Riktig utformede rammebetingelser er en essensiell brikke for å realisere investeringer i alternative produksjonsformer som i dag ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomme. Siden det er selskapene som tar investeringsbeslutningene handler dette om summen og sammensetningene av reguleringer, skatter, insentiv-ordninger, krav fra kunder og tilbydere av kapital (banker, investorer o.l.) som møter bedriftene. Myndighetene har en rolle ved å utarbeide rammevilkår som er samfunnsøkonomiske effektive ved at de sikrer at miljøpåvirkningene og fiskevelferd er innenfor akseptable nivåer for samfunnet, samtidig som at havbruks-selskapene selv får velge teknologier og driftsstrategier som gir høyest bedriftsøkonomisk lønnsomhet.
- Det er lagt til grunn i alle scenariene at det er positiv aksept rundt norsk lakseoppdrett, og at industrien har lyktes med forbedret fiskevelferd, bedre biosikkerhet, mindre lus og lavere dødelighet. Dette skjer ved redusert produksjonsvolum i *Scenario 1 – Nedgang*, samt overgang til nye produksjonsformer på risikoområder. I *Scenario 2 – Stabilisering* er halvparten av produksjonsvolumet produsert i nye produksjonsformer som har løst utfordringene, og i *Scenario 3 – Økning* har produksjonsvekst vært mulig med vellykket teknologi og stor overgang til nye produksjonsformer.

- De ulike produksjonsformene kan ha både positive og negative påvirkninger på sosial bærekraft og næringens samfunnsaksept. Blant annet kan landbasert oppdrett sikre lavere miljøpåvirkning på villaks, men samtidig ha et større miljø/klimafotavtrykk og kreve andre naturinngrep, som økt behov for areal på land, enn lukkede anlegg i sjø.

Det vil være målkonflikter på tvers av og innad i ulike bærekraftsdimensjoner, mellom ulike indikatorer og vurderinger, som må håndteres. For å sikre en mer helhetlig bærekraftig produksjon er det en nødvendig forutsetning at man sikrer en god balanse mellom bærekraftsdimensjonene, og har kunnskap og forståelse for målkonfliktene som kan oppstå.

I dette arbeidet er de miljømessige konsekvensene kun basert på globale årsaks-virknings modeller og data, og det er derfor usikkerhet knyttet til hva den reelle lokale påvirkningen er. Stedsspesifikke vurderinger er derfor nødvendig for en helhetlig forståelse av lokale miljøpåvirkninger fra ulike lokaliteter.



## Summary

This report presents results from the project 'Økt kunnskap om klima-, natur- og miljøpåvirkninger fra ulike produksjonsformer for laks (PåLaks)', project number 901833.

The objective of this work was to identify the climate and environmental impacts associated with specific emerging technologies for salmon farming and conduct a social and economic sustainability assessment. A key focus of the analysis was to assess how differences in design and operation affect the total environmental footprint of the various technologies as well as social and economic consequences of using the new forms of production. The technologies considered in this analysis were semi-closed, closed, land-based, submerged and offshore/exposed.

In a partial report in the project, L3.1 *Regulering og utvikling av fremtidens havbruksproduksjon – Scenarier for 2050*, three future hypothetical scenarios for salmon production in Norway in 2050 applying a mix of different technologies have been developed. The scenarios are the following, Scenario 1: *Ambition for increased sustainability with a subsequent decrease in production volume*, Scenario 2: *Ambition for stabilization of production, and more sustainable utilization of current capacity*, and Scenario 3: *Ambition for increased sustainable production through world-leading technology*. These three scenarios are presented and compared to the current production, represented as a reference-scenario.

The future scenarios are based on key drivers for change such as regulatory framework, technological innovation, and access to renewable energy. The total production volume in 2050 and the most dominating technology or a mix of different technologies have been described in the scenarios. Limitations for future growth such as reduced access to marine area, climate change impacts, and ecosystem carrying capacity are also integrated into the future scenarios. The drivers for change and limitations were identified through workshops with key actors from the Norwegian aquaculture industry.

The sustainability performance of the different scenarios is evaluated by applying environmental, economic and social indicators. Relevant indicators have been identified through literature review, stakeholder engagement and semi-structured interviews with industry representatives and has been presented in a partial report L1.1, *Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft*. The environmental footprint of producing 1 kg salmon in each production technology with the use of LCA was calculated and presented in partial report L2.1, *Environmental impacts of emerging salmon production technologies*. Indicators such as fish welfare and spread of diseases were assessed qualitatively per production technology in partial report L2.2, *Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks*. The results from these partial reports are applied to assess the environmental footprint of the future scenarios for 2050, presented in this report. In addition to the environmental impacts, socio-economic impacts of the future scenarios are evaluated, including quantitative indicators on the number of jobs, value creation, total investment and area use.

The potential impacts of the different scenarios are calculated across the indicators and compared to those in the reference scenario. The results help to give a more nuanced picture of and identify trade-offs between and within the different dimensions of sustainability, if there is an increase or decrease in production levels, as well as a transition to new production technology.

### Main findings:

- It is possible to increase the production of salmon without increasing the carbon emissions from the production phase, with a transition from traditional net pens to a mix of submersible, offshore/exposed and closed and semi-closed technologies, if measures such as low-carbon energy

carriers for vessels, only Norwegian electricity mix without imports, and 100% use of recycled steel are also implemented.

- Implementing measures such as alternative energy carriers for vessels; only Norwegian electricity mix without imports; and 100 % use of recycled steel, can result in a reduction of between 55 % to 62 % of greenhouse gas emissions compared to the same scenario without measures.
- In all the scenarios, the combustion of diesel in vessels and in diesel generators on farms has the greatest impact on the overall greenhouse gas emissions. The energy consumption and the energy carriers are the most important drivers for the climate impact of the production technologies. On the other hand, the degree of sludge collection and use and emissions of chemicals are important for determining what environmental impact the production technologies will have locally.
- Transition to new production technology in the future will increase the pressure on nature and the environment by e.g. greater need for land area and energy use even if the production volume is reduced or remains stable compared to today.
- The economic analysis shows that increased production of salmon in *Scenario 3 – Increase* results in a doubling of value creation compared to the reference scenario and will increase investment needs by over NOK 600 billion.
- The ripple effect analysis shows that a doubling of salmon production results in an increase of approx. 12 % number of employees in the aquaculture sector, 8 % in seafood processing and 17 % in the service industry in comparison with current employment in these sectors.
- The industry's regulatory framework and expectations from the society will be able to influence the development of the industry, in terms of growth and implementation of new production technologies, and how this can contribute to social and economic sustainability. A properly designed regulatory framework is essential for realizing investments in new production technologies that are not currently commercially profitable. For the companies, this is about the combination and composition of regulations, taxes, incentive schemes, demands from customers and providers of capital (banks, investors etc.). The authorities have a role in drawing up a regulatory framework that is economically efficient in that they ensure that the environmental impacts and the fish welfare are within acceptable levels for the society, while simultaneously, the aquaculture companies are allowed to choose production technologies and operating strategies that provide the highest corporate economic profitability.
- It is assumed that there is positive societal accept of the Norwegian salmon farming in all the scenarios, and that the industry has succeeded in improving fish welfare, biosecurity, reducing sea lice levels and obtain lower mortality of the farmed salmon. This occurs through a reduced production volume in *Scenario 1 - Decline*, as well as a transition to new forms of production in risk areas. In *Scenario 2 - Stabilization* half of the production volume is produced in new forms of production that have solved the challenges, and in *Scenario 3 – Increase* production growth has been possible with successful technology and a major transition to new production technology.
- The various production forms can have both positive and negative effects on social sustainability and society's acceptance of the aquaculture industry. Among other things, land-based farming can ensure a lower impact on wild salmon, but at the same time have a larger environmental/climate

footprint and require other encroachments in nature than closed facilities in the sea, such as increased demand for area on land.

Across the different sustainability dimensions and within a given dimension, there can be conflicts and trade-offs between different indicators that must be assessed. To ensure a more sustainable production, it is necessary to ensure a good balance between the different dimensions of sustainability.

In this work, the assessments of the environmental consequences are based on global cause-and-effect models and data and therefore local impacts are uncertain. Site-specific assessments are necessary for a holistic understanding of environmental impacts from different locations.

# 1 Introduksjon

Denne rapporten presenterer resultater fra prosjektet 'Økt kunnskap om klima-, natur- og miljøpåvirkninger fra ulike produksjonssystemer for laks (PåLaks)'. Hovedformålet med prosjektet har vært å undersøke påvirkningen på klima, miljø og natur ved forskjellige produksjonsformer for lakseoppdrett og gi en vurdering på sosial og økonomisk bærekraft.

Prosjektet ble finansiert av Fiskeri – og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) og gjennomført i perioden 01.02.2023 – 15.09.2024 med et budsjett på 5 000 000 kr. Øyvind Hilmarsen har vært ansvarlig hos FHF.

## Prosjektorganisering

Prosjektgruppen besto av forskere fra SINTEF Ocean, NTNU samfunnsforskning, NORCE and BDO.

**Fra SINTEF Ocean:** Shraddha Mehta (prosjektleder), Andrea Viken Strand, Hans Tobias Slette, Cristina Iordan, Elisabeth Maria Fugger, Sepideh Jafarzadeh (kvalitetssikrer) og Trine Thorvaldsen (kvalitetssikrer). SINTEF Ocean har ledet prosjektet, og har gjennomført kartlegging av indikatorer på miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft, LCA-analyse og bærekraftsanalyser på klima, natur og miljø i scenariene.

**Fra NTNU samfunnsforskning:** Marit Schei Olsen og Tonje C. Osmundsen.

NTNU Samfunnsforskning ledet arbeidet på utvikling av scenarier, gjennomførte kartlegging av indikatorer for sosial bærekraft, og har bidratt i arbeidet med helhetlig analyse av sosial bærekraft i de ulike scenariene.

**Fra NORCE:** Ragnar Tveterås og Bård Misund.

NORCE har bidratt i identifisering av indikatorer for økonomisk bærekraft, scenarioutvikling og utført en analyse av bedriftsøkonomisk og samfunnsøkonomisk lønnsomhet i de ulike scenarier.

**BDO:** Ellie Johansen, Vibeke Emilsen Wetterwald og Kristian Henriksen.

BDO har ledet arbeidet på formidling og industrikoordinering og bidratt inn til kartlegging av indikatorer på påvirkning på klima, miljø og natur, samt sosio-økonomiske indikatorer.

Det ble opprettet en referansegruppe for prosjektet. Følgende personer deltok i referansegruppa:

1. Marit Bærøe, Sjømat Norge
2. Silje Wadsworth, Nordlaks
3. Ragnar Sæternes, Sinkaberg Hansen
4. Nicolai Berg-Arnesen, Firdasea

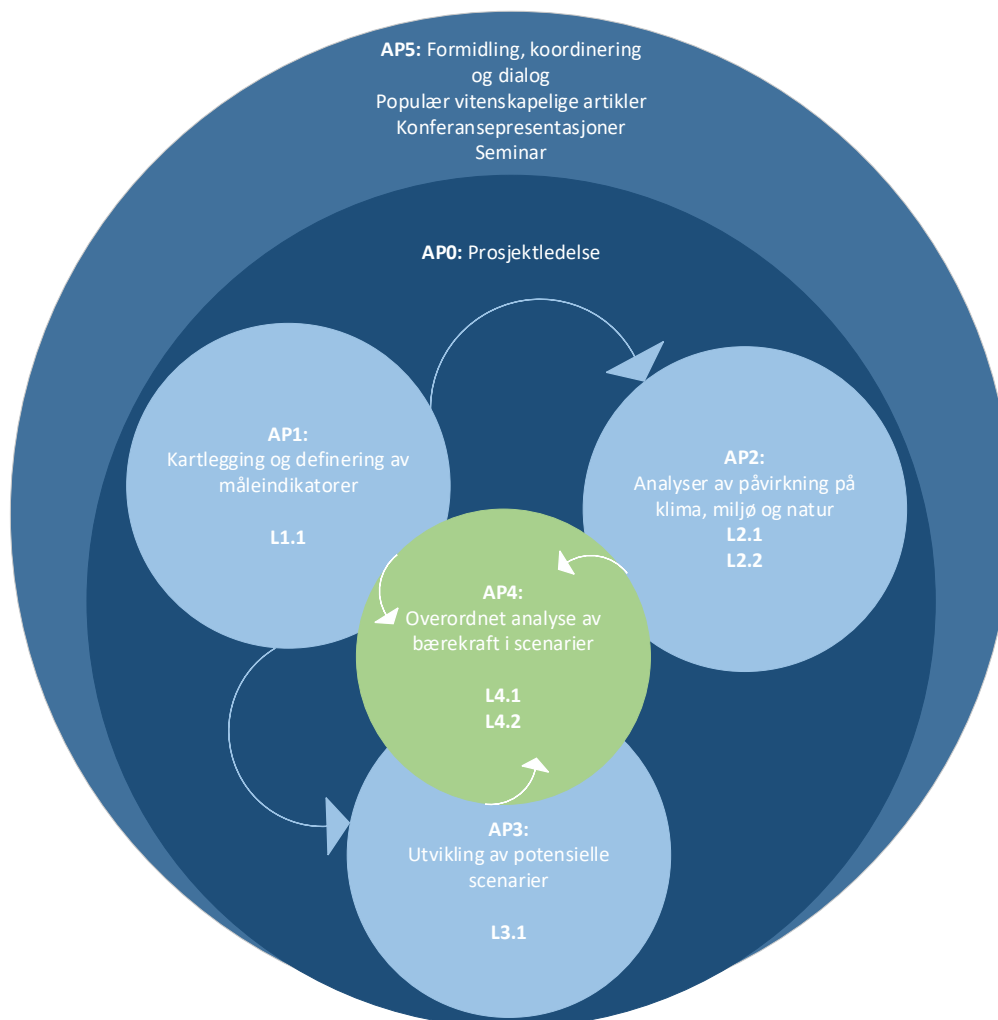
## 1.1 Prosjektorganisering og leveranser

Formålet med prosjektet er å undersøke påvirkningen på klima, miljø og natur ved forskjellige produksjonsformer i lakseoppdrett og gi klare vurderinger på sosial og økonomisk bærekraft. Figur 1 viser organiseringen av prosjektet og arbeidspakkeinndelingen.

Den overordnede problemstillingen er underbygget ved følgende delmål:

1. Kartlegge og definere relevante måleindikatorer for produksjon av laksefisk i ulike produksjonsformer for vurdering av bærekraft innen økonomiske, sosiale og miljømessige forhold, med hovedvekt på klima -og miljø. (AP1)
2. Kartlegge miljøavtrykket til nye produksjonsformer gjennom livssyklusanalyse. (AP2)
3. Definere fremtids scenarier frem mot 2050 for virkninger på klima, miljø og natur ved dagens og fremtidige produksjonsnivå og ved ulike produksjonsformer. (AP3)

4. Utarbeide en helhetlig og overordnet analyse av hvordan de ulike fremtids scenariene vil prestere innen økonomiske og sosiale forhold for måling av bærekraftig utvikling. (AP4)



**Figur 1: Oversikt over prosjektorganisering, arbeidspakkeinndeling og leveranser i prosjektet.**

Sluttrapporten kan leses som enkeltstående rapport, men bygger på funn og grunnlag fra fire delrapporter som er publisert fra prosjektet. En utfyllende liste over alle leveranser er gitt i Vedlegg F.

- **L1.1 Delrapport: *Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft***
  - Inneholder en oversikt av indikatorer og påvirkningskategorier som er viktige for å kunne vurdere miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft av norsk lakseoppdrett.
- **L2.1 Delrapport: *Environmental impacts of emerging salmon production technologies***
  - Kvantifisering av klima- og miljøpåvirkninger for å produsere 1 kg laks i ulike produksjonsformer ved bruk av livsløpsmetodikk (LCA). Påvirkningskategoriene inkludert i denne rapporten er klimafotavtrykk, eutrofieringspotensial, økotoksisitetspotensial, forurening og påvirkning på biodiversitet.
- **L2.2 Delrapport: *Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks***
  - Kvalitativ vurdering av påvirkning på klima, miljø og natur av produksjon av laks i ulike produksjonsformer basert på litteraturgjennomgang. Her er fokuset på indikatorer som ikke lar seg kvantifisere ved bruk av LCA, som f.eks. fiskevelferd, rømming og påvirkning på lokale økosystemer.

- **L3.1 Delrapport: Regulering og utvikling av fremtidens havbruksproduksjon – Scenarier for 2050**
  - Tre scenarier for norsk lakseproduksjon for 2050 basert på innspill fra næringen gjennom workshops og mulig utvikling av regulering og rammeverk for næringen. Inkludert i rapporten er en gjennomgang av utfordringer knyttet til dagens produksjon, og hvordan ulike forslag og mulige endringer i regulering og rammeverk vil møte utfordringene. Scenario-fortellingene viser hvordan fremtidig utvikling, regelverksendringer, og kombinasjoner av disse kan føre til ulike fremtidsbilder for havbruksproduksjonen og bruk av ulike produksjonsformer.
- **L4.1 Faglig Sluttrapport: Overordnet vurdering av bærekraft av produksjon av laks i 2050**
  - Vurdering av bærekraft i scenariene for 2050 definert i L3.1 sammenlignet med et referansescenario for dagens produksjon. Bærekrafts-vurderingen tar utgangspunkt i indikatorer og påvirkningskategorier definert i L1.1. Vurderingene for miljømessig bærekraft bygger på funn fra L2.1 og L2.1.
- **L4.2: Vitenskapelig manuskript fra prosjektet**
  - Manuskript til innsending til vitenskapelig journal basert på funnene i prosjektets sluttrapport.

## 2 Bakgrunn

Det har lenge vært ambisjoner om vekst innen den norske havbruksnæringen, men industrien har møtt på mange utfordringer knyttet til høye nivåer av lakselus, og rømming av oppdrettslaks som har begrenset veksten. I 2023, ble det økt oppmerksomhet på fiskevelferd i media, og fokuset på påvirkning på miljøet og sårbare naturtyper forventes å øke i de kommende årene. Betydelige utfordringer knyttet til fiskevelferd, biosikkerhet og miljø har i flere år ført til en rekke forslag til, samt implementering av, nye reguleringer og insentiv-ordninger som kan bidra til å løse utfordringer, og samtidig muliggjøre bærekraftig vekst og sikre verdiskaping fra havbruksnæringen. Ifølge Sjømatbarometeret til PwC, vil nye produksjonsformer spille en nøkkelrolle for å oppnå vekst i industrien (PwC, 2023). Med nye produksjonsformer menes det oppdrett av laks i lukkede eller semi-lukkede anlegg i sjø, i offshore anlegg til bruk på eksponerte lokaliteter eller ved havbruk til havs, oppdrett i nedsenkbare merder eller i landbaserte anlegg.

Norges nasjonale utslippsmål er å redusere klimagassutslippene mot 2050 med 90-95% fra 1990-nivået, og kutte med 55% innen 2030 (Klima og miljødepartementet, 2023). Dette krever tiltak i alle næringer og industrier, også i havbruk. Innen havbruk er det først og fremst fôret som bidrar til laksens klimafotavtrykk, som er mengden direkte og indirekte klimagassutslipp som følge av lakseoppdrett, etterfulgt av forbrenning av diesel i fartøy (Johansen et al., 2022). Sjøfartsdirektoratet har i samarbeid med Miljødirektoratet i 2023 kommet med forslag til null- og lavutslippskrav til servicefartøy i havbruksindustrien i en underlagsrapport, etter oppdrag fra Klima- og miljødepartementet (Sjøfartsdirektoratet, 2023). De foreslår nullutslippskrav til alle fartøy med lengde under 24 meter, gjennom en trinnvis innfasing der alle fartøy under 24 meter vil være innbefattet av nullutslippskravet i 2040. For nye fartøy under 15 meter, skal kravene gjelde fra 2025.

Det er god kunnskap om klimapåvirkningen fra norsk laks i tradisjonelle åpne merder, samt hvilken sosial og økonomisk effekt lakseindustrien har i Norge (Albertsen et al., 2022; Johansen et al., 2022; Winther et al., 2017, 2020). Det er derimot mindre kunnskap rundt påvirkningene fra nye produksjonsformer på klima, miljø, natur, samfunn og økonomi. Dette skyldes at mange nye produksjonsformer fortsatt er i en tidlig fase, og noen produksjonsformer, som havbruk til havs, ennå ikke har etablerte verdikjeder. Målet med prosjektet 'Økt kunnskap om klima-, natur- og miljøpåvirkninger fra ulike produksjonsformer for laks' (FHF #901833) har vært å bidra med ny kunnskap på disse områdene, med et hovedfokus på klima, miljø og natur. Denne sluttrapporten gir en overordnet vurdering av miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft av norsk lakseproduksjon i 2050, i de tre ulike scenariene som har blitt definert i prosjektet. Omfanget begrenser seg



til produksjonsfasen av laks, ettersom målet er å undersøke påvirkninger fra ulike produksjonsformer. Påvirkninger fra fôrproduksjon og distribusjon, er derfor ikke inkludert i analysene som presenteres her.

I prosjektet har det blitt valgt ut påvirkningskategorier innen hver dimensjon av bærekraft (miljømessig, sosial og økonomisk) for å kunne vurdere virkningene av produksjon i en ny produksjonsform. Gjennom en LCA-analyse har miljøfotavtrykket for å produsere én kg laks med hver produksjonsform blitt beregnet, og påvirkninger som ikke kan kvantifiseres gjennom en LCA, som påvirkning på villaks som følge av lakselus eller rømming, har blitt kvantitativt vurdert basert på tilgjengelige data og informasjon. Videre har tre framtidsscenarier blitt definert i prosjektet, som basert på forventninger om ulike reguleringsregimer, viser tre mulige veier for havbruksindustrien i 2050. Scenariene er hypotetiske, og det er ikke vurdert hvor sannsynlige de ulike scenarioene er.

## 2.1 Påvirkningskategorier

Basert på eksisterende rammeverk og standarder, samt intervjuer med aktører i næringen ble det sammenstilt en oversikt av indikatorer og påvirkningskategorier som er viktige for å kunne vurdere bærekraft av norsk lakseoppdrett. Dette arbeidet er presentert i rapporten *Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft* av Slette et al. (2023). Blant disse ble det valgt ut en anbefalt liste, presentert i Tabell 1, over påvirkningskategorier som forfatterne mener er nødvendige for å kunne vurdere miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft for produksjon av laks i ulike produksjonsformer.

**Tabell 1: Oversikt over anbefalte påvirkningsfaktorer for vurdering av produksjonsformens bærekraft.**

Miljømessig	Sosial	Økonomisk
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vannforbruk</li> <li>- Energiforbruk</li> <li>- Arealbruk</li> <li>- Klimagassutslipp</li> <li>- Utslipp til sjø</li> <li>- Medisin- og kjemikaliebruk</li> <li>- Fiskehelse- og velferd</li> <li>- Lusepåslag og behandlinger</li> <li>- Dødelighet</li> <li>- Rømming</li> <li>- Påvirkning på økosystem</li> <li>- Gjenbruk og resirkulering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effekter på sikkerhet og arbeidsvilkår, også i leverandørleddet</li> <li>- Effekter på sysselsetting og ringvirkninger/bidrag lokalt/nasjonalt</li> <li>- Arealbruk og arealmessig fotavtrykk</li> <li>- Effekter på aksept (dialog og kontakt med interessenter, påvirkning på arealbruk og infrastruktur etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verdiskaping i verdikjeden</li> <li>- Utnyttelse av finansiell kapital (lønnsomhet)</li> <li>- Utnyttelse av innsatsfaktorer i produksjonsprosessen, f.eks. realkapital (investeringer i utstyr), arbeidskraft, fiskefôr.</li> <li>- Utnyttelse av naturressurser (bruk av lokaliteter, fôr, vannressurser, effekter på vill fisk og annen oppdrettsfisk).</li> <li>- Eksterne kostnader</li> </ul>

## 2.2 Scenarier

Det ble utviklet tre ulike scenarier for fremtidig lakseproduksjon for å ha et utgangspunkt for å se nærmere på hvordan en fremtidig bruk av ulike produksjonsformer kan gi utslag på de forskjellige bærekraftsdimensjonene (miljø, sosial og økonomi). Dette arbeidet er tidligere presentert i rapporten *Regulering og utvikling av fremtidens havbruksproduksjon – Scenarier for 2050* (Olsen et al., 2024). I tillegg til å beskrive scenariene viser rapporten til sentrale utfordringer knyttet til dagens produksjon, historisk utvikling av havbruksreguleringen, og ulike forslag til og forventede endringer i offentlig regulering fremover. Her pekes det på utfordringer knyttet til miljø (lus, utslipp, biodiversitet), fiskevelferd og fiskehelse, og

hvordan dette adresseres av undersøkelser fra blant annet Riksrevisjonen, Havforskningsinstituttet og Veterinærinstituttet, samt fra Havbruksutvalget slik de presenteres i NOU 23:2023. Havbruksutvalget har flere forslag til tiltak som kan bedre biosikkerhet, miljømessig påvirkning, og bedre ivaretagelse av fiskevelferden, og disse henger blant annet sammen med innretningen på trafikklyssystemet og myndighetenes tildeling av biomasse gjennom dette, egne tillatelsesordninger, og en skissert miljøfleksibilitetsordning. Samtidig pekes det på et behov for bedre arealstruktur og andre tiltak som kan bidra til helhetlig forvaltning og bærekraftig verdiskaping. Flere av utvalgets forslag forutsetter videre innovasjon og teknologiutvikling og ser til nye produksjonsformer som en viktig del av løsningen for fremtidens havbruk<sup>1</sup>. Tilgang til areal og arealstruktur har vært et politisk tema i flere tiår, og pågående arbeid med et rammeverk for havbruk til havs, endringer i tillatelsessystemet for landbaserte tillatelser, og en eventuell opprettelse av branngater mellom produksjonsområder er tiltak som kan forventes å ha betydning for arealbruk og realisering av bærekraftig vekst i fremtiden.

Flere av næringens utfordringer, som behovet for bedre fiskehelse og -velferd, negative miljøpåvirkninger, og arealknapphet, taler imot økt produksjon, og med dagens konvensjonelle merdteknologi vil det fremover være begrensede vekstmuligheter. Å realisere en større økning i produksjonen vil derfor avhenge av alternative produksjonsteknologier, eksempelvis ulike former for barriereteknologi og/eller produksjonsanlegg til havs og på land. Sammenlignet med konvensjonell merdteknologi er det mye som gjenstår i utviklingen av nye produksjonsteknologier, og disse vil også kreve større investeringer. Økt bruk av nye teknologier må derfor stimuleres ved blant annet regulatoriske endringer, men vil også avhenge av krav fra samfunnet, kunder og investorer. Bedrifters investeringsbeslutninger og rammevilkår for å ta i bruk nye produksjonsteknologier vil også ha økonomiske konsekvenser for næringen og samfunnet, og myndighetenes regulering og kontroll med næringen vil også kunne påvirke samfunnets aksept av produksjonen og hvilke forventninger de har til næringen og dens bidrag til samfunnet. I scenariene er det beskrevet hvilke faktorer som kan påvirke utviklingen og hvilke konsekvenser dette får for havbruksproduksjonen i 2050. Dette inkluderer blant annet endringer i eksisterende regulering, tillatelsesordninger, skattesystem, næringens og myndigheters ambisjoner, og samfunnets aksept og krav til produksjonen. Ulike kombinasjoner av disse faktorene forventes å gi ulike utviklingsløp og fremtidsbilder.

Figur 1, nedenfor, illustrerer hovedtrekkene i de ulike scenariene og gir ulike fremtidsbilder for havbruksproduksjonen og bruk av ulike produksjonsformer. Følgende scenarier presenteres:

- Scenario 1: Ambisjon om økt bærekraft med påfølgende nedgang i produksjonsvolum.
- Scenario 2: Ambisjon om stabilisering av produksjonen, og mer bærekraftig utnyttelse av dagens kapasitet.
- Scenario 3: Ambisjon om økt bærekraftig produksjon gjennom verdensledende teknologi.

Videre i denne rapporten refereres det til scenarioene med kortnavn, *Scenario 1 - Nedgang*, *Scenario 2 - Stabilisering*, og *Scenario 3 – Økning*. Det er også definert et referanse-scenario som representerer dagens produksjon. Bærekraftsvurderingene er sammenlignet med referanse-scenariet.

---

<sup>1</sup> Vurderinger knyttet til teknologi, og eventuelt en egen ordning med miljøteknologitillatelser, var også en del av mandatet til Havbruksutvalget.

<b>Scenario 1</b> Ambisjon om økt bærekraft med påfølgende nedgang i produksjonsvolum	<b>Scenario 2</b> Ambisjon om stabilisering av produksjonen, mer bærekraftig utnyttelse av dagens kapasitet	<b>Scenario 3</b> Ambisjon om økt bærekraftig produksjon gjennom verdensledende teknologi
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Samfunnets og markedets interesser står sentralt, bevaring av villaks som nå er sterkt truet</li> <li>• Tillatelsessystemet forenkles, særtillatelser fases ut</li> <li>• Trafikklyssystemet innrettes for grønn (ikke gul) fargelegging, og utvides med flere indikatorer</li> <li>• Antall lokaliteter reduseres - branngater (uten bruk av teknologi)</li> <li>• Strengere driftsregulering og sanksjoner - biosikkerhet, velferd, miljøpåvirkning</li> <li>• Lavere intensitet, redusert behov for nye produksjonsformer, svake insentiver for ny teknologi</li> <li>• Mindre lønnsomhet, lavere inntekter fra auksjon, økt beskatning</li> <li>• Svekket leverandørindustri, dyr og umoden teknologi</li> <li>• Dypdrift på egnede lokaliteter, noe lukket teknologi</li> <li>• Ikke havbruk til havs</li> <li>• Landbasert brukes i hovedsak til smoltproduksjon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Næringen vil sikre optimal utnyttelse av dagens kapasitet og imøtekomme krav om bærekraftig produksjon</li> <li>• Reguleringssystemet fører til en overføring av MTB til aktører som kan imøtekomme strenge krav til bærekraftig produksjon</li> <li>• Unntaksvekt fjernes</li> <li>• Miljøfleksibilitet røde og gule områder, kan reversere nedtrekk av MTB</li> <li>• Tiltaksgrønse for lus, lusekvote, og strengere regulering for avlusing og dødelighet</li> <li>• Branngater med mulighet for lavutslippsteknologi</li> <li>• Teknologier med minimale utslipp videreutvikles og blir mer lønnsomme</li> <li>• Geografiske forskjeller ang. behov for lukket teknologi, og dypdrift</li> <li>• Null- og lavutslippsteknologi brukes, men ikke tilstrekkelig insentiver til betydelige investeringer</li> <li>• Mer effektiv utnyttelse, reduserer miljøpåvirkning og dødelighet</li> <li>• Høy lønnsomhet, økt skattebyrde</li> <li>• Noe økning i landbasert, men mangel på energi er barriere</li> <li>• Havbruk til havs i startfasen, egen verdikjede</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teknologien sentral for å realisere myndigheters og næringens ambisjoner om økt produksjon</li> <li>• Havbruksdirektorat - arealomstrukturering og branngater med lukket teknologi</li> <li>• Større produksjon i nye produksjonsformer - noe redusert lusepress i konvensjonell teknologi</li> <li>• Miljøfleksibilitetsordning, økt biomasse ved konvertering, høye funksjonskrav</li> <li>• Miljøteknologitillatelser, øker farten på teknologiutvikling</li> <li>• Strengere driftsregelverk og gunstige skatteordninger bidrar til større omløpshastighet på teknologi- og innovasjonssiden</li> <li>• Produksjonsvekst, redusert lønnsomhet, men ikke økt skattebyrde</li> <li>• En sterk leverandørindustri</li> <li>• Havbruk til havs for å utvide produksjonen med nye arealer</li> <li>• Landbasert øker - viktig del av verdikjeden til havbruk til havs-produksjonen</li> </ul>

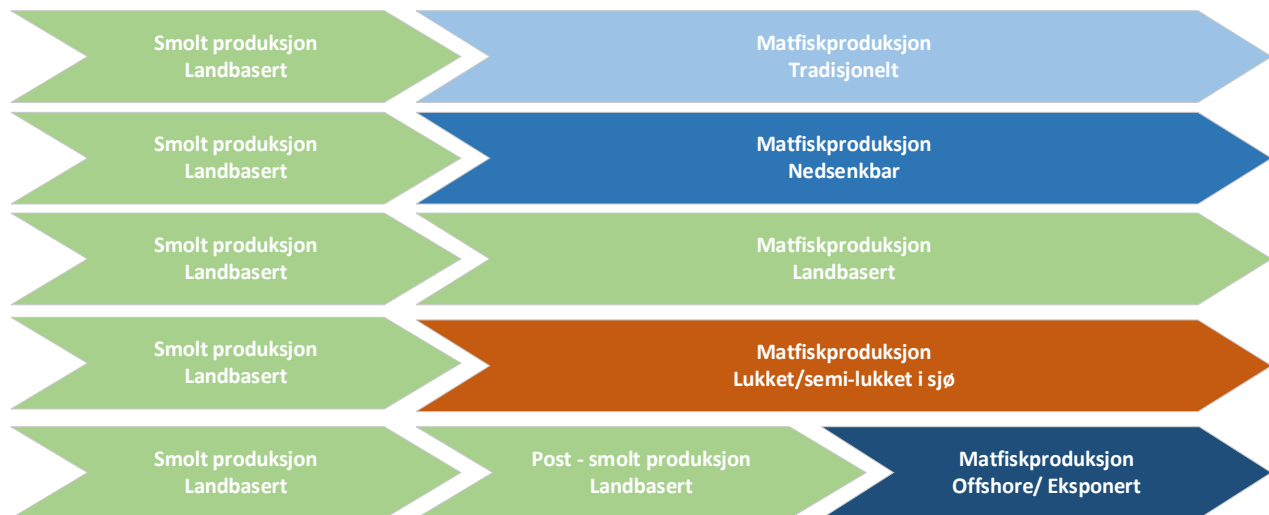
**Figur 2: Oppsummering av Scenario 1 - Nedgang, Scenario 2 – Stabilisering, og Scenario 3 – Økning.**

## 3 Metode

### 3.1 Omfang og begrensninger

Her gis en overordnet vurdering av bærekraften av scenariene presentert i kapittel 2.2, som er beskrevet i Olsen et al. (2024). Disse scenariene er videre definert med tall på produksjonsvolum og produksjonsmikrosom beskrevet i kapittel 4. Bærekraft forstås her som miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft, og rammene for hva som inkluderes innen hver kategori er definert ut fra relevante påvirkningskategorier. Disse er presentert i kapittel 2.1. Det er også blitt definert et referanse-scenario som baserer seg på dagens situasjon. Vurderingen av bærekraft i scenariene må derfor ses på som en sammenligning med dagens situasjon slik den fremstilles i referanse-scenarioet.

Selv om det er stor variasjon i hvordan verdikjeden kan utformes, ved produksjon av post-smolt i én type produksjonsform og produksjon av matfisk i en annen, har det for enkelthets skyld blitt antatt at all smolt produseres i landbaserte anlegg, enten i resirkulerende akvakultursystem (RAS), gjennomstrømmings eller hybride anlegg, og det vurderes kun matfisk produksjon i de andre produksjonsformene som vist i Figur 3. Det er gjort et unntak for offshore/eksponert, der det kreves bruk av post-smolt, og det er derfor lagt til grunn at produksjon av dette skjer i landbaserte anlegg.



**Figur 3: Oversikt over verdikjeder som er inkludert i analysene.**

Fôr og fôrproduksjon er utelatt fra prosjektet, ettersom klimafotavtrykket til dagens fôrkomposisjon allerede har blitt dokumentert av bl.a. Johansen et al. (2022). Det antas også at selve fôrkomposisjonen vil være den samme uavhengig av produksjonsform. Det er derimot variasjoner innen fôrfaktor mellom produksjonsformene som vil kunne gi signifikante forskjeller på f.eks. klima- og miljøfotavtrykk. Organisk utslipp er inkludert, og denne baseres på fôrfaktor som vist i Iordan et al. (2024).

Det forventes at kraftproduksjonen både i Norge og Europa blir grønnere mot 2050. Ettersom det er utenfor dette prosjektets grenser å estimere hvordan en fremtidig energimiks vil se ut, er dagens energimikser brukt som grunnlag for å beregne klima- og miljøfotavtrykk. For fartøy er det kun brukt diesel som energibærer, til tross for at det sannsynligvis vil være andre energibærere som batteri, hydrogen, metanol og ammoniakk som vil være dominerende i 2050. Et annet FHF-finansiert prosjekt Enersea<sup>2</sup>, har undersøkt nye energibærere for fartøy, og bruk av biometanol har blitt undersøkt i en tiltaksanalyse i denne rapporten, basert på funn fra Enersea-prosjektet. Utenom tiltaksanalysen, må resultatene tolkes som produksjon av laks i 2050, produsert med dagens energibærere.

### 3.2 Om det å tallfeste scenarier

For å kunne gjennomføre vurderinger av bærekraft i scenariene har det vært behov for å tallfeste noen verdier i scenariene, som for eksempel totalt produksjonsvolum i 2050, og produksjon per produksjonsform. Her har ikke målet vært å komme frem til de mest realistiske verdiene, da det er stor usikkerhet i hvordan det nøyaktige bildet vil være i 2050. Målet har vært å undersøke ytterpunkter innen hvert scenario, for å se hvilket utslag det gir på bærekraft. Derfor har det også blitt definert ett referanse-scenario basert på dagens produksjon. Vurderingen av bærekraft i de tre 2050-scenariene er sammenlignet med resultatene fra referanse-scenario. I hovedsak er tallfestingen gitt per produsert biomasse av slakteklar matfisk per produksjonsform, men det er også inkludert hvor mye biomasse det trengs av post-smolt og smolt per scenario. Beregningen av biomasse av post-smolt og smolt er basert på data til innsatsfaktorer til LCA, som gitt i Vedlegg A.

<sup>2</sup> <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901866/>

## 3.3 Hvordan vurdere bærekraft i scenarier

### 3.3.1 Miljømessig bærekraft

Analysen av miljømessig bærekraft støtter seg på delrapporten *Environmental impacts of emerging salmon production technologies* av Iordan et al. (2024), der det ble gjennomført en livssyklusanalyse av hver produksjonsform for å beregne miljøfotavtrykket av én kg laks produsert i hver produksjonsform. I denne rapporten inkluderes påvirkningskategoriene klimafotavtrykk målt i kilotonn CO<sub>2</sub> ekvivalenter beregnet ved bruk av GWP100 metodikken, marint eutrofieringspotensial målt i tonn Nitrogen (N) ekvivalenter, og marint økotoksisitetspotensial målt i tonn 1,4 Dichlorobenzene (DCB) ekvivalenter, da disse er ansett av forfatterne som de mest relevante kategoriene. Klimafotavtrykket inkluderer utslipp av klimagasser fra produksjon av anlegg og alle andre innsatsfaktorer, og direkte utslipp fra produksjon av laks.

Programvaren Simapro Developer MultiUser versjon 9.3.0.3 brukes for å gjennomføre livsløpsanalysen for miljøpåvirkninger per scenario. Ecoinvent v 3.8 (cut off by classification) er brukt som bakgrunnsdatabase. Alle bakgrunnsprosessene brukt for innsatsfaktorene er oppgitt i vedlegg B. Analysene er kjørt ved bruk av ReCiPe 2016 Midpoint (Hierachist) V1.06/ World (2010) H metoden.

#### Innsatsfaktorer

I Iordan et al. (2024), ble miljøfotavtrykk per produksjonsform beregnet basert på eksisterende anlegg som er i drift. Det forventes at det er en mye større diversitet av ulike konsepter innen produksjonsformene i 2050 enn det er i dag. Det har derfor blitt definert gjennomsnittlige innsatsfaktorer, som materialer, energi, kjemikalier osv., per produksjonsform som brukes inn i LCA modellen for å beregne miljøfotavtrykkene i scenariene. Disse innsatsfaktorene presentert i Tabell 14 i Vedlegg A, og representerer altså ikke noe eksisterende eller planlagt konsept eller anlegg, men gjennomsnittet av flere konsepter og referanseverdier fra litteraturen innen hver produksjonsform. Dette er en viktig forskjell mellom resultatene som presenteres her og i Iordan et al. (2024), der resultatene i større grad presenterer enkelte konsepter innen hver produksjonsform. Alle innsatsfaktorene brukt i denne analysen er lagt ved i Vedlegg A i Tabell 14, og det er lagt ved resultater per kg produsert laks ved hver produksjonsform basert på innsatsfaktorene i Tabell 14, i Vedlegg C. Resultatene som presenteres videre i denne rapporten gis på scenarionivå, og ikke per produksjonsform. For mer detaljer og informasjon påvirkningen på klima og miljø, samt bidrag fra innsatsfaktorer fra de ulike produksjonsformene henvises det til Iordan et al. (2024).

I analysen er det lagt til grunn at all smolt produseres i landbaserte anlegg, og snittvekten på smolt satt ut i tradisjonelle, nedsenkbare, semi-lukkede, lukkede og landbaserte anlegg er antatt 130 g basert på Iversen et al. (2019). Denne snittvekten ble også brukt i Johansen et al. (2022), og alle innsatsfaktorene for smolt produksjon er de samme som ble brukt i den analysen. Det er derimot trend at flere oppdrettere velge å bruke større smolt, og mot 2050 er det sannsynlig at dette er mer utbredt enn smolt med snittvekt på 130 g. For produksjon i eksponerte eller offshore anlegg er snittvekt på post-smolt ved utsett 1 kg, og denne er antatt produsert i landbaserte anlegg.

#### Usikkerhetsanalyse

Det er også gjennomført en Monte Carlo simulering, som er en matematisk metode for å estimere usikkerheten i resultatene i hvert scenario, basert på å kjøre mange runder av analysen, med en definert usikkerhet eller sannsynlighetsdistribusjon for innsatsfaktorene. For innsatsfaktorer med spredning i resultatene er det brukt triangulær fordeling, da sannsynlighetsdistribusjonen ikke er kjent. Dette gjelder bl.a. elektrisitets- og materialforbruk. For de andre verdiene er det brukt lognormal fordeling som defineres i SimaPro basert på sikkerheten til datakildene. Dette gjelder bl.a. bruk av diesel i fartøy, avlusningsmidler og antibegroingsmidler. Det er kjørt 10.000 simuleringer for både per kg laks for hver av produksjonsformene, og per scenario. Disse resultatene er presentert henholdsvis i Vedlegg C og D.



### Tiltaksanalyse for reduksjon av klimafotavtrykk

For klimafotavtrykk er det inkludert en tiltaksanalyse ved bruk av kun norsk elektrisitetsmiks, resirkulert stål og utslippsfaktorer for alternativ energibærere i fartøy. Tiltaksanalyser er kun inkludert for klimafotavtrykk ettersom det ikke har vært tilgjengelig informasjon om utslippskilder for andre påvirkningskategorier. Ifølge tall fra Statnett, var forbruket av strøm i Norge i 2022 133,5 TWh, hvorav 13,2 TWh var importert (Statnett, 2024). Dette utgjør om lag 10 % av det totale forbruket. Det var imidlertid stor forskjell mellom Nord og Sør, der det i Nord i landet kun var 1 % av forbruket som var importert, mens opp mot 20 % av kraften var importert i Sør-Norge. Gjennomsnittet de siste 10 årene er 6 % importert kraft av alt forbruk (SSB, 2024). Basert på denne informasjonen er det antatt at alle elektrifiserte anlegg vil få 6 % av elektrisitets-miksen fra europeisk strømproduksjon og 94 % fra norsk elektrisitetsmiks. Det undersøkes i en tiltaksanalyse å se på reduksjon av klimagassutslipp ved kun bruk av norsk elektrisitetsmiks. Ifølge bakgrunnsdatabasen Ecoinvent 3.8, har norsk elektrisitets miks et klimafotavtrykk som er 93 % lavere enn europeisk elektrisitets miks.

Det antas at blant tradisjonelle, nedsenkbare og semi-lukkede anlegg vil vi ha noen anlegg som er fullstendig elektrifiserte og noen anlegg som ikke er koblet på nettet og drevet på dieselgeneratorer. I FHF-prosjektet EnerSea<sup>3</sup> er det funnet at 64 % av tradisjonelle anlegg er elektrifiserte eller er planlagt elektrifiserte (Slette et al., 2024). Fra Nistad et al. (2021) er det estimert at et tradisjonelt anlegg bruker 0,09 kWh strøm per kg slakteklar laks dersom det er elektrifisert, og 0,3 kWh per kg slakteklar laks dersom det er drevet på dieselaggregat. Ved en fordeling der 64 % av anleggene er koblet på strømmettet, vil det i snitt brukes 0,05 kWh landstrøm og 0,01 L diesel per kg slakteklar laks fra tradisjonelle anlegg. Det antas at landbaserte og lukkede anlegg er fullstendig koblet på strømmettet. Disse anleggene vil også ha nøddaggregater med diesel, men i hovedsak kjøres de på elektrisitet. Offshore og eksponert produksjonsform antas å kun være drevet på dieselaggregat.

Det antas at alle fartøy bruker diesel som energibærer i alle scenariene. I tiltaksanalysen erstattes diesel med biometanol, som har en utslippsfaktor på 23,28 g CO<sub>2</sub> ekv. per kWh (Chalmers University and Technology & IVL Svenska Miljøinstituttet, 2023). Det er ikke inkludert påvirkninger fra endringer i infrastruktur for at fartøy kan gå på biometanol i stedet for diesel i analysen.

I Jordan et al. (2024), var alle materialer til produksjonsanleggene jomfrumaterialer, men her er det også inkludert bruk av resirkulert stål i en tiltaksanalyse. Stål er et sterkt materiale som beholder sine egenskaper selv etter resirkulering (Branca et al., 2020; Pauliuk et al., 2013). Dersom stålet er "forurenset" med andre metaller, kan det være svakere og av lavere kvalitet. Det er usikkert om et offshore anlegg kan bygges helt av resirkulert stål, men som en del av en tiltaksanalyse, undersøkes det å erstatte alt stål i alle produksjonsformer med 100 % resirkulert stål. Basert på prosessene i brukt SimaPro-programvaren fra databasene Ecoinvent og IDEMAT 2001, har resirkulert stål 98 % lavere klimafotavtrykk i kg CO<sub>2</sub> ekv. enn jomfruelig stål. Det er også et stort fokus på resirkulering og sirkulære verdikjeder av havbruksplast i industrien. Selv om ca. 1/3 av all havbruksplast per nå resirkuleres, blir det ikke gjenbrukt i havbruksbransjen, men brukes til lavverdiprodukter (NCE Seafood Innovation, 2023). Dette kan forklares ved at komponenter til havbruksstrukturer, som flyterkrage har høye kvalitetskrav til plasten, og resirkulert plast har ikke den samme styrken og kvaliteten. Prosjektet Sirk AQ<sup>4</sup> undersøker om dette kan endres i fremtiden, med det er foreløpig ikke publisert resultater på hvor mye resirkulert plast som kan brukes inn i havbrukskonstruksjoner, og hvilke innsatsfaktorer som kreves ved resirkulering. I denne analysen antas derfor all plast å være fra jomfruelige kilder. Analysen er gjort ved en cut-off-approach, som vil si at hverken gevinster eller påvirkninger knyttet til avfallshåndtering og resirkulering er inkludert (Corona et al., 2019).

<sup>3</sup> <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901866/>

<sup>4</sup> <https://sirkaq.no/>



### Andre påvirkningskategorier

Det er også kvantifisert arealbruk i kvadratmeter (m<sup>2</sup>) for både matfisk, smolt og post-smolt produsert i landbaserte anlegg for hvert av scenariene. I tillegg er det direkte elektrisitetsbehovet og diesel behovet for bruk på anlegg kvantifisert, samt behov for diesel for fartøy. Arealbruk, elektrisitetsforbruket og dieselforbruket basert på forbruk per kg laks som vist i Vedlegg A, Tabell 14, og er oppskalert til behovet for totalproduksjonen per scenario.

I delrapporten *Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks* (Strand et al., 2024), ble de resterende påvirkningskategoriene vurdert for hver produksjonsform, basert på nåværende kunnskap. Dette inkluderte både rømminger, lakselus, fiskevelferd, utslipp, og arealbruk. Grunnlaget fra denne rapporten brukes for å kvalitativt kunne vurdere den totale endringen i påvirkning på natur og miljø sammenlignet med referanse scenariet.

### 3.3.2 Sosial bærekraft

Vurderingen av sosial bærekraft og hvordan ulike produksjonsformer og total produksjonsmengde (som kvantifisert i de ulike scenarier) påvirker sosial bærekraft vil i baseres hovedsak på kvalitative vurderinger. Som diskutert i Slette et al. (2023) finnes det et bredt utvalg indikatorer som blir brukt i vurderinger av sosial bærekraft, men vurderingen av disse er ofte kontekstavhengig og vil endre seg over tid. I hovedsak er sosial bærekraft noe som måles og vurderes på selskapsnivå og/eller for en næring og kun et mindre utvalg indikatorer vil variere mellom produksjonsformer. Det er derfor valgt ut noen indikatorer som i større grad enn andre er hensiktsmessige for å vurdere påvirkning fra produksjonsform. Nedenfor vil vi for hvert scenario beskrive påvirkningen fra den skisserte miksen av produksjonsformer, og en helhetlig vurdering av sosial bærekraft med hensyn til total produksjonsmengde.

Noen vurderinger med betydning for sosial bærekraft ligger allerede implisitt i de enkelte scenariene, slik som overordnede samfunnsmessige hensyn, forvaltningsregime og samfunnsaksept (se Olsen et al., 2024). Disse vurderingene blir kort oppsummert for hvert scenario, i tillegg til vurderinger knyttet til miksen av produksjonsformer og de kvantifiseringene som er skissert for hvert scenario. Mulige reguleringsendringer og kombinasjoner av reguleringer, insentiv-ordninger, skatter og krav fra samfunnet, kunder og investorer vil kunne være førende for næringens videre utvikling. Enkelte indikatorer for sosial bærekraft, særlig knyttet til rettigheter til arbeidstakere og ivaretagelse av disse, vil i stor grad sikres av lovverk og vi har i de ulike scenariene forutsatt at dette fortsatt er tilfelle. Til en viss grad har vi også lagt inn forutsetninger om bedring i fiskevelferd og biosikkerhet i alle scenariene, men det er vist til ulike reguleringer og beslutninger som sikrer dette. Den helhetlige vurderingen av sosial bærekraft er tett koblet til miljømessig og økonomisk bærekraft, fordi sosial bærekraft på overordnet nivå handler om en samfunnsmessig rettferdig fordeling mellom gevinster og byrder. Konkret, hvordan næringen utøver sin rolle som arbeidsgiver, fiskeoppdretter og samfunnsaktør, og hvordan det påvirker samfunnets aksept for oppdrettsproduksjon.

Metodisk sett er det viktig å understreke at man tross alt har lite erfaring med nye produksjonsformer og hvordan disse presterer og vil prestere med tanke på personsikkerhet, rømming, miljøpåvirkning, økonomi, og ikke minst samfunnsaksept. Det innebærer at man har et svakt empirisk datagrunnlag for vurderinger av sosial bærekraft for slike fremtidsbilder og på disse indikatorene. Vi vet også at samfunnets aksept for lakseoppdrett og forventninger til næringen endrer seg over tid og påvirkes av atferden til næringen og hvordan myndighetene velger å regulere næringen.

Effekter på sysselsetting og ringvirkninger er den indikatoren hvor det er enklest å synliggjøre endringer og bidrag til sosial (og økonomisk) bærekraft. Næringens bidrag til samfunnet, herunder ringvirkninger og verdiskaping, står også sentralt i vurderingene av økonomisk bærekraft, men innenfor sosial bærekraft er det av særlig betydning hvordan slike positive bidrag (sysselsetting spesielt) også kan bidra til økt aksept for

næringsvirksomheten. Tidligere undersøkelser (se eksempelvis Olsen et al., 2023) har vist at arbeidsplasser, matproduksjon og økt næringsvirksomhet ses på som viktige bidrag til samfunnet fra havbruksnæringen. Ringvirknings- og verdiskapingsanalyser for norsk sjømatnæring har vært gjennomført i mange år, og Nyrud et al. (2023) har analysert havbruksnæringens ringvirkninger og sysselsetting for 2022. Hvis man inkluderer ringvirkninger sysselsatte havbruksnæringen 52.500 personer i 2022, hvorav 32.100 var sysselsatt i havbruk (smolt- og matfiskproduksjon), mens 16.200 personer var sysselsatt i foredling/slakting og 4.300 i rene salgsselskaper. Ved lavere produksjonsvolum enn referanse scenariet antar vi dermed at den totale sysselsettingen går ned, og motsatt: ved økt produksjonsvolum antar vi at den totale sysselsettingen øker, selv om det vil være noe variasjon i påvirkning på sysselsetting fra de ulike produksjonsformene. Selv om sysselsetting anses som viktige bidrag til samfunnet og en faktor som har positiv påvirkning på samfunnsaksept og sosial bærekraft er det samtidig er det ikke slik at økt produksjon i seg selv automatisk medfører økt aksept, da dette forutsetter en regulering og drift som sikrer bidrag til samfunnet også utover sysselsetting. Økt produksjon kan samtidig medføre et større fotavtrykk på klima, mer nedbygging av natur, og økt bruk av andre naturressurser som energi og ferskvann. Betydningen av sysselsettingen kan også ha store geografiske variasjoner, eksempelvis vil betydningen være større i distrikter hvor havbruksnæringen (inkludert foredlingsvirksomhet og leverandørnæring) er ansett som hjørnesteinsbedrifter enn for eksempel i større byer med en større diversitet i næringsvirksomhet og i arbeidsmarkedet generelt (B. Misund, Olsen, et al., 2023). Nye produksjonsformer og teknologiutvikling på andre områder kan også påvirke sysselsettingsbidraget fra næringen. Eksempelvis vil digitalisering og automasjon kunne påvirke størrelsen på og den geografiske fordelingen av sysselsatte. Dette er også en trend som vil være gyldig for havbruksproduksjonen generelt, også for produksjon med dagens åpne merdteknologi. Fremtidige ringvirkninger vil også være direkte avhengig av oppdrettsproduksjonen, i tillegg til pris/verdi på eksport. Kvantitative beregninger på sysselsetting for de ulike scenariene blir presentert under økonomi i kap. 4.2.

Hvordan nye produksjonsformer vil påvirke personsikkerhet, ulykker og risikobildet for de ansatte er ikke mulig å kvantifisere eller oppskalere ut fra eksisterende statistikk, eksempelvis som vist i oversikten på Barentswatch/Bærekraft i havbruk<sup>5</sup>. Det finnes imidlertid noe kunnskap om mulige utfordringer ved ulike produksjonsformer (Misund & Thorvaldsen, 2022) som er relevant for vurderinger av sosial bærekraft. I tillegg har SINTEF i rapporten *HMS i det nye havbruket* (Størkersen et al., 2024) belyst HMS-utfordringer knyttet til nye produksjonsformer. Å imøtekomme disse mulige utfordringene vil være viktig i alle de skisserte scenariene, og særlig i *Scenario 3 – Økning* der nye teknologiske løsninger (og tilhørende behov for kompetanse, nye rutiner ved nye arbeidsoperasjoner etc.) har en større del av havbruksproduksjonen. Størkersen et al. (2024) viser til at de fleste nye produksjonsformene vil innebære mer komplisert organisering og/eller større enheter. Nye produksjonsarealer lengre til havs vil også påvirke arbeidsforhold på andre måter enn i det tradisjonelle havbruket (Thorvaldsen et al., 2023). Samtidig kan ny teknologi også bidra positivt, tross nye farer, for eksempel ved å redusere behovet for avlusingsoperasjoner, som igjen kan bidra til å redusere risikoen for skader på personell og merd/utstyr. I tillegg kan en reduksjon i antall operasjoner og håndtering av fisken bidra til å redusere negativ påvirkning på fiskevelferd/dødelighet som følge av lusebehandling. Størkersen et al. (2024) viser videre til ulike særtrekk ved de nye produksjonsformene, og knytter disse til *konstruksjon og utstyr, arbeidsoperasjoner forbundet med mer eller mindre fare enn konvensjonelt oppdrett, og organisering* (Størkersen et al., 2024). Nye produksjonsformer kan dermed redusere faren for skader og ulykker ved endring i konstruksjon og arbeidsmåter, ved å redusere arbeidsoperasjoner som tidligere har vært en trussel for sikkerheten, men også ved økt fokus på sikkerhet og bedre organisatoriske forhold ved utforming og implementering av ny produksjonsteknologi. I scenariene for 2050 har vi forutsatt at teknologiene er videreutviklet og at man har bedre kunnskap og erfaring som vil sikre at disse minimerer risiko for folk og fisk. Dette er særlig viktig i *Scenario 3 – Økning* hvor det antas en større utbredelse av nye produksjonsformer, men forutsetningen er like nødvendig for all bruk av nye (og tradisjonelle) produksjonsformer i fremtiden for å bidra positivt til sosial bærekraft.

<sup>5</sup> <https://www.barentswatch.no/havbruk/>

I Slette et al. (2023) har vi kategorisert sosial bærekraft i tråd med hvilke roller oppdrettsbedriften har i samfunnet (som arbeidsgiver, fiskeoppdretter, matprodusent, og samfunnsaktør). Av disse rollene er det særlig utfordrende å måle og kvantifisere samfunnsaktørrollen til oppdrettsbedriften, spesielt fordi den beste indikatoren for hvorvidt bedriften er en god samfunnsaktør er i hvilken grad den mottar aksept fra samfunnet rundt seg (Olsen et al. 2023). Å måle aksept er mulig, men krever gode måleinstrumenter og store ressurser. I tillegg vil en slik måling være på selskapsnivå og ikke produksjonsform-nivå. I vurderingene av sosial bærekraft i hvert scenario vil vi derfor heller vise til hva som kan ha positiv og negativ påvirkning på samfunnets aksept, uten å kvantifisere.

Både mellom bærekraftsdimensjonene og innad i dimensjonen sosial bærekraft vil man møte målkonflikter mellom ulike indikatorer og vurderinger. Eksempelvis kan man anta at en reduksjon i miljømessig påvirkning (som redusert negativ effekt på villaks, bedre fiskevelferd hos oppdrettslaks som følge av mindre lusepåsag etc.) vil være et positivt bidrag til samfunnets aksept for lakseoppdrett og oppdrettselskaper. Dersom denne reduksjonen er et resultat av en overgang til nye produksjonsformer og redusert produksjon, kan dette skape en målkonflikt ved at reduksjon i sysselsetting og ringvirkninger på sin side kan bidra til negativ påvirkning på samfunnets aksept for lakseoppdrett. Mange av de sosiale hensynene handler nettopp om å balansere miljømessig og økonomisk bærekraft.

### 3.3.3 Økonomisk bærekraft

Økonomisk bærekraft på overordnet nivå handler om strategier som bidrar til økonomisk vekst (dvs. økt verdiskaping i samfunnet) og som samtidig går hånd-i-hånd med ambisjoner om sosial og miljømessig bærekraft. I hovedsak handler dette om effektiv utnyttelse av knappe ressurser. Samfunnets velferd er avhengig av at knappe innsatsfaktorer som kapital, arbeidskraft og naturressurser anvendes slik at de gir høyest mulig verdiskaping, og samtidig ikke påfører andre aktører uakseptable eksterne kostnader. I følge Brundtlandkommisjonen og FN handler bærekraftig utvikling om å ivareta behovene til mennesker som lever i dag uten å ødelegge fremtidige generasjoner av menneskers muligheter til å ivareta sine behov. Det betyr at ressursene må brukes i dag på en slik måte at det ikke går på bekostning av fremtidig økonomisk utvikling. For å oppnå økonomisk vekst må derfor innsatsfaktorene anvendes mer effektivt over tid enn de gjør i dag.

Økonomisk bærekraft kan måles på ulike nivåer i samfunnet, for bedrifter, individer og samfunnet som helhet. I scenarioanalysen vurderes den økonomiske bærekraften for både oppdrettsbedrifter og for samfunnet. Det kan anvendes mange ulike økonomiske indikatorer. Gode indikatorer på økonomisk bærekraft i havbruk vil være de som fanger opp selskapenes produktivitet og evne til verdiskaping for samfunnet, herunder:

- 1) Utnyttelse av finansiell kapital (lønnsomhet),
- 2) Utnyttelse av innsatsfaktorer i produksjonsprosessen, f.eks. realkapital (investeringer i utstyr), arbeidskraft, fiskefôr,
- 3) Utnyttelse av naturressurser (bruk av lokaliteter, fôr, vannressurser, effekter på vill fisk og annen oppdrettsfisk), og
- 4) Eksterne kostnader.

I Slette (2023) anbefalte de indikatorene for økonomisk bærekraft som er presentert i Tabell 2.

**Tabell 2: Indikatorer for økonomisk bærekraft fra Slette et al. (2023)**

Indikator	Beskrivelse	Vurdering og begrunnelse?
Verdiskaping	<i>Verdiskapingen som fordeles mellom eierne, de ansatte og samfunnet. Kan beregnes som summen av driftsresultat og lønnskostnader. Verdiskapingen kan beregnes for ulike ledd i verdikjeden. Vekst over tid, forskjeller mellom ulike regioner, ledd i verdikjeden, etc. kan gi nyttig kunnskap.</i>	Gir mulighet for å måle veksten over tid på ulike nivåer, f.eks. land, region.
Produktivitet: Utnyttelse av finansiell kapital: ROCE	<i>Denne indikatoren sier noe om hvor effektivt bedriftene utnytter investert kapital. ROCE (Return on capital employed) er et mye brukt mål. For at en investering/prosjekt skal gi en produktiv utnyttelse av kapitalen må ROCE være høyere enn et risikjustert avkastningskrav som tar hensyn til risikoen i investeringen/prosjektet.</i>	Kan benyttes til å vurdere hvor produktiv næringen og selskaper anvender finanskapital sammenlignet med annet næringsliv etc.
Produktivitet: Utnyttelse av realkapital: Kapitalens omløpshastighet	<i>Denne indikatoren beskriver selskapets evne til å anvende sin realkapital for å skape salgsinntekter. Indikatoren kan brukes for ulike former for realkapital, slik som varige driftsmidler og biologiske eiendeler (biomasse).</i>	
Produktivitet: Utnyttelse av innsatsfaktorer (inkl. naturressurser): Økonomisk førfaktor	<i>Denne indikatoren måler hvor effektivt bedriftene anvender fôrressursene. Indikatoren fanger opp effekter av faktorer som gir redusert produktivitet, slik som sykdom, dødelighet og fôrspill. Økonomisk førfaktor kan sammenlignes mot en biologisk førfaktor.</i>	Fôret er en spesielt viktig innsatsfaktor målt ved kostnadsandeler og bruker knappe naturressurser, og krever derfor særskilt oppmerksomhet.
Produktivitet: Utnyttelse av naturressurser: Produksjon / MTB	<i>Denne indikatoren måler hvor effektivt bedriftene anvender firmaets og lokalitetenes biomassekapasitet. Indikatoren beregnes som sum produksjon delt på sum firma- eller lokalitets-MTB. Beregningene kan gjøres på ulike nivåer; selskap, lokalitet og prosjekt (f.eks. investeringer i ulike produksjonsteknologi).</i>	Næringen og selskapene har fått lisenser på bruk av felleskapets arealer mm. til produksjon, og det er nyttig for samfunnet å vurdere hvor produktiv disse ressursene anvendes.
Produktivitet målt ved verdiskaping	<i>Denne indikatoren måler hvor effektivt bedriften bruker sine innsatsfaktorer. Dette kan være produktiviteten til en innsatsfaktor, f.eks. arbeidsproduktivitet målt ved verdiskaping/arbeidstimer. Det kan også være Total Faktor Produktivitet (TFP), som måler forholdet mellom verdiskaping og en vektet indeks av innsatsfaktorer.</i>	Samfunnets velstand er basert på produktiv anvendelse av knappe innsatsfaktorer og produktivitetvekst.



Eksterne kostnader i produksjonen	<i>Indikatorer som måler eksternaliteter totalt eller per produsert enhet. For eksempel den bedriftsøkonomiske verdiskapingen i akvakulturnæringen minus tapt verdiskaping for andre aktører som blir påført eksternaliteter fra akvakulturnæringen. Et annet mål kan være eksterne kostnader målt i kroner per kilo produsert oppdrettsfisk.</i>	Her er det betydelige måleproblemer. Men bærekraftig vekst avhenger av kunnskap om eksterne kostnader som påføres andre aktører.
-----------------------------------	---	--

I analysen av økonomisk bærekraft for ulike produksjonsformer og for de ulike scenariene anvendes noen av disse indikatorene. Siden det finnes lite erfaringsdata fra alternative produksjonsformer, i tillegg til at teknologiene ikke er modne, er det vanskelig å kvantifisere flere av indikatorene og de vil være usikre. Detaljerte bedriftsøkonomiske analyser vil være mangelfulle, og i scenarieanalysen vil vi derfor fokusere på verdiskaping i verdikjeden for havbruk og ringvirkningseffekter.

### Metodikk for de bedrifts- og samfunnsøkonomiske analysene

Metodikken for de økonomiske analysene i scenarie-analysen bygger på metodikk anvendt i en rekke tidligere studier, slik som “Mulighetsstudie for Norskerenna-Sør” (Heskestad et al., 2023), «Verdiskapingspotensial og veikart for havbruk til havs» (Tveterås et al., 2020), «Bærekraftig vekst med lukkede anlegg i sjø» (Tveterås et al., 2021), «Bærekraftig arealbruk i havbruksnæringen» (Tveterås et al., 2023), «Fra rød til grønn kyst » (Skår et al., 2024) og «Tiltak for å øke produksjonen av laks og ørret i Nordhordland» (Misund et al., 2023).

### Metodikk for ringvirkningsanalysen

Ringvirkningsanalysen baserer seg på kryssløpstabeller fra SSB (Tabell 1850) for 2019<sup>6</sup>. Tabellene er kvadratiske og viser handelsstrømmene mellom sektorene i Norge delt opp i 65 sektorer, samt import, etterspørsel og verdiskaping på sektornivå (Mæhle, 1992). Estimeringen av ringvirkninger ved bruk av kryssløpsanalyser baserer seg på antagelsen om at all aktivitet er etterspørselsdrevet. Endringer i etterspørselen forplanter seg så via faste innsatsforhold fra kryssløpstabellen gjennom de ulike sektorene. Metoden for analysen baserer seg på (Miller & Blair, 2009). Etter å ha beregnet ringvirkninger i form av produksjonsverdi, beregner vi også virkningene målt i antall årsverk, CO<sub>2</sub>-utslipp, og energietterspørsel via faste forholdstall hentet fra nasjonalregnskapet fra SSB. Resultatene fra ringvirkningsanalysen presenteres i et eget kapittel, 5.3, da den går på tvers av de ulike bærekraft-dimensjonene.

## 4 Overordnet vurdering av miljømessig og sosial bærekraft i scenarier

Dette kapittelet viser tallfestingen av biomasseproduksjonen per scenario og gjennomgår miljømessig og sosial bærekraft per scenario. Økonomisk bærekraft er inkludert kapittel 5, der vurderingene av bærekraft i scenariene sammenlignes med hverandre og referanse-scenariet. Resultatene som presenteres her baseres på metodikken presentert i kapittel 3.

### 4.1 Referanse-scenario

Referanse scenariet som beskriver dagens situasjon er presentert i Tabell 3. Produksjonsvolumet baserer seg på tall fra salg av laks og regnbueørret i 2022 (Fiskeridirektoratet, 2023). I all hovedsak produseres laks i åpne tradisjonelle merder til sjøs, men det finnes pilotanlegg og oppstartet produksjon innen de andre produksjonsformene. Det er ingen anlegg som produserer matfisk i lukket produksjonsform, men det finnes

<sup>6</sup> Data for 2020/2021 er tilgjengelig, men siden de er påvirket av Covid19 anser vi 2019 for mer representativ.

noen anlegg som produserer post-smolt i denne produksjonsformen. Det er ikke etablert anlegg i områder som er definert for havbruk til havs enda, men noen anlegg som er designet for å brukes til havs er i drift på eksponerte lokaliteter (i tabellen definert som Eksponert/Offshore).

**Tabell 3: Referanse-scenario for produksjon av matfisk i 2024. Verdiene viser estimater av produksjon i ulike produksjonsformer, og kan avvike fra faktisk produksjon i Norge i 2024.**

Referanse-scenario for 2024		
	Andel av total produksjon	Biomasse (tonn)
Produksjonsvolum totalt (sammenlignet med dagens nivå)	100%	1.650.000
Tradisjonell	96 %	1.584.000
Nedsenkbar	1 %	16.500
Lukket	0 %	0
Semi-lukket	1 %	16.500
Landbasert	0,5 %	8.250
Eksponert/Offshore	1,5 %	24.750
Smolt à 130 g	-	56.100
Post-smolt à 1 kg	-	5.767

#### 4.1.1 Miljømessig bærekraft

Miljøfotavtrykket for referanse-scenariet er presentert i Tabell 4. Klimafotavtrykket til scenariet er beregnet til rundt 1.080 kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. I hovedsak er det forbrenning av diesel som er den største driveren av klimafotavtrykket. Av totalt klimafotavtrykk, estimeres det at ca. 65 % er lokale utslipp knyttet til forbrenning og produksjon av diesel i arbeidsbåter, servicefartøy og andre fartøy. Rundt 6 % av de totale utslippene er knyttet til produksjon og forbrenning av diesel i generatorer på anlegg. Av Forbrenning og produksjon av diesel i både fartøy og generatorer står forbrenning for 87 % av klimafotavtrykket, og produksjonen står for 13 %. Marint eutrofieringspotensial kommer fra fôrspill, fekalier og sekresjon fra laksen i sjø og er beregnet til ca. 73.030 tonn N ekv. Marint økotoksitetspotensial gir et mål på hvor giftig et stoff er for økosystemet, og er her beregnet til om lag 685.460 tonn 1,4 Dichlorobenzene (1,4 DCB). Det er bruk av antibegroingsmidler som kobber og tralopyril som er de største driverne for marin økotoksitet.

**Tabell 4: Klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensial og marint økotoksitetspotensial i referanse-scenariet. Alle verdier er gjennomsnittsverdier, se usikkerhetsanalyse i Vedlegg D.**

Klimafotavtrykk (kilotonn CO <sub>2</sub> ekv.)	Marint eutrofieringspotensial (tonn N ekv.)	Marint økotoksitetspotensial (tonn 1,4 DCB ekv.)
1.080	73.030	685.460

## 4.2 Scenario 1: Ambisjon om økt bærekraft med påfølgende nedgang i produksjonsvolum

I *Scenario 1 - Nedgang*, er det forventet en nedgang i total produksjon av laks, og produksjon i 2050 er ca. 80 % av dagens produksjon. Fordelingen mellom de ulike produksjonsformene vises i Tabell 5. I hovedsak skjer produksjonen i tradisjonelle merder, men det har vært en liten overgang også til nedsenkbar og semi-



lukket og lukket produksjonsform. Innen landbasert har det ikke vært en utvikling, utenom at anlegg som har planlagt produksjon i 2024, har fått utviklet denne.

**Tabell 5: Produksjon av slakteklar matfisk per produksjonsform i Scenario 1 - Nedgang i 2050.**

Scenario 1: Ambisjon om økt bærekraft med påfølgende nedgang i produksjonsvolum		
Produksjonsform	Andel av total produksjon	Biomasse (tonn)
Produksjonsvolum totalt (sammenlignet med dagens nivå)	80 %	1.320.000
Tradisjonell	83 %	1.109.500
Nedsenkbar	5 %	66.000
Lukket	5 %	33.000
Semi-lukket		33.000
Landbasert	5 %	66.000
Eksponert/Offshore	2 %	26.400
Smolt à 130 g	-	44.880
Post-smolt à 1 kg	-	51.031

#### 4.2.1 Miljømessig bærekraft

I Scenario 1 – Nedgang er klimafotavtrykket beregnet til ca. 860 Kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. som vist i Tabell 6. Majoriteten av utslippene skyldes oppdrett i tradisjonell produksjonsform. For hele scenariet utgjør forbrenning og produksjon fra fartøy og generatorer ved anlegg henholdsvis rundt 62 % og 6 % av det totale klimafotavtrykket. Marint eutrofieringspotensial er estimert til 57.170 tonn N ekv. Marint økotoksisitetspotensial er beregnet til rundt 513.300 tonn 1,4 DCB ekv. Mesteparten av dette skyldes antibegroingsmidler i tradisjonell oppdrettsform.

**Tabell 6: Klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensial og marint økotoksisitetspotensial i Scenario 1 - Nedgang. Alle verdier er gjennomsnittsverdier, se usikkerhetsanalyse i Vedlegg D.**

Klimafotavtrykk (kilotonn CO <sub>2</sub> ekv.)	Marint eutrofieringspotensial (tonn N ekv.)	Marint økotoksisitetspotensial (tonn 1,4 DCB ekv.)
860	57.170	513.300

I dette scenariet har tradisjonelle anlegg blitt fjernet fra fjorder som er viktige for innsiget av villaks, og det har vært en generell nedskalering av den totale produksjonen. Dermed er det sannsynlig at lusepresset og negativ påvirkning på villaks, som dødelighet av utvandret vill post-smolt, er lavere enn i referanse scenariet. Med færre anlegg, og strengere krav til hvor anlegg plasseres, vil utslipp av organiske stoffer være lavere enn i dag, på spesielt utsatte steder som ved terskelfjorder. Dersom det er produksjon på mer utsatte lokaliteter, vil dette skje i lukket produksjonsteknologi, som har lavere utslipp av organiske stoffer

Det legges til grunn i scenariet at smolt produseres i nærheten av matfiskproduksjonen, og dette bidrar til mindre transport. Ifølge en masteroppgave skrevet av Sofie Møller, utgjør lusebehandlinger ca. 8% av energiforbruket til brønnbåter (Møller, 2018). Med et lavere lusepress kan det tenkes at transport knyttet til lusebehandling vil reduseres noe. Med færre håndteringer av laksen, kan også risikoen for rømming reduseres

Grunnet strengere krav og rutiner er biosikkerheten skjerpet, som igjen medfører mindre smitte på villaks og annen villfisk, samt mindre smitte mellom anlegg, som igjen gir bedre fiskevelferd. Det vil også være flere tomter tidligere brukt til smoltproduksjon som er ledige og kan brukes til annen industri, som kan bidra til mindre utbygging av natur på land.

#### 4.2.2 Sosial bærekraft

I *Scenario 1 - Nedgang* er det noe nedgang i totalt produksjonsvolum for næringen, og kun små endringer i bruk av ulike produksjonsformer. Av nye produksjonsformer er det noe økt bruk av lukket og semi-lukket produksjonsteknologi, samt dypdrift/nedsenkbar teknologi hvor det er særlig egnet for dette. En årsak til dette er strengere reguleringer og at det over tid har vært vedvarende utfordringer, noe som implisitt også peker på svakere sosial bærekraft ved at samfunnet ikke har hatt særlig aksept for vekst når man ikke har klart å produsere laks på en måte som er i tråd med samfunnets forventninger. Videre har næringen og myndigheter vært uenige om hvordan man skal få til dette, og myndighetene har i liten grad bidratt til insentiver som har resultert i mer utstrakt bruk og utprøving av nye produksjonsformer.

Sterkt press fra samfunnet har ført til stagnert vekst og bidratt til strengere reguleringer. Redusert tilgang til areal har ført til nedgang i produksjonen (totalt), som et ledd i arbeidet med å få til en produksjon uten like store utfordringer knyttet til lus, lusebehandling, fiskevelferd og fiskehelse som det var i 2024. I 2050 har man tatt ulike grep for å bedre fiskevelferd, biosikkerhet og vern av villaks, blant annet er bruken av rensfisk faset ut og man har avsluttet produksjon på uegnede lokaliteter av hensyn til miljø og villaks. Flere velferdsindikatorer og strengere biosikkerhetskrav resulterer i en liten nedgang i produksjonen. Vi kan dermed anta at dette over tid har bidratt til økt aksept ved at næringen demonstrerer at de i større grad klarer å ivareta både villaks og oppdrettslaks og bedre fiskevelferden. En mer forutsigbar produksjon (uten store luseutfordringer) kan også føre til en reduksjon i krevende arbeidsoperasjoner (eksempelvis knyttet til akutt sykdom/slaktning og/eller lusebehandling) og dermed redusere sikkerhetsrisikoen for ansatte som jobber på merdene og båter. Reguleringen har imidlertid ikke klart å bidra til vekst eller endringer i arealstruktur som i større grad også bedrer effektiviteten, men ved å ta ut flere lokaliteter er lusepresset redusert og man kan fortsette produksjon i åpne merder på de gode lokalitetene.

Nedgang i produksjonsvolum og en svakere leverandørindustri, som følge av få insentiver til å gå over til annen produksjonsteknologi, vil antageligvis også bidra til en negativ påvirkning på sosial bærekraft, blant annet på grunn av redusert sysselsetting og færre ringvirkninger fra næringen som helhet, særlig i de lokalsamfunnene hvor produksjonen har blitt redusert og leverandørnæringen blir betydelig svekket. Det økonomiske bidraget til samfunnet (både havbrukskommuner og resten av landet) blir lavere og kan videre føre til at samfunnsaksepten svekkes i takt med at næringens betydning reduseres. I rollen som samfunnsaktør blir næringen mindre synlig, men det vil være geografiske variasjoner som også er avhengig av andre kontekstuelle faktorer. *Scenario 1 - Nedgang* synliggjør målkonflikter innenfor sosial bærekraft som i særlig grad handler om hensynet til natur og miljø på den ene siden, og reduksjon i næringens bidrag til samfunnet på den andre siden. Begge hensyn kan ha stor betydning for aksept og videre næringens rammevilkår.

### 4.3 Scenario 2: Ambisjon om stabilisering av produksjonen, og mer bærekraftig utnyttelse av dagens kapasitet

I *Scenario 2 - Stabilisering* er produksjonsvolumet det samme som i referanse-scenariet, men her er det større overgang til nye produksjonsformer, og i hovedsak til nedsenkbar og semi-lukket og lukkede produksjonsformer som til sammen står for 30 % av produksjonsvolumet som vist i Tabell 7. Det er blitt

etablert en verdikjede for havbruk til havs, selv om denne fortsatt bare er i startfasen i 2050. Det er også en økning av landbaserte anlegg for matfisk, men mangel på energi har vært en barriere for videre utbygging.

**Tabell 7: Produksjon av slakteklar matfisk per produksjonsform i Scenario 2 – Stabilisering i 2050.**

Scenario 2: Ambisjon om stabilisering av produksjonen, og mer bærekraftig utnyttelse av dagens kapasitet		
Produksjonsform	Andel av total produksjon	Biomasse (tonn)
Produksjonsvolum totalt (sammenlignet med dagens nivå)	100 %	1.650.000
Tradisjonell	50 %	825.000
Nedsenkbar	15 %	247.500
Lukket	15 %	123.750
Semi-lukket		123.750
Landbasert	10 %	165.000
Eksponert/Offshore	10 %	165.000
Smolt à 130 g	-	50.490
Post-smolt à 1 kg	-	88.935

#### 4.3.1 Miljømessig bærekraft

Miljøfotavtrykket til *Scenario 2 - Stabilisering* er presentert i Tabell 8. Klimafotavtrykket er estimert til 1.100 kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. Lokale utslipp fra forbrenning av diesel i fartøy og drift av anlegg drevet på dieselgeneratorer, og utgjør 56 % av det totale klimafotavtrykket. Forbrenning av diesel fartøy alene står for 48 % av totale klimafotavtrykket. Dersom produksjon av diesel også inkluderes, utgjør dette 64 % av utslippene. Marint eutrofieringspotensial er estimert til 69.900 tonn N ekv., og marin økotoksisitet til 539.230 tonn 1,4 DCB ekv.. Utslippene fra tradisjonelt oppdrett utgjør her omtrent 49 % av klimafotavtrykket, 52 % av marint eutrofieringspotensial og 65 % av marint økotoksisitetspotensial.

**Tabell 8: Klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensial og marint økotoksisitetspotensial i Scenario 2 - Stabilisering. Alle verdier er gjennomsnittsverdier, se usikkerhetsanalyse i Vedlegg D.**

Klimafotavtrykk (kilotonn CO <sub>2</sub> ekv.)	Marint eutrofieringspotensial (tonn N ekv.)	Marint økotoksisitetspotensial (tonn 1,4 DCB ekv.)
1.100	69.900	539.230

Overgang til lukkede produksjonsformer reduserer utslipp av organiske stoffer og kan redusere behov for avlusning. Likt som i *Scenario 1 - Nedgang*, vil det være først og fremst i terskelfjorder at det er en reduksjon av tradisjonelle anlegg, og overgang til lukkede eller semi-lukkede produksjonsformer. En økning av produksjon i lukket produksjonsform kan igjen gi andre utfordringer for fiskevelferden slik som f.eks. vintersår. Det er også flere fiskevelferdsutfordringer i nedsenkbare merder, som kan slå negativt ut på dødelighet av fisken. Et lavere lusenivå i likhet med *Scenario 1 - Nedgang*, vil gi kunne positive utslag på villaksbestandene. I scenariet er innført restriksjoner på flytting av fisk mellom produksjonsområdene som har resultert i høyere biosikkerhet, som kan resultere i mindre smitte mellom anlegg og til villfisk.

Dette scenariet beskriver også mangel på energi, noe som gjør at utbygging av landbaserte anlegg har vært begrenset. Det kan også tenkes at færre anlegg i sjø har fått koblet seg på det kraftnettet dersom det er stor konkurranse om kraften, men dette er ikke inkludert i analysen presentert her.

#### 4.3.2 Sosial bærekraft

I *Scenario 2 – Stabilisering*, stabiliseres produksjonsvolumet mot 2050, men vi ser her en større økning i bruk av andre produksjonsformer enn i *Scenario 1 - Nedgang* og i referanse-scenariet. En viktig og positiv påvirkning på sosial bærekraft er hvordan næringen nå utnytter eksisterende ressurser på en bedre måte, og ved bruk av nye produksjonsformer (og en strategisk bruk av disse) får man en mer effektiv arealbruk som igjen bidrar til å redusere luseutfordringer (og dermed også antallet operasjoner), bedre ivaretagelse av villaks og høyere biosikkerhet. Her har reguleringen spilt en stor rolle for håndtering av utfordringer med lus (med innføring av tiltaksgrense, luseavgift og lusekvote), samtidig som miljøfleksibilitet i gule og røde produksjonsområder har bidratt til at næringen kan opprettholde produksjonen ved å ta i bruk teknologi med minimale utslipp der utfordringene har vært størst. Lukket teknologi brukes for å opprette brangater mellom produksjonsområder og på uegnede lokaliteter (som i terskelfjorder), noe som bidrar til bedre forhold for produksjon i åpne merder på gode lokaliteter.

Den positive utviklingen i produksjonen antas å ha positiv påvirkning på sosial bærekraft ved styrket aksept for lakseproduksjon som bedre ivaretar hensynet til miljø og natur, bedre utnyttelse av ressursene og arealene som er tilgjengelig, uten at dette reduserer den totale produksjonen. En liten økning i landbasert og havbruk til havs i startfasen er gjort mulig blant annet fordi næringen har demonstrert gode resultater av de tiltakene som er gjort. Dette kan danne et godt grunnlag for videre vekst, også i leverandørnæringen. Økningen i bruk av nye produksjonsformer har holdt leverandørnæringen og ringvirkningene på et tilnærmet likt nivå som i referanse-scenariet, men teknologien er nå bedre uttestet og investeringskostnadene reduseres. God kunnskap om og kompetanse på bruk av nye produksjonsformer er viktig for å ivareta gode arbeidsforhold og personsikkerhet. Dette er også viktig i byggefasen, særlig for store konstruksjoner som landbaserte anlegg og de første havbruk til havs-konstruksjonene. Disse kan i perioder bidra til økt næringsvirksomhet og gi store regionale ringvirkninger, forutsatt at det meste av arbeidet gjøres i Norge. Dette er positive bidrag til sosial bærekraft, men fordrer også at alle arbeidere blir godt ivaretatt og at arbeidet gjennomføres med god risikohåndtering. På den andre siden kan nedbygging av natur/naturinngrep, og økt bruk av energi og ferskvann skape en målkonflikt mellom viktige hensyn for sosial bærekraft og hvordan samfunnets aksept er for disse produksjonsformene.

Det totale produksjonsvolumet og bruken av nye produksjonsformer vil i dette scenariet antageligvis ikke føre til store endringer i sysselsetting og bidrag til samfunnet, men dette bidraget vil heller ikke være særlig svekket. Høy lønnsomhet og økt beskatning gjør at næringen opprettholder også viktige økonomiske bidrag til samfunnet, og kombinert med at naturressursene utnyttes mer effektivt og man reduserer negative miljømessige påvirkninger på villaks gir dette en positiv påvirkning på samfunnsaksept og sosial bærekraft.

### 4.4 Scenario 3: Ambisjon om økt bærekraftig produksjon gjennom verdensledende teknologi

*Scenario 3 - Økning* utgjør det mest teknologioptimistiske scenariet, og her har det totale produksjonsvolumet doblet seg fra dagens produksjon, og veksten har skjedd i nye produksjonsformer som vist i Tabell 9. I tillegg har det vært en stor overgang til nye produksjonsformer, og det er kun 15 % av produksjonen som skjer i tradisjonelle merder. Havbruk til havs og semi-lukket og lukket produksjonsformer er de dominerende produksjonsformene. Havbruk til havs vil også føre til en økning av landbaserte anlegg for produksjon av post-smolt, som vises i egen kategori i Tabell 9.

**Tabell 9: Produksjon av slakteklar matfisk per produksjonsform i Scenario 3 - Økning i 2050.**

Scenario 3: Ambisjon om økt bærekraftig produksjon gjennom verdensledende teknologi		
Produksjonsform	Andel av total produksjon	Biomasse (tonn)
Produksjonsvolum totalt (sammenlignet med dagens nivå)	200 %	3.300.000
Tradisjonell	15 %	495.000
Nedsenkbar	15 %	495.000
Lukket	30 %	495.000
Semi-lukket		495.000
Landbasert	10 %	330.000
Ekspionert/Offshore	30 %	990.000
Smolt à 130 g	-	78.540
Post-smolt à 1 kg	-	309.210

#### 4.4.1 Klima, miljø og natur

For Scenario 3 - Økning er miljøavtrykket gitt i Tabell 10. Klimafotavtrykket er beregnet til ca. 2.420 kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. Majoriteten av klimafotavtrykket kommer fra produksjon i offshore eller ekspionert produksjonsform. Om lag 55 % av totale klimafotavtrykk kommer fra lokal forbrenning av diesel i fartøy og ved drift av anlegg som har diesel som energibærer. Rundt 41 % av det totale klimafotavtrykket er fra forbrenning av diesel i fartøy. Det gjelder alle ekspionerte/offshore anlegg, og antatt om lag 40 % av tradisjonelle og nedsenkbare anlegg. For produksjon i ekspionert eller offshore produksjonsform er det antatt at denne drives 100 % fossilt på dieselgeneratorer, og til sammen utgjør produksjon og forbrenning av diesel 75,1 % av det klimafotavtrykket til denne produksjonsformen. Dette inkluderer også fartøy, som står for 41,3 % av det totale klimafotavtrykket til offshore/ekspionert produksjonsform. For hele scenarioet, utgjør stålforkbruk 8 % av det totale klimafotavtrykket, og det er spesielt ekspionert/offshore produksjonsform som i hovedsak består av stålkonstruksjoner. Marint eutrofieringspotensial er beregnet til rundt 140.050 tonn N ekv. og marin økotoksisitet er estimert til ca. 770.050 tonn 1,4 DCB ekv.. For marin økotoksisitet er det antatt at alle offshore/ekspionerte anlegg vil bruke nøter HDPE som har kobber integrert i noten, og det er ikke beregnet utslipp av dette, dermed vil marin økotoksisitet fra dette scenariet muligens være lavere enn realistisk.

**Tabell 10: Klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensial og marint økotoksisitetspotensial i Scenario 3 - Økning. Alle verdier er gjennomsnittsverdier, se usikkerhetsanalyse i Vedlegg D.**

Klimafotavtrykk (kilotonn CO <sub>2</sub> ekv.)	Marint eutrofieringspotensial (tonn N ekv.)	Marint økotoksisitetspotensial (tonn 1,4 DCB ekv.)
2.420	140.050	770.050

I dette scenariet er produksjonen doblet sammenlignet med dagens nivå, og det produseres 30 % av det totale volumet i offshore og ekspionert produksjonsform. Denne produksjonsformen antas det er liten til ingen mulighet til å koble på kraftnettet. Dermed vil produksjon i offshore anlegg baseres på dieselgeneratorer. Det er mulig at denne produksjonsformen kan ta i bruk fornybare energikilder som vind-, sol- eller bølgekraft, men dette er ikke inkludert i våre analyser som et alternativ, og miljøavtrykket baserer seg kun på diesel som energibærer.

En økning offshore/eksponert produksjonsform fører også med en økning i produksjon i post-smolt, som i hovedsak vil ta plass på land. Det er sannsynlig at dette vil medføre en nedbygging av natur for nye landbaserte post-smolt anlegg. I dette scenariet er det også estimert en økning i landbasert produksjon av matfisk, som vil ytterligere legge press på areal og natur på land, og mest sannsynlig i kystsonen.

Digitale verktøy for kontroll og overvåkning kan føre til bedre fiskevelferd ved at oppdretterne tidligere fanger opp sykdommer og sår o.l. Også i dette scenariet har lusepresset blitt redusert i tradisjonell produksjonsform, grunnet overgang til nye produksjonsformer, og det er ikke beregnet noe vekst i tradisjonell produksjonsform.

#### 4.4.2 Sosial bærekraft

I *Scenario 3 - Økning* er det en dobling av produksjonsvolum og det er en stor variasjon i bruk av nye produksjonsformer. Det er særlig en økning i produksjonen på eksponerte og offshorelokaliteter, i tillegg til økning i semi-lukket/lukket og dypdrift-teknologi. Teknologi og innovasjon har bidratt til en intensivering av produksjonen, som i tillegg til produksjonsvekst har bidratt til en sterk leverandørindustri og utstrakte ringvirkninger.

Myndighetene har vært en driver og sparringspartner for næringen for å øke omfanget og intensiteten, og en større arealomstrukturering. Regulering har vært en sterk driver for økt effektivitet i produksjonen, blant annet gjennom arealomstrukturering med branngater og sterkere insentiver for bruk av nye produksjonsformer som sammen bidrar til økt produksjon totalt. Som et resultat av økt produksjon i nye produksjonsformer og færre lokaliteter med åpne merder som kan bidra til spredning av lus til nærliggende lokaliteter vil det bli redusert lusepress på konvensjonell drift, som videre antas å forbedre den miljømessige påvirkningen fra åpne merder. Myndighetenes innføring av miljøfleksibilitet og miljøteknologitillatelser har videre bidratt til en sterk leverandørnæring med tilhørende ringvirkninger, samt raskere utvikling og innføring av ny produksjonsteknologi.

Også landbasert produksjon øker, delvis som en viktig del av verdikjeden til havbruk til havs, men det er likevel en diskusjon om hva man godtar av landbasert produksjon pga. naturinngrep, energibehov og bruk av vannressurser. En større andel landbasert produksjon legger større press på natur, arealbruk og energi, og kan dermed skape større konflikt og redusert samfunnsaksept. Et viktig tiltak for bedre sosial bærekraft er at man i størst mulig grad søker å benytte såkalt «grått areal» (allerede utbygde områder/forringet natur) til disse anleggene. Det vil uansett være nødvendig med bruk av mer areal for å realisere produksjonsøkningen i *Scenario 3 - Økning*, hovedsakelig på land og til havs, men dette kan i seg selv kan ha en negativ påvirkning på sosial bærekraft da dette medfører større naturinngrep og økt miljø/klimaavtrykk.

*Scenario 3 - Økning* representerer den største økningen i produksjonsvolum og det har også en rekke konsekvenser for vurderinger av sosial bærekraft. Vi har forutsatt at større volum også bidrar til økt grad av bearbeiding i Norge, som videre legger til rette for økt verdiskaping og eksport av norske sjømatprodukter. Dette antas å være positive bidrag til samfunnsaksept og sosial bærekraft, og kan resultere i at næringens styrker sin posisjon og konkurransekraft, samtidig som samfunnet opplever å få større bidrag i form av sysselsetting, matproduksjon, og økonomiske gevinster. Dette fordrer at en stor del av denne økte aktiviteten (slakting og konstruksjon) foregår i Norge, og med gode vilkår for ansatte. Ny teknologi og økt produksjon i nye produksjonsformer fordrer også et sterkt søkelys på arbeidsforhold, risiko og beredskap, med hensyn til fisk og mennesker.

Med de forutsetningene som ligger i *Scenario 3 - Økning* antar vi at det er positivt for samfunnsaksepten at næringen sin produksjon har redusert utfordringer med dødelighet og dårlig fiskevelferd, at man har mer kontroll på miljøutslipp ved bruk av lukket teknologi, og at næringens produksjon og oppførsel i stor grad



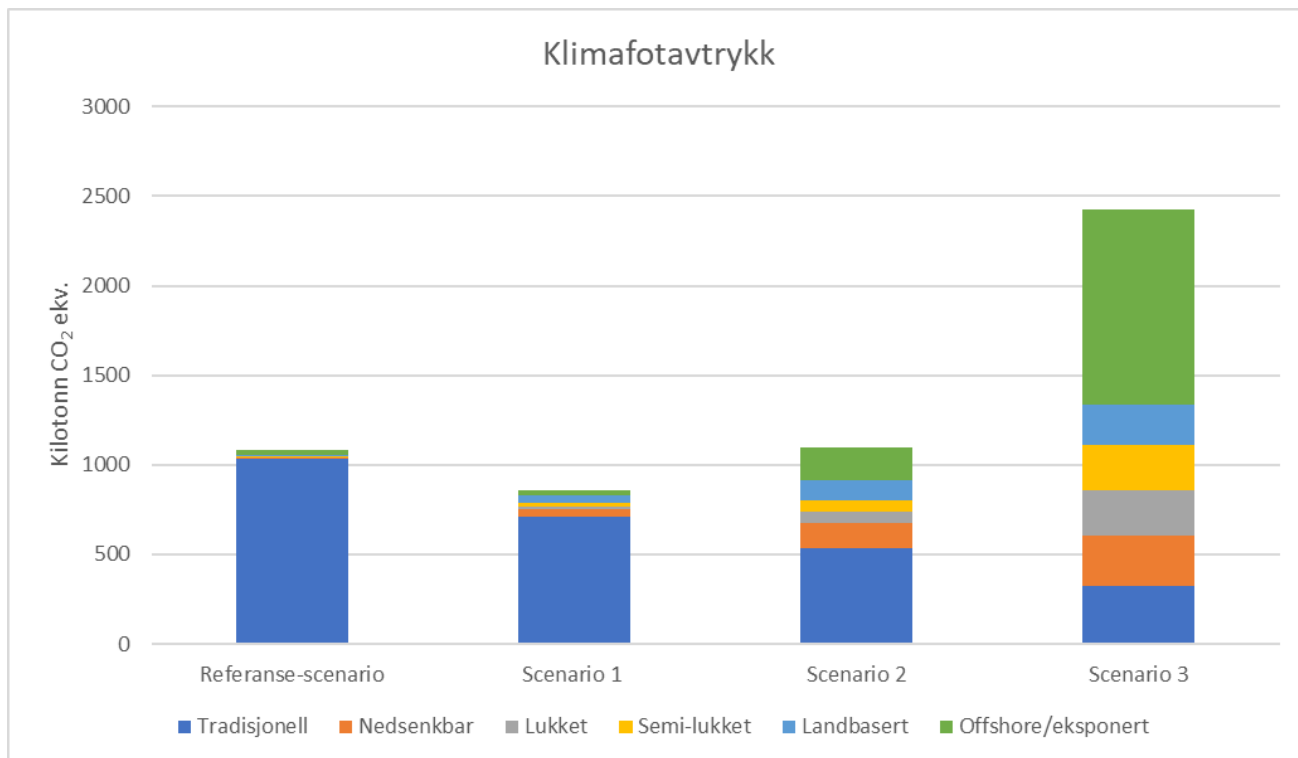
imøtekommer samfunnets forventninger om bærekraftig produksjon av laks. Selv om økt produksjon er realisert uten større negativ påvirkning på villaks vil imidlertid økningen i volum og bruk av nye produksjonsformer bidra til økt klimafotavtrykk og noe økt påvirkning på natur og miljø som også kan bidra til negative konsekvenser for aksept og sosial bærekraft. Det er derfor en mulig målkonflikt mellom de økte samfunnsbidragene som er et resultat av økt produksjonsvolum (særlig ved bruk av nye produksjonsformer), og økningen i negative påvirkninger på natur, klima og miljø som følge av økt produksjon. Der nye produksjonsformer løser noen utfordringer vil de også kunne skape andre utfordringer, som etter hvert kan få større oppmerksomhet og betydning for samfunnet generelt.

## 5 Sammenligning mellom scenarier

De følgende avsnittene sammenligner bærekraften fra et overordnet perspektiv hvert av scenariene sammenlignet med referanse-scenariet. Sammenligningen deles inn i miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft. Det er også lagt inn et avsnitt fra ringvirkningsanalysen som går på tvers av bærekraftsdimensjonene og viser endringer i CO<sub>2</sub>-utslipp, energibehov og ansettelse i andre sektorer som følge av scenariene. Resultatene som presenteres her baseres på metodikken presentert i kapittel 3.

### 5.1 Miljømessig bærekraft

Figur 4 viser klimafotavtrykket i de tre scenariene sammenlignet med referanse-scenariet. *Scenario 1 - Nedgang* har lavere klimafotavtrykk enn referanse-scenariet, mens *Scenario 2 - Stabilisering* og *Scenario 3 - Økning* har høyere klimafotavtrykk. I *Scenario 1 - Nedgang* skyldes dette først og fremst en nedskalering av produksjonen, ettersom produksjon i dette scenariet er 20 % lavere enn i referanse-scenariet. Det er fortsatt mest utslipp knyttet til tradisjonelt oppdrett i *Scenario 1 - Nedgang*, selv om det er en liten overgang til nye produksjonsformer. *Scenario 1 - Nedgang* har totalt 21 % lavere fotavtrykk enn referanse-scenariet. *Scenario 2 - Stabilisering* har nokså likt klimafotavtrykk som referanse-scenariet (1.100 kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. og 1.080 kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. henholdsvis). Dette viser at en overgang til produksjonsformene nedsenkbar, offshore/eksponert og lukket og semi-lukket ikke nødvendigvis øker klimafotavtrykket, ved produksjon av lik biomasse. Selv om disse produksjonsformene har et høyere materialbruk, og høyere energiforbruk, er effekten av mindre bruk av fartøy også utslagsgivende. Først i *Scenario 3 - Økning* er det en markant økning i klimafotavtrykk, og dette scenariet har over dobbelt så høyt klimafotavtrykk som referanse-scenariet. Her er også biomassen produsert doblet, og dermed er gjennomsnittlig klimafotavtrykk per kg laks produsert nokså likt som i referanse-scenariet.



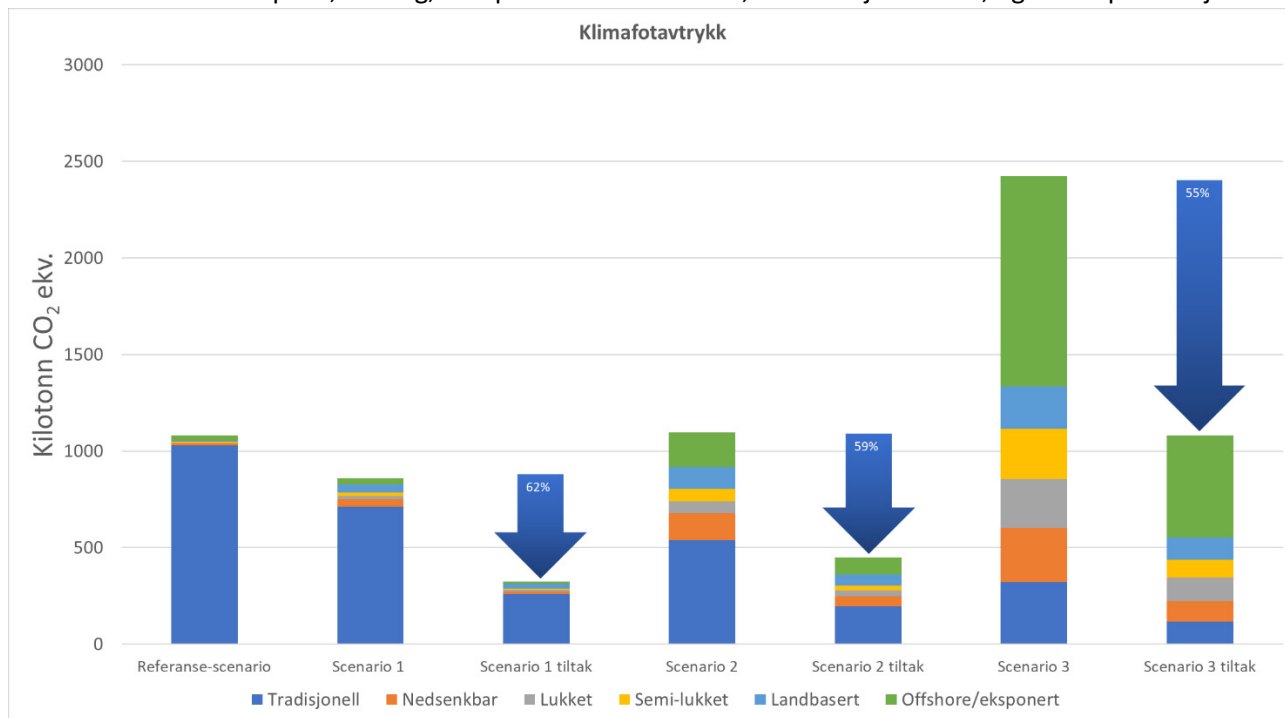
**Figur 4: Klimafotavtrykk i kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. per scenario.**

For alle produksjonsformene unntatt landbasert, er det dieselproduksjon og forbrenning som er den største driveren til klimafotavtrykket. Dermed har energiforbruket og energibæreren i mange tilfeller større innvirkning på totalresultatet, enn det produksjonsformen har. Produksjon og forbrenning av diesel i fartøy, arbeidsbåter, brønnbåter og servicefartøy, bidrar med henholdsvis 62 %, 55 % og 47 % til klimafotavtrykket for Scenario 1, 2 og 3, som vist i Tabell 11. Av dette utgjør forbrenningen 87% av klimafotavtrykket, og produksjonen av diesel 13%. Bruk av jomfruelig stål utgjør, 3 %, 5 % og 8 % respektivt. Elektrisitetsmiksen med 6 % importert strøm fra EU utgjør 3 %, 6 % og 7 % for hvert av scenariene.

**Tabell 11: Andel av klimafotavtrykket fra ulike innsatsfaktorer i scenariene – uten tiltak. Dieselforbrenning i fartøy, stål og elektrisitet er de tre innsatsfaktorene som påvirkes av tiltakene. Annet inkluderer kjemikalier til avlusning, dødfisk-behandling og antibegroingsmidler, og transport.**

Innsatsfaktor	Referanse-scenarior	Scenario 1 - Nedgang	Scenario 2 - Stabilisering	Scenario 3 - Økning
Diesel i fartøy (produksjon og forbrenning)	65 %	62 %	55 %	47 %
Diesel i generatorer på anlegg (produksjon og forbrenning)	6 %	6 %	9 %	16 %
Jomfruelig stål	2 %	3 %	5 %	8 %
Andre materialer	20 %	20 %	19 %	14 %
Elektrisitet (6% import fra EU)	1 %	3 %	6 %	7 %
Smolt produksjon	3 %	3 %	4 %	6 %
Annet	3 %	2 %	2 %	2 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

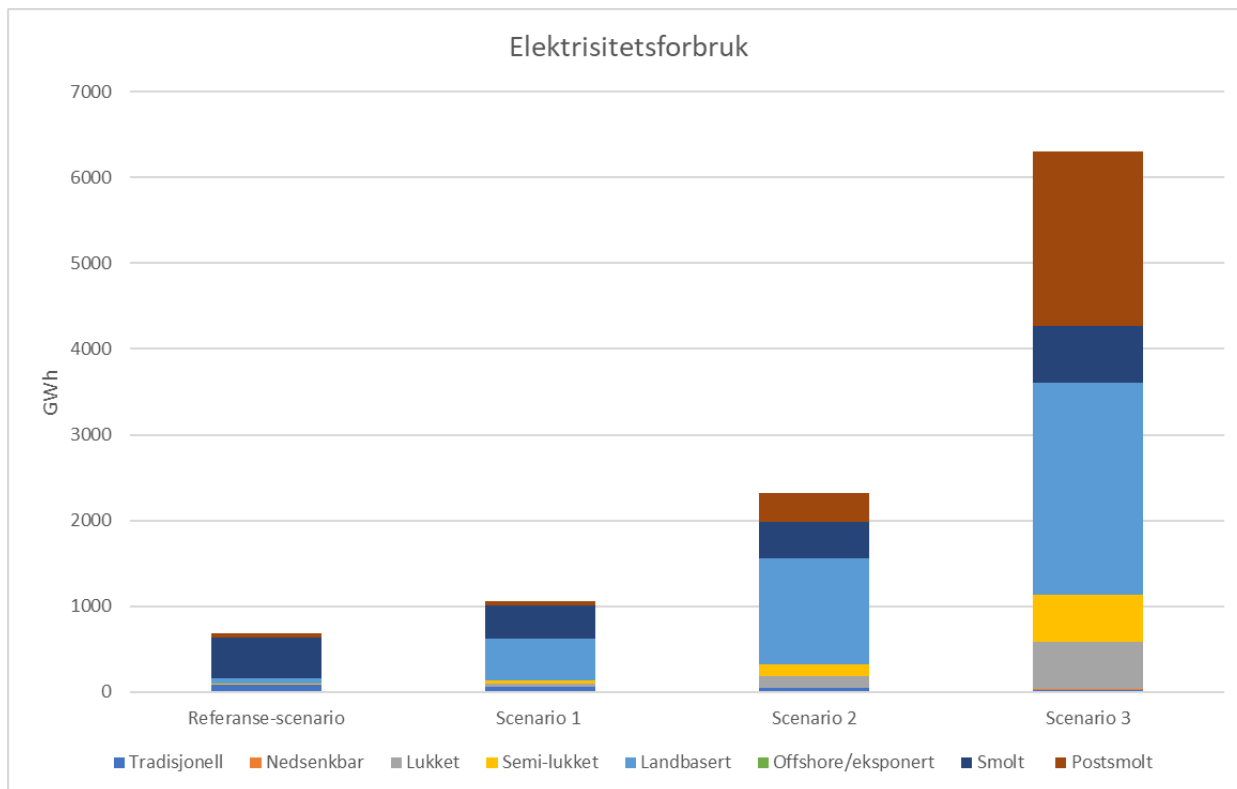
I Figur 5 vises klimafotavtrykket med tiltaksanalysen, med bruk av bio-metanol for fartøy, kun norsk elektrisitets miks, og 100% bruk av resirkulert stål. Ved implementering av disse tiltakene, kan Scenario 1, 2 og 3 oppnå en reduksjon av klimafotavtrykk på henholdsvis 62 %, 59 % og 55 %. Tiltakene som vises implementert i Figur 5 reduserer kun klimafotavtrykket knyttet til disse tre innsatsfaktorene. De resterende innsatsfaktorene er ikke berørt av tiltakene. Dette gjelder blant annet dieselbruk i generatorer på anlegg, andre materialer som plast, betong, komposittmaterialer osv., bruk av kjemikalier, og smolt-produksjon.



**Figur 5: Klimafotavtrykk ved bruk av kun norsk elektrisitetsmiks, bruk av bio-metanol som energibærer for fartøy og resirkulert stål i havbrukskonstruksjonene.**

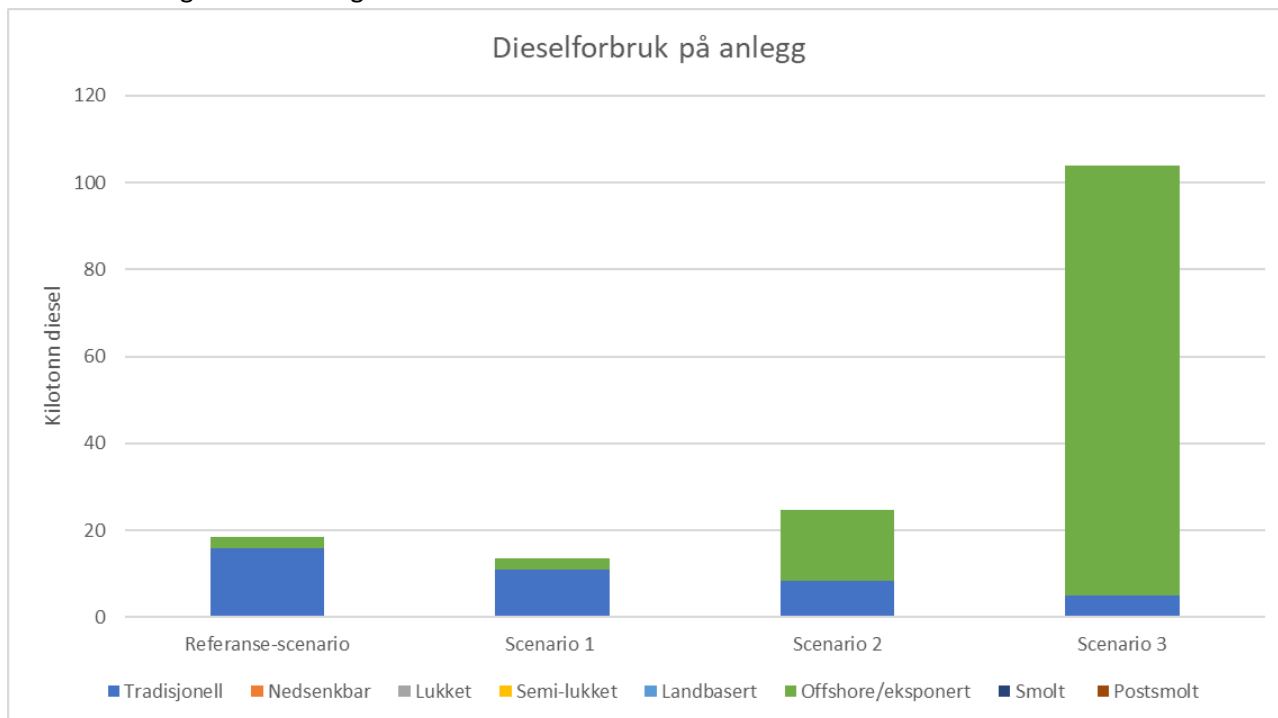
Årsaken til at reduksjonen ikke er større i *Scenario 3 - Økning* enn 55 %, forklares blant annet en antagelse om at ikke-elektrifiserte anlegg fortsatt er drevet på dieselgeneratorer. Dersom disse anleggene, som inkluderer både eksponerte/offshore, tradisjonelle og nedsenkbare, også bruker en alternativ lavutslipps-energibærer, som f.eks. biometanol, vil reduksjonen være enda større. Dette gjelder også *Scenario 1 - Nedgang* og *Scenario 2 - Stabilisering*, men det antas at dette tiltaket vil gi større utslag for *Scenario 3 - Økning*. Produksjon og forbrenning av diesel for bruk i generatorer på anlegg bidrar med 6 %, 9 % og 16 % av utslippene for Scenario 1, 2 og 3. Dette viser at i større grad enn hvilken produksjonsform som brukes, er det energibærerne som har den største påvirkningen på det totale klimafotavtrykket til næringen, når fôret er utelatt fra analysen. Dette viser også at det er mulig å øke produksjon, uten å øke klimafotavtrykket fra produksjonsfasen, ekskludert fôret, sammenlignet med dagens nivå. Ved inkludering av klimafotavtrykket til fôret, vil det være en stor økning knyttet til dette, men fôr og fôrproduksjon har ikke vært inkludert i omfanget til dette prosjektet og har vært utelatt fra analysene.

I Figur 6 vises gjennomsnittlig elektrisitetsforbruk per scenario. Her er det en økning i alle scenariene sammenlignet med referanse-scenariet, både grunnet økt biomasseproduksjon i *Scenario 3 - Økning*, og grunnet overgang til nye produksjonsformer som antas å være helelektrifiserte, som lukket og semi-lukket i sjø, og landbasert produksjonsform. Iordan et al. (2024) viser at det er stor variasjon i miljøfotavtrykket til ulike konsepter innen samme produksjonsform, som skyldes både ulike design med ulik materialbruk, og svært forskjellig energibruk. Spesielt landbasert produksjonsform har et høyt elektrisitetsforbruk, og ved mer produksjon i offshore/eksponert produksjonsform forventes det at også landbasert øker, grunnet økt behov for post-smolt.



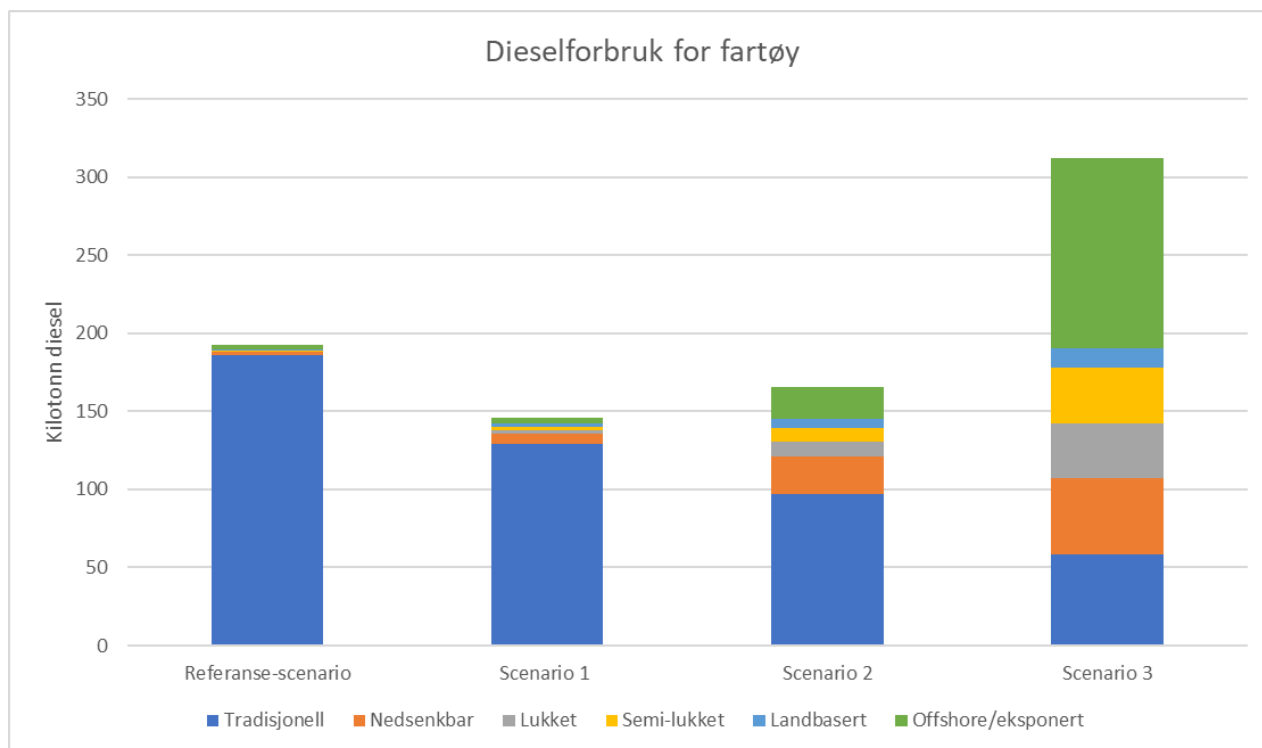
**Figur 6: Elektrisitetsforbruk per scenario. Her er det kun inkludert direkte elektrisitetsforbruk på anlegg.**

Figur 7 viser dieselforbruk i dieselgenerator på anlegg. I analysen er det antatt tradisjonell og nedsenkbar vil være delvis kjørt på dieselgeneratorer, og at offshore/eksponerte anlegg vil være helt drevet på dieselgeneratorer. Dermed er forbruket høyest i *Scenario 3 - Økning*, der det er størst produksjon i offshore/eksponert produksjonsform. Dersom offshore/eksponert produksjonsform hadde blitt drevet på en annen energibærer ville også dieselforbruket blitt redusert.



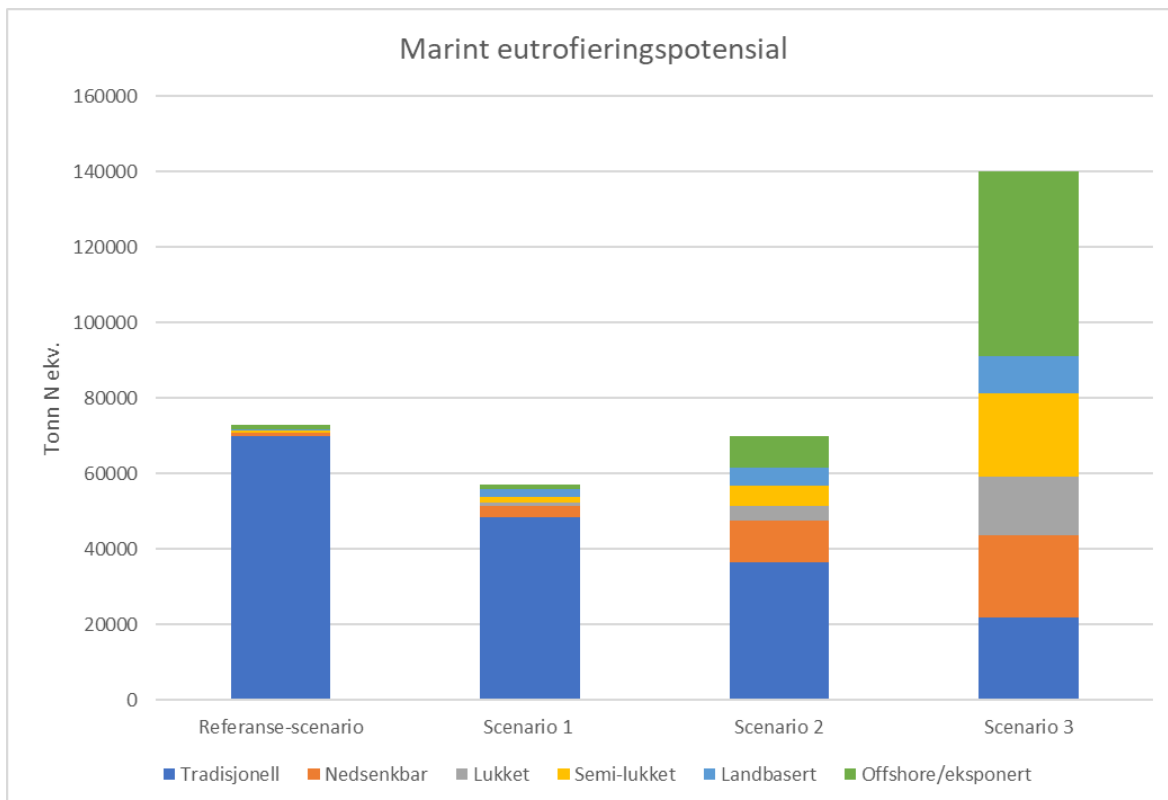
**Figur 7: Dieselforbruk fra generatorer per scenario, for drift av oppdrettsanlegg.**

Figur 8 viser totalt dieselforbruk for fartøy i scenariene. Dette inkluderer servicefartøy, arbeidsbåter og brønnbåter. Alle antagelser rundt bruk av fartøy er gitt i Iordan et al. (2024), og mengde diesel per produksjonsform er gitt i Vedlegg A. Dieselforbruket i *Scenario 2 – Stabilisering* viser at det er mulig å redusere forbruket selv om total biomasse produsert er lik som i referanse-scenariet. Dette skyldes overgang til andre produksjonsformer som mer nedsenkbar, lukket og semi-lukket i sjø, samt landbasert, der det er estimert at bl.a. bruken av brønnbåter er redusert grunnet færre lusebehandlinger. Denne nedgangen ekskluderer overgang til nye energibærere, som ville kunne føre til en enda større reduksjon av dieselforbruket i fartøy.



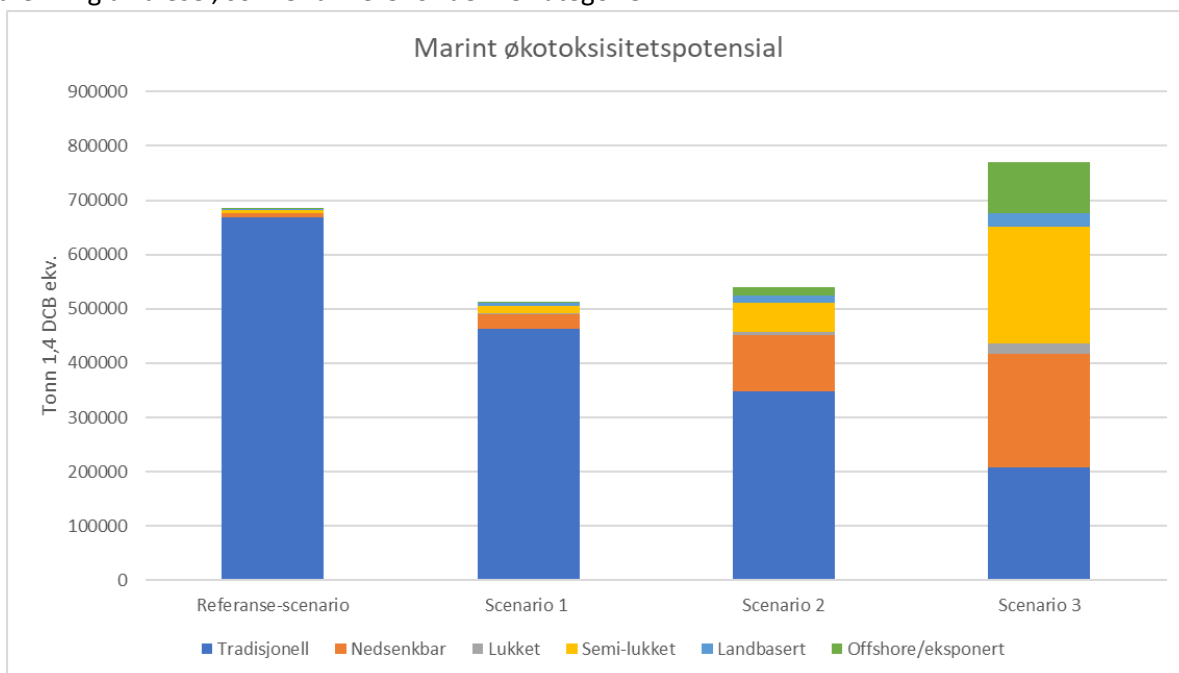
**Figur 8: Dieselforbruk for fartøy per scenario.**

Figur 9 viser det marine eutrofieringspotensial for scenariene. Denne påvirkningskategorien er knyttet til utslipp av nitrogen, først og fremst via sekresjon hos laksen, men også via fôr-spill og slam. Løst uorganisk nitrogen utgjør den største risikoen for eutrofiering, og av alt nitrogenet som slippes ut, er dette den delen som utgjør den største andelen (Wang et al., 2012). I lukket produksjonsform i sjø er det antatt at det samles opp slam, men løste næringsalter vil nok fortsatt slippe ut. I landbaserte RAS-anlegg vil mer nitrogen samles opp og behandles i anleggets biofilter. Ifølge Havforskningsinstituttet utgjør nitrogenutslipp fra oppdrett en liten risiko for marin eutrofiering, med mindre anleggene er plassert i terskelfjorder med lav vannutskiftning (Grefsrud et al., 2024). I *Scenario 3 - Økning*, kommer majoriteten av utslippene av nitrogen fra offshore/eksponert produksjonsform, og her antas det at disse anleggene vil plasseres på lokaliteter med høye strømforhold, slik at alt partikulært utslipp vil spres godt og ha lavere punktbelastning enn andre produksjonsformer. Beregninger fra NIVA, viser at det i 2022 var totalt rundt 179.551 tonn tilført nitrogen til norske kystområdet, både fra akvakultur, jordbruk, avløp, industri og fra naturlig bakgrunns-avrenning fra skog og fjellområder (Sample, 2024). Akvakultur stod for 68.580 tonn utslipp av nitrogen i 2022, estimert med NIVAs metode.



**Figur 9: Marint eutrofieringspotensial i tonn N ekv. per scenario.**

Figur 10 viser det marine økotoksitetspotensialet i scenariene. Her er det en nedgang i *Scenario 1 - Nedgang* og *Scenario 2 - Stabilisering*, sammenlignet med referanse-scenariet, og en liten økning i *Scenario 3 - Økning*. I alle scenariene skyldes dette antibegroingsmidler, her er estimert virkninger fra bruk av kobber og tralopyril. Det antas at dette brukes for tradisjonell, nedsenkbar og semilukket produksjonsform. Etter antibegroingsmidler er det utslipp fra fôr og fekalier som kan inneholder tungmetaller, og produksjon og forbrenning av diesel, som er drivere for denne kategorien.



**Figur 10: Marint økotoksitetspotensial i tonn 1,4 DCB ekv. per scenario.**

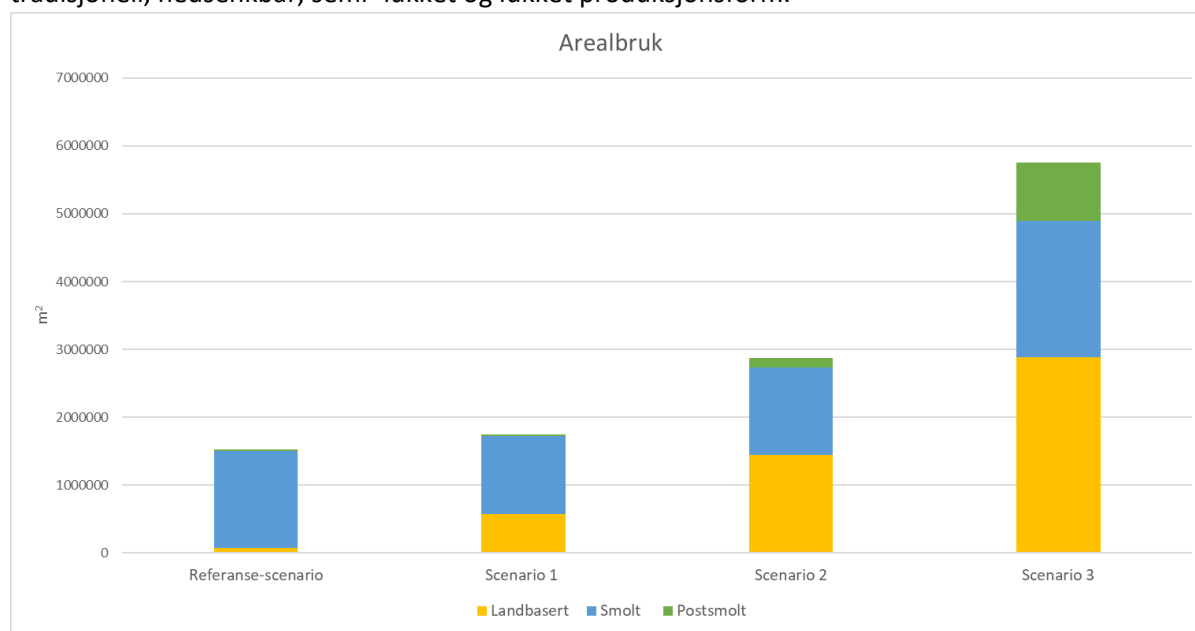


Tabell 12 viser miljøfotavtrykkene per scenario normalisert for mengde biomasse produsert i scenariet. For klimafotavtrykket er det *Scenario 3 - Økning* som har høyest klimafotavtrykk per kg laks, grunnet stor overgang til offshore/eksponert oppdrett, som er drevet på diesellaggregat. I dette scenariet er det markert den største nedgangen i marin økotoksisitet normalisert for mengde laks produsert, og dette knyttes opp til at det ikke er inkludert antibegreingsmidler i offshore/eksponert oppdrett, men nøter med integrert kobber. For marint eutrofieringspotensial, er mengden per kg laks nokså likt i alle scenariene, og dette skyldes at selv med slamoppsamling, vil løst nitrogen slippes ut. Det er rimelig å anta at mengde partikulært organisk avfall reduseres ved slamoppsamling på land og i sjø.

**Tabell 12: Klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensial, og marint økotoksisitetspotensial per kg slakteklar laks i scenariene.**

Scenario	Klimafotavtrykk (kg CO <sub>2</sub> ekv. / kg slakteklar laks)	Marint eutrofieringspotensial (kg N ekv. / kg slakteklar laks)	Marint økotoksisitetspotensial (kg 1,4 DCB ekv. / kg slakteklar laks)	Total produksjon av matfisk (tonn)
Referanse-scenario	0,655	0,044	0,415	1.650.000
Scenario 1 – Nedgang	0,650	0,043	0,389	1.320.000
Scenario 2 – Stabilisering	0,665	0,042	0,327	1.650.000
Scenario 3 -Økning	0,734	0,042	0,233	3.330.000

Figur 11 viser det direkte arealbehovet for landbaserte anlegg fordelt på smolt, post-smolt og matfiskproduksjon i hvert av scenariene. I *Scenario 2 - Stabilisering* og *Scenario 3 - Økning* er det produksjon av matfisk i landbaserte anlegg som vil ha størst arealbehov. I *Scenario 3 – Økning* på utgjør behovet for areal for bare matfiskproduksjonen om lag 2.889.000 m<sup>2</sup>. Etter matfisk-produksjon, er det post-smolt i landbasert anlegg som er den største driveren for arealbruk. Det antas at oppdrett i offshore/eksponerte anlegg vil være den største driveren for mer produksjon av post-smolt på land, men andre produksjonsformer kan også ta i bruk post-smolt fra land-basert anlegg, og det er også mulig å produsere post-smolt i både tradisjonell, nedsenkbar, semi- lukket og lukket produksjonsform.



**Figur 11: Gjennomsnittlig estimert arealbehov for produksjon av matfisk, smolt og post-smolt per scenario. Arealbruken inkluderer kun arealbehov på land til drift av produksjonsformene og inkluderer ikke arealbehov knyttet til fôrproduksjon og andre innsatsfaktorer.**

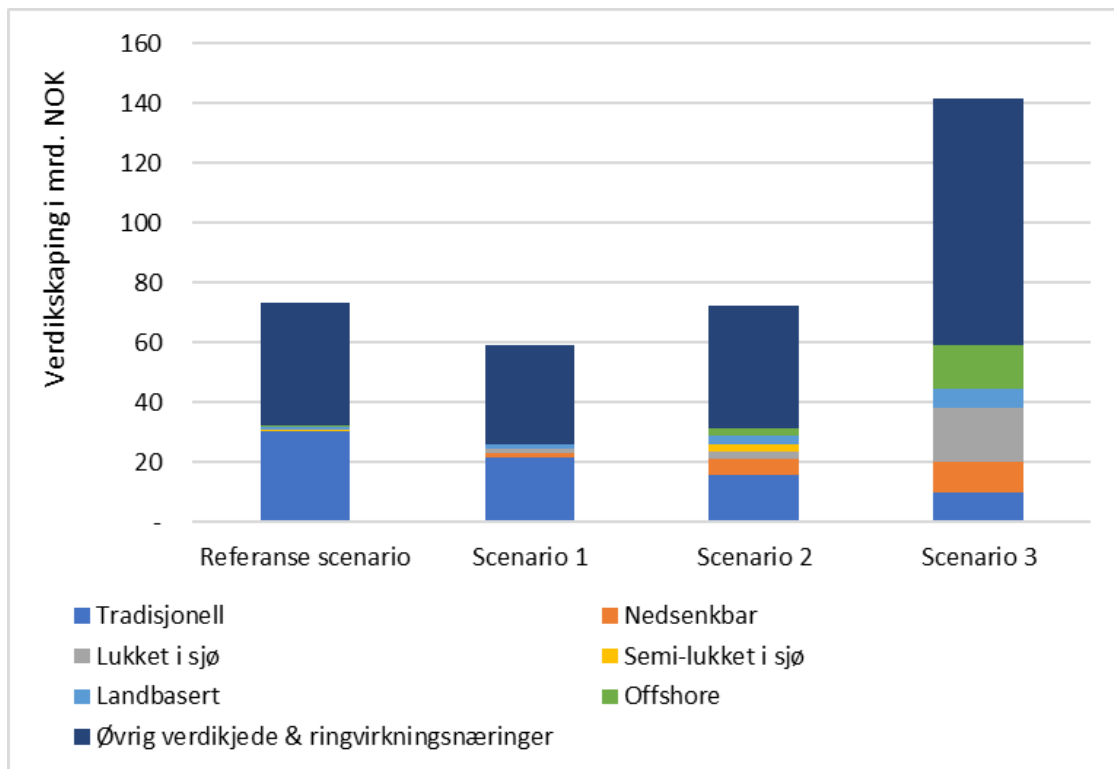
Det legges til grunn at produksjon i alle scenariene vil oppnå en høyere grad av fiskevelferd, grunnet mindre lus og sykdommer, ved en nedskalering av produksjon i *Scenario 1 - Nedgang*, en overgang til lukket og semi-lukket og nedsenkbar i utsatte områder i *Scenario 2 - Stabilisering*, og ved en stor overgang til nye produksjonsformer i *Scenario 3 - Økning*. Det er vanskelig å forutsi og kvantifisere både hvordan sykdomsutbrudd og dødelighet vil utarte seg i scenariene da det finnes lite empirisk datagrunnlag å basere seg på. I *Scenario 2 - Stabilisering* og *Scenario 3 - Økning* der det er stor overgang til nye produksjonsformer, antas det at fiskevelferd forbedres, ved at det er mindre lakselus og lusebehandlinger. Derimot kan andre fiskevelferds-utfordringer oppstå, som vintersår i lukket, semi-lukket produksjonsform ved bruk av kaldt sjøvann fra dypet, eller produksjon i nedsenkbare merder. Sterke havstrømmer kan føre til trenging og press i offshore og eksponerte merder. For alle produksjonsformene antas det en dødelighet mellom 5 – 15 %. En reduksjon i dødelighet, og påfølgende økt produksjon av laks med høy kvalitet vil ha store positive utslag i flere påvirkningskategorier. Dette er grunnet at mer oppdrettet fisk kan gå til mat, og at innsatsfaktorer som energi og fôr ikke har gått til spille. Per nå er det for lite datagrunnlag til å skille dødelighetsrater mellom ulike produksjonsformer, og som skrevet over kan noen produksjonsformer bidra positivt inn på fiskevelferd med lavere smitte- og lusestrykk, men ha andre utfordringer som kan redusere fiskevelferden. Dette kan både redusere og øke dødeligheten sammenlignet med tradisjonell produksjonsform. Lav dødelighet er heller ikke nødvendigvis en god indikator på god fiskevelferd, ettersom at syk og stresset fisk kan slaktes ut før den dør.

Det antas også at scenariene vil ha en positiv effekt på økosystemet rundt og andre arter. Det rimelig å anta at mindre lus, og lavere smitte og sykdomsspredning grunnet nedskalering i *Scenario 1 - Nedgang* og bruk av lukket og semi-lukket produksjonsform som branngater i *Scenario 2 - Stabilisering*, vil gi et netto redusert press på villaks og annen villfisk. Kjemiske lusemidler kan også være giftige for krepsdyr, og derfor vil en overgang til produksjonsformer som har liten eller ingen behov for lusebehandling være positive for annet marint liv også. Bruk av antibegroingsmidler har den største innvirkningen på marint økotoksitetspotensialet og kan være giftig for flere arter, dermed vil redusert bruk som ved bruk av nøter med integrert kobber være mulige tiltak for reduksjon innen denne påvirkningskategorien.

## 5.2 Økonomisk bærekraft

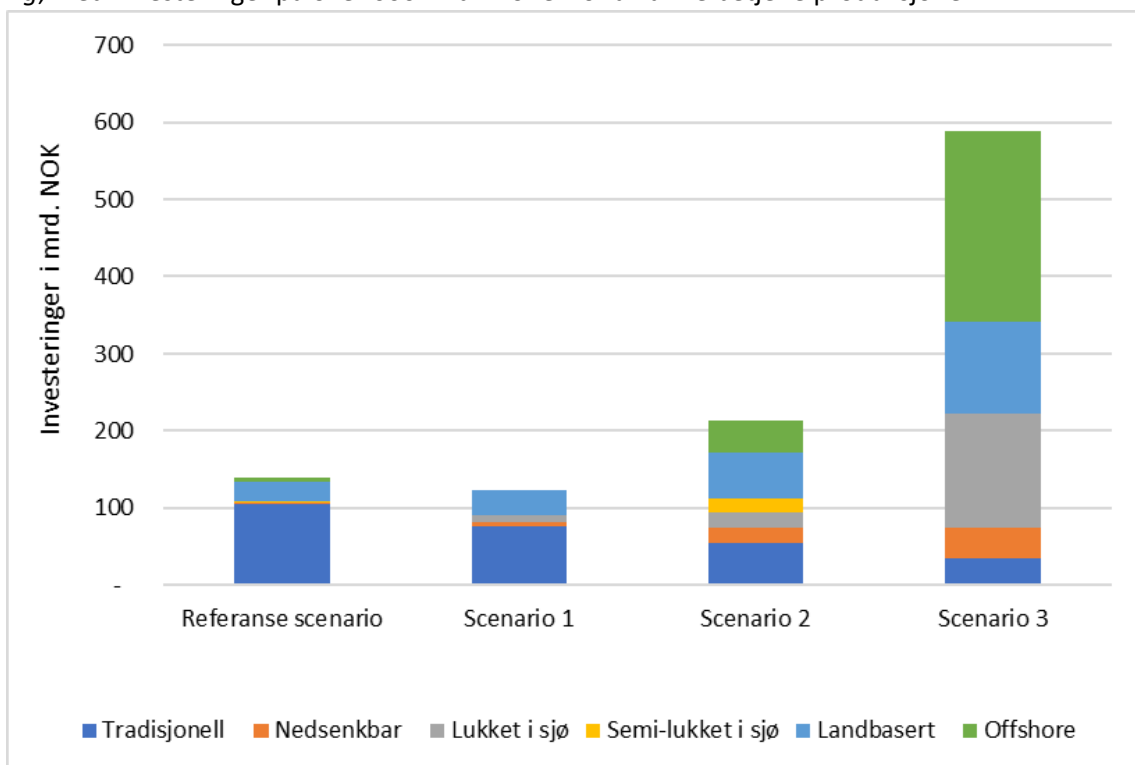
I dette avsnittet ser vi på de økonomiske konsekvensene av de ulike scenariene. Disse er basert på forutsetninger om priser på laks og innsatsvarer, kapitalintensitet per kg produsert fisk, produktivitetsvekst mm. Endringer i forutsetningene vil også endre det bildet vi presenterer. Men størrelsesordener vil opprettholdes i stor grad, og også det innbyrdes forholdet mellom scenariene.

Verdiskapingen i verdikjeden for havbruk er vist i Figur 12 for de ulike scenariene. Den øvrige verdikjede og ringvirkningsnæringene representerer over halvparten av verdiskapingen. Analysen inkluderer kun nasjonal øvrig verdikjede. *Scenario 1 - Nedgang* gir en reduksjon i verdiskapingen i forhold til basis. Dersom reduksjonen i norsk produksjon fører til en økt laksepris kan dette kompensere noe. *Scenario 2 - Stabilisering* representerer en stagnasjon. Det mest optimistiske scenariet, *Scenario 3 - Økning*, gir en dobling av verdiskapingen.



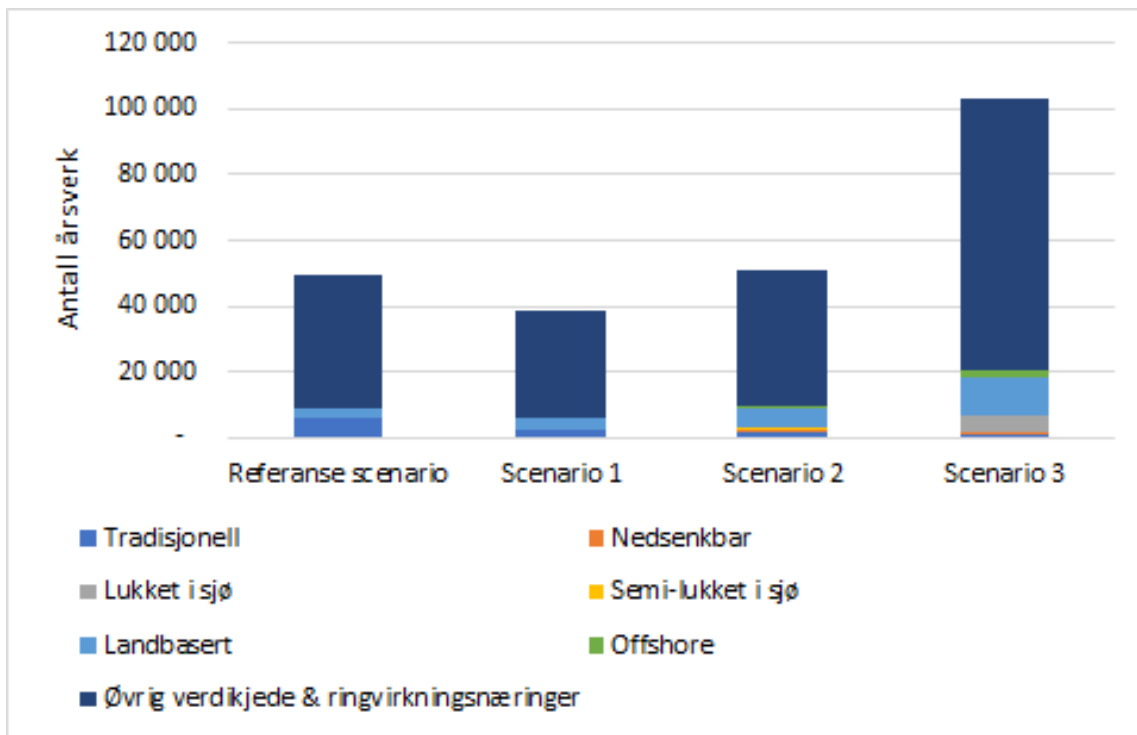
**Figur 12: Scenarier for verdiskaping (i mrd. NOK)**

Figur 13 viser investeringene i fysisk anleggskapital (altså eksklusive lisenser) som er nødvendige for å generere produksjonen i de ulike scenariene. *Scenario 1 - Nedgang* gir et lavere kapitalbehov enn basis. *Scenario 2 - Stabilisering* gir nesten en dobling i investeringene. Det mest dramatiske scenariet er *Scenario 3 - Økning*, med investeringer på over 600 mrd. kroner for å kunne betjene produksjonen.



**Figur 13: Investeringer i hele verdikjeden og ringvirkingsnæringer (i mrd. NOK)**

Figur 14 viser sysselsetning i hele verdikjedene i de ulike scenariene. *Scenario 1 – Nedgang* gir lavere sysselsetning enn basis. *Scenario 2 – Stabilisering* gir nesten uendret sysselsetning. Det mest dramatiske scenariet er *Scenario 3 - Økning*, med en omtrent doubling av sysselsetningen.



Figur 14: Sysselsetting i antall årsverk i hele verdikjeden

### 5.3 Ringvirkningsanalyse

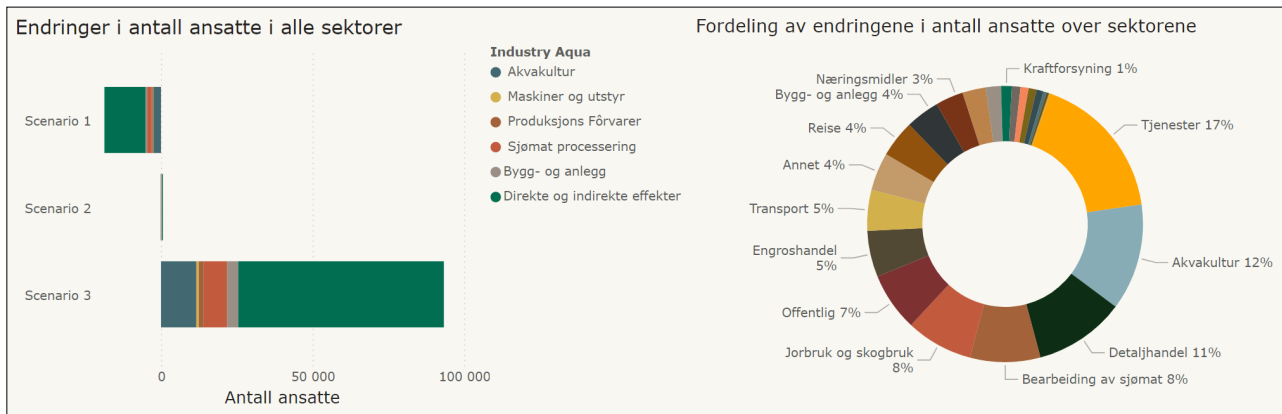
Ringvirkningsanalyser viser de totale virkninger større tiltak kan ha på samtlige sektorer i økonomien. Tallene og effektene er ikke eksakte verdier per produkt, men basere seg på gjennomsnittsverdier for sektorene. Spesielt for ikke-monetære størrelser (antall ansatte, CO<sub>2</sub>-utslipp, etc.) medfører dette at effektene kan være grove og resultatene bør tolkes som en pekepinn for mer dypgående analyser. Grunnen til at disse ikke-monetære størrelsene er spesielt utsatte, er at de antas til å være proporsjonale til produsert verdi, noe som ikke alltid er tilfelle. For å simulere samtlige effekter, er det i tillegg til endringer i etterspørsel i *akvakultursektoren*, lagt inn endringer i *bearbeiding av sjømat* og *bygge- og anleggsvirksomhet* på lik linje med dagens relative fordeling<sup>7</sup>.

Figur 15 viser de totale endringene i antall ansatte på nasjonal basis for de ulike scenariene for 2050 og fordelingen av disse på de ulike sektorene. Resultatene her viser endringene sammenlignet med dagens produksjon (referanse-scenariet), og inkluderer også endringene innenfor *bearbeiding av sjømat* og investeringsaktivitet og avviker dermed fra det som er vist i kapittel om økonomi.

Scenariene skiller seg både i total produsert mengde, og i sammensetningen av de ulike produksjonsformene. Ulighetene på nasjonalt nivå som følge av hvilken produksjonsform som er valgt viser

<sup>7</sup> Å justere disse sektorene manuelt er nødvendig siden disse sektorene er nedstrøms og/eller har ikke direkte verdistrømmer i input-output analysen (det vil si at en endring lagt inn i *akvakultursektoren* vil ikke øke aktiviteten i disse sektorene automatisk).

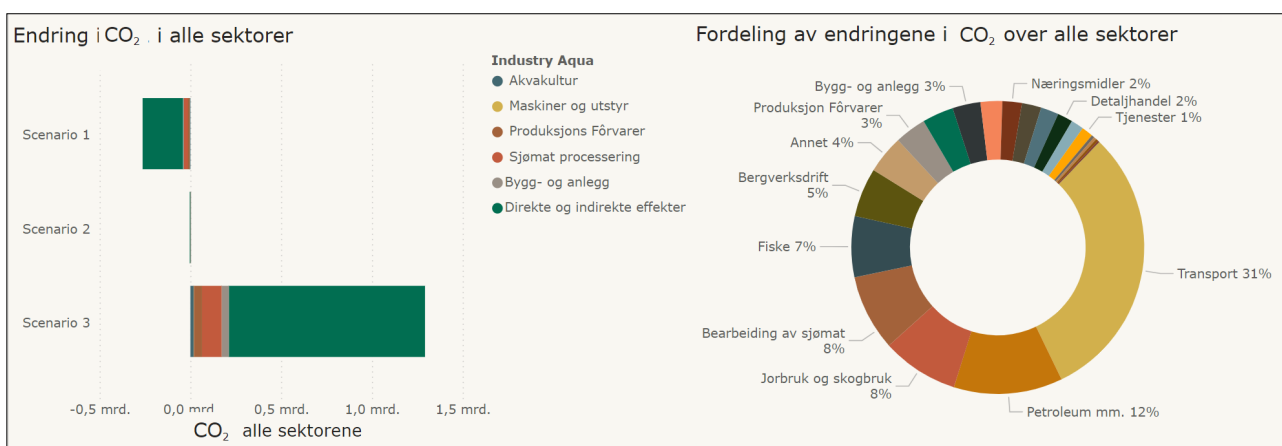
seg til å være små sammenlignet med ulikhetene som følge av total produsert mengde, slik at de prosentvise fordelinger av ringvirkningene (vist i ringdiagrammet) over de ulike sektorene er rimelig like for samtlige scenario. Det ble derfor valgt å vise disse kun for *Scenario 3 – Økning*.



**Figur 15: Totale endringer i antall ansatte og fordeling på sektor. Ringdiagrammet viser i hvilke sektorer det er endring i antall ansatte i *Scenario 3 - Økning*.**

Kun ca. 25 % av sysselsettingseffekten får utslag innenfor de eksogent endrede sektorene. Endringene innenfor verdikjeden for sjømat står for ca. 20 % av endringene med 12 % for *akvakultur*, 8 % for *bearbeiding av sjømat* og kun 1 % for *produksjon av fôrvarer*. Hvor høye virkninger i en sektorer blir er avhengig av både endringene i produksjonen i den sektoren og hvor personellintensiv selve sektoren er. Resultatene her er vist for sektoraggregater, slik at det inngår flere sektorer i for eksempel sektoraggregatet *Tjenester*. Sektoraggregatet *Tjenester* består av svært personellintensive sektorer og står for 17 % av endringen i totale ansatte og er hovedsakelig rådgivningstjenester (akademiske yrker) som juridiske, administrative, finansielle og eiendomsrelaterte tjenester, mens veterinærtjenester utgjør 11 % av disse.

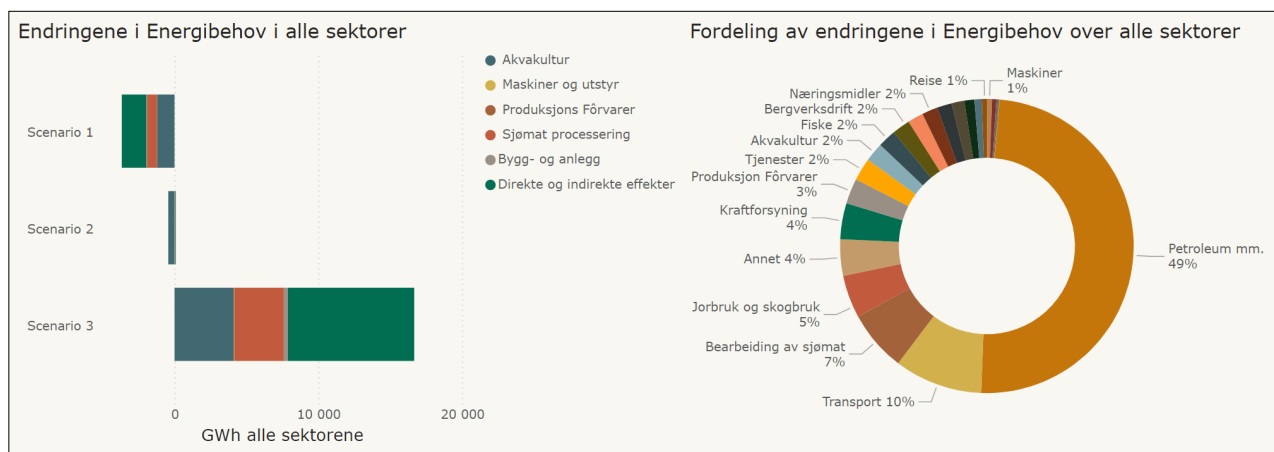
Figur 16 viser de totale endringer i CO<sub>2</sub>-utslipp på nasjonal basis for de ulike scenariene i 2050 og fordelingen av disse (produksjonsbasert) på de ulike sektorene for *Scenario 3 – Økning* (vist i ring-diagrammet). Resultatene her viser endringer kun for norsk aktivitet og er basert på gjennomsnittstall per sektor fra SSB. Disse resultatene viser kun endring i CO<sub>2</sub>-utslipp og er ikke sammenlignbar med resultatene basert LCA-modellen som er presentert i kapittel 4 og i kapittel 5.1, da klimafotavtrykket inkluderer flere klimagasser enn bare CO<sub>2</sub>-utslipp, og er beregnet kun ut fra konstruksjonen av anlegg og produksjonsfasen av laks.



**Figur 16: Totale endringer CO<sub>2</sub>-utslipp i kg og fordelt på sektor. Ringdiagrammet viser i hvilke sektorer det er endring i CO<sub>2</sub> i *Scenario 3 - Økning*.**

Svært lite av endringen i CO<sub>2</sub>-utslippet som kommer av følge av en økning i produksjon av laks, kommer fra selve oppdrettsvirksomheten. *Bearbeiding av sjømat* og *produksjon av fôrvarer* står for henholdsvis 8 % og 3 % av økningen. Både utslipp for *bearbeiding av sjømat* og for *produksjon av fôrvarer* har gjennomsnittsverdier for CO<sub>2</sub> per produsert enhet i norske kroner fra sektoren *Næringsmidler, drikkevarer og tobakk*. Den aggregerte sektoren *Transport* står for hele 31 % av det totale endringen i CO<sub>2</sub>-utslippet. Nest største post er *petroleum mm. (petroleum, farmasøytiske produkter og kjemikaler)* med 12 %. *Jordbruk og skogbruk* med hele 8 % økning er overraskende, en del av dette kan forklares med at de aggregerte sektorene ikke skiller mellom kjøtt eller kornproduksjon. En videre analyse kunne ha større søkelys på hvordan en økning i behovet for fiskefôr dekkes.

Figur 17 viser totale endringer i energibehov på nasjonal basis for de ulike scenariene for 2050 og fordelingen av disse på de ulike industriene for *Scenario 3 – Økning*. Resultatene her viser endringene kun for norsk aktivitet og totalt energibehov og er basert på gjennomsnittstall per sektor fra SSB og er ikke sammenlignbar med resultatene som viser elektrisitetsbehovet for scenariene presentert i kapittel 5.1 (se Figur 6), som viser det direkte behovet for elektrisitet under produksjon av laks i scenariene.



**Figur 17: Totale endringer energibehov i GWh og fordelt på sektor. Ringdiagrammet viser i hvilke sektorer det er endring i energibehov for *Scenario 3 - Økning*.**

Energiprodukter fra SSB omfatter alle varer som benyttes til energiformål og alle energiprodukter som brukes til råstoff-formål. Unntak er passiv solenergi, biomasse og avfall som ikke brukes til energiformål. Primære energiprodukter gjelder produkter som er utvunnet direkte fra naturressurser, som råolje, naturgass og kull. Sekundær energiprodukter produseres ved å omvandle, eller videreforedle annen energi, som for eksempel bensin som er produsert av råolje.

Andelen økt energibehov som oppstår i selve akvakultursektoren, er på lik linje med CO<sub>2</sub>-utslipp som er svært lav med ca. 2 %. Hele 50 % av behovet er tilordnet produksjon av *petroleum mm. (petroleum, farmasøytiske produkter og kjemikaler)*.

I sum kan det konkluderes med at effektene fra en økt produksjon av laks på nasjonalt nivå fører til endring i sysselsetting, CO<sub>2</sub>-utslipp og energibehovet i hele verdikjeden inklusive råvarer til fôr og transporten av laks, innsatsfaktorer og annen transport gjennom landet. Dette viser viktigheten til en helhetlig betraktning. Mens sysselsettingseffekten fordeler seg noe utover flere sektorer, står *Transport* for en høy andel innenfor CO<sub>2</sub>-utslippet. Veldig lite av CO<sub>2</sub>-utslippet som er forårsaket av en økning i lakseproduksjonen, blir dermed tilordnet selve akvakultursektoren.



## 5.4 Sosial bærekraft

I dette avsnittet oppsummeres kort de overordnede vurderingene av de ulike scenariene og deres konsekvenser for sosial/samfunnsmessige bærekraft.

Vurderingene av sosial bærekraft i de tre scenariene viser ulike målkonflikter, som vil variere med endringer i produksjonsvolum og bruk av ny produksjonsteknologi. Samfunnsaksept og hva som påvirker samfunnsaksepten vil også variere og endres over tid, noe som igjen vil påvirke samfunnets forventninger og kan føre til endringer i regulering og politiske veivalg. I *Scenario 1 - Nedgang* har endringer i produksjonen og en reduksjon i totalproduksjonen ført til bedre miljømessig bærekraft og ivaretagelse av villfisk og oppdrettsfisk, men dette har samtidig også redusert bidraget til samfunnet, blant annet reduksjon i sysselsetting, og kan på sikt gi en svekket leverandørnæring og dermed svakere sosial bærekraft. I *Scenario 2 – Stabilisering* har man ved ulike grep oppnådd en mer effektiv utnyttelse av ressurser samtidig som man opprettholder bidrag til samfunnet. Her har man en bedre balanse mellom miljømessig og økonomisk bærekraft, men konsekvensen av tiltakene og reguleringsmekanismene er i hovedsak en stabilisering av produksjonen mer enn den produksjonsveksten man hadde ambisjoner om. I *Scenario 3 - Økning* går teknologiutviklingen og implementeringen av ny teknologi raskere enn i *Scenario 2 – Stabilisering*, godt hjulpet av reguleringer og en videreutvikling av leverandørnæringen. Dette bidrar til økt produksjon og utstrakt bruk av nye produksjonsformer, samt økte bidrag til samfunnet. Samtidig krever dette mer bruk av natur, begrensede ressurser som energi, og det totale fotavtrykket øker.

Som vist i kapittel 3 og i Olsen et al. (2024), innebærer hvert scenario en utvikling som vil kunne ha både negative og positive påvirkninger på sosial bærekraft, og vurderinger rundt sosial bærekraft og samfunnsaksept vil innebære avveininger mellom påvirkningsfaktorer som er koblet til både miljømessig og økonomisk bærekraft. Det er stor usikkerhet knyttet til hvordan disse avveiningene vektlegges av ulike lokalsamfunn, samfunnet ellers og blant politiske beslutningstakere, og det er derfor umulig å vurdere konsekvensene av bedre eller redusert samfunnsaksept i fremtiden. Det er gjort visse forutsetninger om dette i scenario-beskrivelsene (Olsen et al., 2024) da vi anser det som nødvendig med en viss grad av samfunnsaksept for at havbruksnæringen skal være tilstede også i 2050. Denne forutsetningen er også en av årsakene til at det i alle scenariene antas at man har bedre kontroll på lus og lusesmitte, samt bedre biosikkerhet i de ulike fremtidsbildene. Forskjellene mellom scenariene er i større grad knyttet til hvordan man kommer til en slik situasjon (ved reduksjon i produksjonen, mer effektiv utnyttelse og noe endring i teknologibruk, eller storstilt endring i teknologibruk), og dette blir i stor grad påvirket av de regulatoriske rammevilkårene næringen har og hvordan dette påvirker selskapers beslutninger, strategier og investeringer i ny produksjonsteknologi.

## 6 Begrensninger og videre arbeid

### Prosjektets omfang og systemgrenser

Resultatene som presenteres her er basert på nåværende data og kunnskap innhentet fra åtte industriaktører som produserer eller drifter nye produksjonsformer, samt informasjon og data fra litteratur. Det kan skje stor teknologisk utvikling innen 2050, noe som ikke er mulig å hensynta i denne analysen, ettersom det er usikkerhet i hvilke drifts-parametere som er mulig å oppnå i fremtiden. Majoriteten av klimafotavtrykket per scenario er knyttet til lokale utslipp fra forbrenning av diesel på fartøy, arbeidsbåter, brønnbåter og servicefartøy, og ved bruk av dieselgeneratorer på anlegg. Det er spesielt høy usikkerhet rundt estimeringen av fartøybruk, som er basert på grove estimater fra industrien, samt tidligere litteratur med Nistad et al. (2021) som hovedkilde. Det er også stor sannsynlighet for at fartøy til bruk i havbruk vil ha helt andre energibærere i 2050 enn i dag. Det er selvfølgelig også en begrensning at scenariene kun tar for seg utvikling av lakseproduksjon med to ulike parametere, totalt produsert volum og fordeling av produksjon

i ulike produksjonsformer. Som vist i tiltaksanalysen vil energibærere for fartøy og en lavere karbonintensitet på elektrisitets-miks ha potensial for stor reduksjon av klimafotavtrykket. Og dette avhenger igjen av omlegging av fartøyflåten og utviklingen av kraftproduksjon i Norge og i Europa.

Det er stor sannsynlighet for at både Norges og Europas energiforsyning vil endre seg i framtiden, med både økt kraftproduksjon og fra flere fornybare kilder. Det er blant annet forventet at Norges kraftproduksjon vil øke med 30 -70 % innen 2050, og at hovedparten av denne økningen vil komme fra vindkraftproduksjon til land og til havs (Statkraft, 2023). I scenariene har vi tatt utgangspunkt i at all energiforsyning til produksjon i havbruk til havs forsynes av dieselgeneratorer. Det kan tenkes at denne energiforsyningen kan komme fra havvind, men hvorvidt dette ville gi en reduksjon eller økning i total påvirkning på klima og miljø, er noe som må undersøkes videre. I tiltaksanalysen vises det at det er mulig å oppnå store utslippskutt ved overgang til energibærere med lavere karbonintensitet enn dagens energibærere. Det er derimot ikke inkludert i analysen hvilke andre negative påvirkninger dette kan på andre indikatorer som forsuring, økotoksisitet og eutrofiering.

Fôrproduksjon og fôrtilgang har ikke vært inkludert i dette prosjektet, men det er åpenbart at fôret vil ha en stor innvirkning på den totale bærekraften i norske oppdrettsindustrien. Frem mot 2050, vil nok fôrtilgang og endret fôrproduksjon grunnet klimaendringer være store utfordringer for næringen. Det forskes mye på nye fôringredienser som kan produseres lokalt, og som mulig vil kunne dekke behovet for protein og erstatte importerte råvarer over tid. Selv om oppdrettere bruker spesifikke fôrkomposisjoner/fôrrecepter til sin produksjon, anses den økonomiske fôrfaktoren som den viktigste forskjellen mellom produksjonsformene når det kommer til fôr. Lukkede anlegg til sjøs og på land kan oppnå en lavere fôrfaktor enn åpne anlegg, og kan dermed bruke mindre fôr, noe som igjen kan redusere den største bidragsyteren til klimafotavtrykket (Johansen et al., 2022). Slamoppsamling og behandling, og evt. andre prosesser knyttet til en verdikjede for slam har heller ikke vært inkludert i denne analysen, men vil kunne påvirke den helhetlige bærekraften av de produksjonsformene som samler opp slam.

### Datamangel og metodiske begrensninger

Flere påvirkningskategorier som er svært viktige for bærekraften til norsk lakseproduksjon, dødelighet, fiskevelferd og smitte, er lagt inn med forbedringer, altså redusert dødelighet, redusert smitte, og forbedret fiskevelferd, som et felles grunnlag i scenarie-beskrivelsen i Olsen et al. (2024). Det vil være svært viktig å få dokumentert hvordan nye produksjonsformer presterer innen disse kategoriene fremover. Dødelighet er en kategori som også vil ha stor innvirkning på økonomiske og miljømessige indikatorer som f.eks. lønnsomhet og klimafotavtrykk. Det er en generell mangel på empirisk data fra produksjon av laks i nye produksjonsformer. Dette gjelder både innen tall på forbruk av innsatsfaktorer som elektrisitet, diesel og kjemikalier osv., men også tall på antall lakselus, sykdomsutbrudd, dødelighet, rømming, miljøundersøkelser på havbunn rundt nye produksjonsformer, kostnader, lønnsomhet, antall ansatte, HMS hendelser og mer. Det vil være viktig med et godt datagrunnlag innen alle påvirkningskategoriene kartlagt i dette prosjektet, presentert i Slette et al. (2023), for å kunne gi mer detaljerte vurderinger av bærekraft innen produksjonsformene.

Utstyrsleverandørene jobber med å erstatte jomfruelig plast med resirkulert plast i utstyret, men kunnskap om stor prosentandel av resirkulert materialet kan brukes er ikke åpent tilgjengelig. Derfor har dette ikke blitt inkludert som et mulig tiltak, men det er aktuelt å undersøke miljøgevinstene av resirkulert plast nærmere. Gevinstene ved å bruke av resirkulert stål er basert på bruk av tall fra databasene Ecoinvent 3 og IDEMAT 2001, og viser en reduksjon på 98 % av klimafotavtrykket per kg stål produsert. Denne utslippsreduksjonen er nok kraftig overvurdert, både i mulig reduksjon per kg stål, men også grunnet at det nok ikke vil være mulig med en 100 % erstatning av jomfruelig stål med resirkulert stål, grunnet krav til kvalitet. I *Scenario 3 - Økning*, utgjør jomfruelig stål 8 % av det totale klimafotavtrykket, og en reduksjon på

98 % per kg stål, utgjør da en reduksjon på 7,84 % totalt i scenariet. I litteraturen er det vist til at bruk av resirkulert stål kan gi en reduksjon av klimagassutslipp på om lag 58 % per kg stål produsert, som ville gitt en reduksjon av totalt 4% i *Scenario 3 -Økning* (EuRIC AISBL, n.d.). Det er da rimelig å anta, at i *Scenario 3 -Økning*, er reduksjonen bruk av resirkulert stål over estimert med opptil 4%, dersom alt stål som benyttes er resirkulert. Ved en blanding av jomfruelig stål og resirkulert stål, vil reduksjonen være enda lavere.

I dette arbeidet er de miljømessige konsekvensene kun basert på globale årsaks-virknings modeller og data og derfor har usikkerheter knyttet til hva den lokale påvirkningen skal være i norske forhold. Påvirkningen vil variere avhengig av hvor uønskede stoffer, som antibegroingsmidler, medisiner og kjemikalier til lusebehandling, samt slam og næringssalter slippes ut og de lokale forholdene i det marine miljøet. Stedsspesifikke vurderinger er derfor nødvendig for en helhetlig forståelse av miljøpåvirkninger i ulike produksjonsområder. Videre er utslipp av kobber fra nøter basert på dagens kunnskap og understreker behovet for tett overvåking og datainnsamling om utslipp fra akvakulturanlegg.

### Begrensning ringvirkningsanalyser

Ringvirkningsanalysen baserer seg på gjennomsnittstall fra aggregerte sektorer og må tolkes som slike. Resultatene har også de begrensningene alle analyser basert på historiske data har (bl.a. kontinuitet, ingen infrastrukturendringer). Dette innebærer blant annet at samtlige relative fordelinger i økonomien er konstante (bl.a. innsatsandelen og importandelen) over tid og blir heller ikke påvirket av endringene i enkelte sektorer. Videre er det ikke antatt at det er noe tak for produksjonen i sektorene. Ringvirkningsanalysen viser et bilde av hvordan effektene kan forplante seg gjennom økonomien og bør sees som utgangspunkt for en mer nøyaktig undersøkelse av disse sammenhengene.

### Begrensninger med framskrivning av scenarier

Arbeidet med scenarier er basert på usikre antagelser mye fordi det er mange ulike regulatoriske grep som er utredet, foreslått, og som debatteres. Videre er det lite forskning på hvordan ulike regulatoriske grep virker, ikke minst i sammenheng med andre virkemidler og eksterne faktorer. Det er summen av disse som vil påvirke beslutningene i næringen. Det er dette som gjør at det er vanskelig å si med sikkerhet hvilke virkninger ulike utviklingsløp vil ha på sosial og økonomisk bærekraft.

### Forslag til videre forskning

- Det trengs mer kunnskap om lokale effekter gjennom årsak-virkning kjede for modellering og utvikling av regionale karakteriseringsfaktorer i LCA-metodikken som kan angi mulig effekt i spesifikke regioner/områder. Dette gjelder f.eks. utslipp av organiske materiale og kjemiske stoffer som avlusningsmidler og antibegroingsmidler.
- Bygge datagrunnlag om forskjeller i drift av produksjonsformer når det gjelder drivstoff-forbruk, energiforbruk, avlusning, bruk av kjemikalier osv. Dette gjelder også kunnskap rundt fiskevelferd, smitte, tall på lakselus, rømming, kostnader, lønnsomhet, ansettelse, HMS osv.
- Mer kunnskap og kartlegging rundt bruk av resirkulerte materialer i havbrukskonstruksjoner, og hvilken innvirkning det har på levetid og vedlikehold, sammenlignet med konstruksjoner bygget i jomfru-materialer som stål og plast.
- Inkludere verdikjeden for fôr for et helhetlig bilde av miljøpåvirkning knyttet til dyrking og høsting av fôrråvarer.
- Undersøke det totale miljøfotavtrykket på slamopsamling og etablering av en egen verdikjede for slam.
- Ta i bruk internasjonale ringvirkningsanalyser for å forstå effekter på ansettelse, energibehov og CO<sub>2</sub>-utslipp utenfor landegrensene i Norge av enn endring i norsk lakseproduksjon. F.eks. kan endringer i etterspørsel av laks i Norge gi både negative og positive effekter i andre land fordi Norge er avhengig av å importere varer og tjenester fra andre land, for å produsere egne varer og tjenester.

- Det er behov for mer forskning på hvilket handlingsrom næringen har i lys av offentlig havbruksforvaltning. Det innebærer også å bedre forstå hvordan interaksjonen mellom regulator (i ulike myndighetsorgan) og næringsaktører kan bidra til en mer positiv utvikling for både samfunn og næring.

## 7 Konklusjon

I denne rapporten har bærekraften til tre fremtidige scenarier for norsk produksjon av laks i nye produksjonsformer blitt overordnet vurdert og sammenlignet med et referanse-scenario som representerer dagens produksjon av laks. Vurderingen av bærekraft inkluderer en rekke indikatorer innen miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft. Disse indikatorene er klimafotavtrykk, marint eutrofieringspotensiale, marint økotoksisitetspotensial, energi- og arealbehov, sysselsetting, verdiskaping og investering samt andre kvalitative vurdering på virkninger på natur, miljø og samfunnet.

Tabell 13 viser en oppsummerende oversikt av hoved effekter per scenario for miljømessig, økonomisk og sosial bærekraft sammenlignet med referanse-scenarioet. Rød farge viser negativ (uønsket) effekt og grønn farge viser positiv (ønsket) effekt. Lyse farger viser en liten til medium endring (0-30 %) og mørke farger stor endring i forhold til referanse-scenarioet (mer enn 30 %).

**Tabell 13: Overordnet vurdering av bærekraft i scenariene sammenlignet med referanse-scenariet. Grønn farge betyr en forbedring, og rød farge betyr en forverring eller reduksjon. Lyse farger viser til liten til medium endring (antatt 0-30 %), og mørke farger viser til en stor endring (mer enn 30 %).**

Indikator	Scenario 1 - Nedgang	Scenario 2 - Stabilisering	Scenario 3 - Økning
Total produksjon (i tonn slakteklar laks)			
Verdiskaping (i mrd. NOK)			
Sysselsetting (i antall årsverk)			
Klimafotavtrykk (i Kilotonn CO <sub>2</sub> ekv.)			
Marint økotoksisitetspotensial (i tonn 1,4 DCB ekv.)			
Marint eutrofieringspotensial (i tonn N ekv.)			
Arealbehov for land-baserte anlegg (i m <sup>2</sup> )			
Dieselbruk for fartøy (i tonn diesel)			
Endring i elektrisitetsbehov for anlegg (i GWh)			

*Scenario 1 – Nedgang* har en nedgang i produksjon, redusert antall sysselsatte og verdiskaping mens det er mindre miljøbelastning både som en effekt av mindre produksjonsvolum og en økt bruk av andre produksjonsformer enn tradisjonell produksjonsform. Arealbehov på land øker pga. økt landbasert produksjon. Direkte energibehov for drift av anleggene øker grunnet overgangen til landbasert, men totalt energibehov i alle sektorer er redusert betydelig.

I *Scenario 2 – Stabilisering* har produksjonen stabilisert seg, og økonomiske indikatorer viser en positiv effekt, som høyere verdiskaping og mer sysselsetting. Miljømessige indikatorer viser en liten negativ effekt på klimafotavtrykk, energibehov og behov for areal på land som skyldes økt landbasert produksjon og en overgang til andre produksjonsformer enn tradisjonell. Til tross for økning i elektrisitetsbehov, er det redusert energibehov i ringvirkningsindustri for dette scenariet. For marin eutrofieringspotensial og økotoksisitetspotensial er det en positiv utvikling med reduserte utslipp.

I *Scenario 3 – Økning* er produksjonen doblet og det vises en betydelig økning i behov for areal og energi. Verdiskaping og antall sysselsatte er omtrent doblet sammenlignet med referanse-scenariet. Miljøbelastning som skyldes organisk utslipp øker grunnet generell økning i produksjon, men per kg fisk produsert er den lavere enn i alle de andre scenariene. Det er også kun en liten økning i marint økotoksisitetspotensial, men denne kan være underestimert som følge av antagelser rundt bruk av nøter med integrerte antibegroingsmidler for offshore/eksponert produksjonsform. Klimafotavtrykket øker først og fremst grunnet en dobling i produksjonen.

Klimafotavtrykket sett for *Scenario 3 – Økning*, er over en dobling av klimafotavtrykket til referanse-scenariet. Klimafotavtrykket til per kg laks produsert er ikke mer enn 0,079 kg CO<sub>2</sub>-ekv. høyere enn i referanse-scenariet som vist i Tabell 12. Økningen skyldes at nye produksjonsformer, og spesielt offshore/eksponert produksjonsform har et høyere klimafotavtrykk knyttet til bl.a. energiforbruk, som i denne analysen er antatt å være diesel. Ved implementering av tiltak som biometanol som energibærer for fartøy, 100 % resirkulert plast og kun norsk elektrisitets miks, kan scenariet oppnå en reduksjon på totalt 55 % og ha et klimafotavtrykk tilnærmet likt dagens nivå. Disse tiltakene er svært optimistiske, og endringer som kreves i infrastruktur er ikke inkludert. Derimot er andre tiltak for å redusere klimafotavtrykk som bruk av resirkulert plast og lav-utslippsenergibærer til offshore/eksponert produksjonsform heller ikke inkludert i analysen, men implementering av disse har også potensiale for ytterligere reduksjoner.

En økonomisk bærekraftig utvikling handler mye om at investeringene som må foretas for å redusere miljø- og klimaavtrykkene per produsert kg er tilstrekkelig lønnsomme. Bærekraftig vekst forventes å medføre en betydelig økning i kapitalintensiteten per produsert kg, for eksempel i lukkede sjøanlegg og for havbruk til havs. Det er avgjørende at reguleringer og skatteregime får nødvendige endringer som bidrar til at markedssvikter med tanke på bærekraftshensyn korrigeres og at risikojustert avkastning på investeringer kan bli konkurransedyktig mot alternativer.

De kvalitative vurderingene av sosial bærekraft viser at nye produksjonsformer i ulike mikser antas å bidra positivt ved å redusere miljøutslipp og opprettholde/øke næringens bidrag til samfunnet. Sysselsetting og ringvirkninger kan øke i takt med produksjonsvolum, som også kan bidra til økt samfunnsaksept. Samtidig kan nye produksjonsformer og økt produksjon bidra til et større klimafotavtrykk og naturinngrep som kan ha negative konsekvenser for samfunnsaksept og sosial bærekraft. Det er derfor viktig med en god balanse mellom næringens samfunnsbidrag og påvirkning, og samfunnets forventninger og aksept for produksjonens konsekvenser på natur, miljø og klima. Realisering av bærekraftig vekst i fremtiden vil avhenge av flere faktorer, men næringens rammevilkår, reguleringsmekanismer og skatter, og eksterne krav antas å ha særlig stor påvirkning på hvor raskt, hvordan og i hvor stor grad næringen tar i bruk ny produksjonsteknologi.

### Næringsnytte

Prosjektet har kartlagt en rekke relevante måleindikatorer for produksjon av laksefisk innen de tre bærekraftdimensjonene som gir et felles utgangspunkt for fremtidige vurderinger og evalueringer for å måle bærekraft. En helhetlig vurdering av bærekraft på tvers av de tre dimensjonene og fremheving av målkonflikter også gir et kunnskapsgrunnlag til næringen som kan muliggjøre bedre investeringsbeslutninger i fremtiden. Ved å estimere påvirkningen ved bruk av ulike indikatorer som eutrofieringspotensialet og økotoksisitetspotensialet gir innsikt i påvirkning på flere områder enn kun klimafotavtrykk, for å unngå 'Burden shifting'. Selv om det er en del usikkerheter knyttet til datagrunnlaget benyttet i de ulike analysene, gir prosjektet økt kunnskap på hvilke ledd i verdikjeden som har forbedringspotensial samt hvilke ledd som trenger bedre data for fremtidige analyser.

## 8 Referanser

Albertsen, M. O., Grønvik, O., Johnsen, P. F. F., & Fjose, S. (2022). *RINGVIRKNINGSANALYSE AV*

*HAVBRUKSNÆRINGEN. HØY PRODUKTIVITET OG GOD VEKST, MEN HAR HAVBRUKSNÆRINGEN NOK*

*KRAFT TIL Å FORTSETTE VEKSTEN?* Menon Economics. [https://www.menon.no/wp-](https://www.menon.no/wp-content/uploads/2022-96-Ringvirkningsanalyse-av-havbruksnaeringen-1.pdf)

[content/uploads/2022-96-Ringvirkningsanalyse-av-havbruksnaeringen-1.pdf](https://www.menon.no/wp-content/uploads/2022-96-Ringvirkningsanalyse-av-havbruksnaeringen-1.pdf)

Branca, T. A., Colla, V., Algermissen, D., Granbom, H., Martini, U., Morillon, A., Pietruck, R., & Rosendahl, S.

(2020). Reuse and Recycling of By-Products in the Steel Sector: Recent Achievements Paving the

Way to Circular Economy and Industrial Symbiosis in Europe. *Metals*, 10(3), Article 3.

<https://doi.org/10.3390/met10030345>

Chalmers University and Technology, & IVL Svenska Miljøinstituttet. (2023). *Nordic Roadmap Future Fuels*

*for Shipping* (Publication No.1-C/1.1/2023).

Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development

through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics.

*Resources Conservation and Recycling*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>

EuRIC AISBL. (n.d.). *Metal Recycling Factsheet*.

[https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euric\\_metal\\_recycling\\_factsheet.p](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euric_metal_recycling_factsheet.pdf)

[df](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euric_metal_recycling_factsheet.pdf)

Fiskeridirektoratet. (2023). *Salg av laks og regnbueørret*. Fiskeridirektoratet.

[https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-](https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Salg%20av%20laks%20og%20regnbue%C3%B8rret)

[regnbueoerret-og-oerret/Salg%20av%20laks%20og%20regnbue%C3%B8rret](https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Salg%20av%20laks%20og%20regnbue%C3%B8rret)

Grefsrud, E. S., Agnalt, A.-L., Andersen, L. B., Diserud, O., Dunlop, K. M., Escobar, R., Fiske, P., Hansen, P. K.,

Hindar, K., Husa, V., Jansson, E., Johnsen, I. A., Karlsen, Ø., Karlsson, S., Madhun, A. S., Nedreaas,

K., Nilsson, J., Parsons, A. E., Samuelsen, O., ... Wennevik, V. (2024). *Risikorapport norsk*

*fiskeoppdrett 2024* (ISSN:1893-4536; p. 200). Havforskningsinstituttet.

<https://www.hi.no/templates/reporteditor/report-pdf?id=79308&27623076>



- Heskestad, A., Ludvigsen, T., Vagle, A., Tveterås, Ragnar, & Misund, B. (2023). *Mulighetsstudie for norskerenna sør* (2023/09).
- Iordan, C.-M., Strand, A. V., & Mehta, S. (2024). *Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies* (ISBN 978-82-14-07234-1).
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., Hess, E. J., Rolland, K. H., Garshoel, L. D., & Marthinussen, A. (2019). *Kostnadsutvikling og forståelse av drivkrefter i norsk lakseoppdrett*. Nofima, Kontali Analyse.
- Johansen, U., Nistad, A. A., Ziegler, F., Mehta, S., Langeland, M., Wocken, Y., & Hognes, E. S. (2022). *Greenhouse gas emissions of Norwegian salmon products* (ISBN 978-82-14-07907-4). SINTEF Ocean, RISE and Asplan Viak. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901718/>
- Klima og miljødepartementet. (2023, August 28). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk* [Redaksjonellartikkel]. Regjeringen.no; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Mæhle, N. Ø. (1992). *Kryssløpsdata og kryssløpsanalyse 1970-1990* (Rapporter 92/62). Statistisk sentralbyrå.
- Miller, R., & Blair, P. (2009). *Input-Output Analysis: Foundation and Extensions*. (Andre utgave). Cambridge University Press.
- Misund, A., & Thorvaldsen, T. (2022). *Nye produksjonssystemer i havbruk. Utfordringer og muligheter. Rapport* (2022:01019). Sintef. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3025748/Nye%2bproduksjonssystemer%2bi%2bhavbruk%2bMisund%2bOglend%2b2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Misund, B., Landazuri-Tveteraas, S., & Oglend, A. (2023). *Tiltak for å øke produksjonen av laks og ørret i Nordhordland*. (NORCE Rapport 26/2023).

- Misund, B., Olsen, M. S., Osmundsen, T. C., & Tveterås, R. (2023). The Political Economy of Salmon Aquaculture: Value Sharing and Societal Support for Aquaculture in Norway. *Marine Resource Economics*, 38(4), 365–390. <https://doi.org/10.1086/726242>
- Møller, S. (2018). *Energy Demand and Electrification Potential of the Atlantic Salmon Farming Industry in Norway. Student report (EPT-P-2018-81)*. NTNU.
- NCE Seafood Innovation. (2023). *Industry Insight. The future of plastics in the Norwegian aquaculture industry*.
- Nistad, A. A., Hognes, E. S., Jenssen, J. I., Winther, U., Johansen, U., & Hermansen, T. S. (2021). *Potensialet for redusert klimagassutslipp og omstilling til lavutslippsamfunnet for norsk oppdrettsnæring. Status for dagens næring, fremtidig utvikling og potensialet for reduserte klimagassutslipp*. Asplan Viak, SINTEF. <https://7649011.fs1.hubspotusercontent-eu1.net/hubfs/7649011/Rapport%20-%20Energi%20og%20klimakartlegging%20havbruk%20-%20Av%20Asplan%20Viak%20og%20SINTEF%20Ocean.pdf>
- Nyrud, T., Iversen, A., Bendiksen, B. I., Robertsen, R., & Steinsbø, S. (2023). *Havbruksnæringens ringvirkninger. Verdiskaping og sysselsetting i 2022*. (32/2023). Nofima. <https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/bitstream/handle/11250/3108841/Rapport%2b32-2023%2b-%2bHavbruksn%25C3%25A6ringens%2bringvirkninger%2bi%2b2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Olsen, M. S., Amundsen, V. S., & Osmundsen, T. C. (2023). Exploring public perceptions and expectations of the salmon aquaculture industry in Norway: A social license to operate? *Aquaculture*, 574, 739632. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739632>
- Olsen, M. S., Osmundsen, T., Misund, B., Johansen, E., Strand, A. V., Mehta, S., Henriksen, K., & Tveterås, R. (2024). *Regulering og utvikling av fremtidens havbruksproduksjon—Scenarier for 2050. Notat fra AP3 i PåLaks-prosjektet* (p. 40). NTNU Samfunnsforskning AS.

- Pauliuk, S., Milford, R. L., Müller, D. B., & Allwood, J. M. (2013). The Steel Scrap Age. *Environmental Science & Technology*, 47(7), 3448–3454. <https://doi.org/10.1021/es303149z>
- PwC. (2023). *PwC Seafood Barometer 2023*. <https://www.pwc.no/no/publikasjoner/2023-rapport-sjoematbarometeret.pdf>
- Sample, J. E. (2024). *Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2022* (ISBN 978-82-577-7700-5). NIVA.
- Sjøfartsdirektoratet. (2023). *Oppdrag om utarbeidelse av lav- og nullutslippskrav til servicefartøy i havbruksnæringen*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/e968cc82151b4dd19c335941c208094d/oppdrag-om-utarbeidelse-av-lav-og-nullutslippskrav.pdf>
- Skår, K., Løkslett, H., Misund, B., Sandvik, A. D., Stige, L. C., Taranger, G. L., & Tveterås, Ragnar. (2024). *Fra rød til grønn kyst. Kunnskapsinnhenting for bærekraftig omstilling av havbruksaktiviteten i Vestland* (VI Rapport 9/2024).
- Slette, H. T., Lona, E., Tveten, E. G., Pedersen, M. J., Steen, S., Belsnes, M. M., Jafarzadeh, S., & Mehta, S. (2024). *Alternative energikilder og -bærere i sjømatnæringen. Delrapport 3 i EnerSea—Tilgang på fornybar energi i sjømatnæringen fram mot 2040* (ISBN 978-82-14-07032-3). SINTEF Ocean. <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901866/>
- Slette, H. T., Olsen, M. S., Misund, B., Tveterås, R., Strand, A. V., Wetterwald, V. E., Misund, A., Osmundsen, T., & Johansen, E. (2023). *Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft—For vurdering av påvirkning på klima, natur og miljø, samt sosial og økonomisk bærekraft*. SINTEF Ocean AS. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/3106143>
- SSB. (2024). *08307: Produksjon, import, eksport og forbruk av elektrisk kraft (GWh), etter år og statistikkvariabel*. Statistikkbanken. SSB. <https://www.ssb.no/system/>
- Statkraft. (2023). *Lavutslippsscenario Norge*. <https://www.statkraft.no/globalassets/0/.no/7-kampanjer/lavutslipp/2023/statkraftlavutslippsscenario-norge-2023.pdf>

- Statnett. (2024, May 7). *2022 – nok et eksepsjonelt kraftår*. Statnett. <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/nyhetsarkiv-2023/2022--nok-et-eksepsjonelt-kraftar/>
- Størkersen, K., Salomonsen, C., Kongsvik, T., & Thorvaldsen, T. (2024). *HMS i det nye havbruket. En studie av organisatoriske forhold i forskjellige produksjonsformer for lakseoppdrett. Rapport*. (2024:00185; p. 26). SINTEF.
- Strand, A. V., Iordan, C.-M., & Mehta, S. (2024). *Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks* (ISBN 978-82-14-07197-9). SINTEF Ocean AS.
- Thorvaldsen, T., Salomonsen, C., Ranum, S. A., Trædal, P., Misund, A., & Holmen, I. M. (2023). Prepared for the worst? Emergency preparedness in Norwegian fish farming – Status and further improvements. *Aquaculture*, 577, 739921. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739921>
- Tveterås, R., Bruland, G., Bryde, M. H., Handeland, S., Misund, B., Nilsen, A., & Solberg, T. (2021). *Bærekraftig vekst med lukkede anlegg i sjø* (Stiim Aquacluster Rapport 01/21). <https://stiimaquacluster.no/wp-content/uploads/2021/04/Stiim-Rapport-Flytende-Lukket-Oppdrett-i-sjo.pdf>
- Tveterås, R., Bryde, M. H., Bruland, G., Misund, B., Walde, C. S., Akbas, K. K., & Søndena, A. V. (2023). *Bærekraftig bruk av kystarealene i havbruk—Finnes det tilgjengelig areal for vekst?* (Stiim Aquacluster Rapport 03/23).
- Tveterås, R., Hovland, M., Reve, T., Misund, B., Nystøyl, R., Bjelland, H., Misund, A., & Fjellidal, Ø. (2020). *Verdiskapingspotensiale og veikart for havbruk til havs*.
- Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: Environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), 267–283.
- Winther, U., Hognes, E. S., Jafarzadeh, S., & Ziegler, F. (2020). *Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017* (2019:01505).

Winther, U., Tiller, R., Bull-Berg, H., Vik, L., & Grindvoll, I. L. T. (2017). *Ringvirkningsanalyse for teknologi- og serviceleverandører til sjømatnæringen—Leverandører, utviklingstrekk og eksport* (ISBN 978-82-7174-301-7). SINTEF Ocean AS. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2450865/OC2017%2bA-128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## A Innsatsfaktorer til LCA

**Tabell 14: Oversikt over innsatsfaktorer per produksjonsform. Innsatsfaktorene baserer seg på gjennomsnittlige verdier fra eksisterende og fremtidige konsepter, samt verdier fra litteratur.**

	Enhet	Tradisjonell	Landbasert	Offshore	Semi-lukket	Lukket	Nedsenkbar
<b>Energibruk</b>							
Elektrisitet	kWh/ kg slakteklar laks	0,05	7			1,1	1,1
Elektrisitet spekter	kWh / slakteklar laks		6-9		0,1-2,3	0,8-2,3	
Diesel	kg / slakteklar laks	0,01		0,10			0,006
Diesel spekter	kg / slakteklar laks			0,033-0,214			
<b>Dieselforbruk i fartøy</b>							
Arbeidsbåter	kg / slakteklar laks	0,0756	0,0378	0,1134	0,0378	0,0378	0,0567
Service fartøy <15 m	kg / slakteklar laks	0,0168	0	0	0,0084	0,0084	0,0168
Arbeidsbåter ved anlegg	kg / slakteklar laks	0,0126	0	0	0,0126	0,0126	0,0126
Service fartøy >15m	kg / slakteklar laks	0,00672	0	0,01008	0,00672	0,00672	0,00672
Mindre arbeidsbåter	kg / slakteklar laks	0,00588	0	0	0,00588	0,00588	0,00588
Totalt	kg / slakteklar laks	0,1176	0,0378	0,12348	0,0714	0,0714	0,0987
<b>Kjemikalier</b>							
Hydrogen peroksid (kjemisk lusebehandling)	kg / slakteklar laks	0-0,00325	0	0-0,001625	0	0	0-0,001625
Kobberimpregnering	kg / slakteklar laks	0,00027	0	0	0 0-0,00027	0	0,00027
Tralopyril (antibegoringsmiddel)	kg / slakteklar laks	5,82E-05	0	0	0 0-0,0000582384	0	5,82E-05
<b>Produksjon av smolt</b>							
Smolt à 130 g	kg / slakteklar laks	0,034	0,034		0,034	0,034	0,034
Elektrisitet	kWh / slakteklar laks	8,5	8,5		8,5	8,5	8,5
Sodium hydroxide	kg / slakteklar laks	0,2	0,2		0,2	0,2	0,2
Areal	m2a / (slakteklar laks * livstid)	0,0013	0,0013		0,0013	0,0013	0,0013
<b>Post-smolt produksjon</b>							
Smolt à 1 kg	kg / slakteklar laks			0,2333			
Elektrisitet	kWh / slakteklar laks			8,8			
Sodium hydroxide	kg / slakteklar laks			0,2			
Areal	m2a / (slakteklar laks * livstid)			0,000375			
<b>Før - NB! disse parametrene brukes kun for å beregne utslipp av førspill, feces og og ekskresjon</b>							
Førfaktor	kg / slakteklar laks	1,3	1,1	1,3	1,1	1,1	1,3
Førspill	%	10	2,5	10	2,5	2,5	10
Førspill spredning	%	5-15	1-5	5-15	1-5	1-5	5-15
<b>Dødelighet</b>							
Dødelighet	%	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15	5-15
<b>Oppsamling av slam</b>							
Oppsamling av partikulært materiale	%		0 50-99		0	0 30-50	0
<b>Materialer</b>							
<b>Plast</b>							
PE-plast	kg / (slakteklar laks * livstid)	0,011	0,00647	0,00049	0,00757	0,009	0,0113
PP- plast	kg / (slakteklar laks * livstid)	0,011					0,0110
Nylon	kg / (slakteklar laks * livstid)	0,005			0,005		0,005
<b>Metall</b>							
Stål	kg / (slakteklar laks * livstid)	0,0064	0,01144	0,06871	0,0003-0,056	0,0001	0,0064
Aluminium	kg / (slakteklar laks * livstid)				0-0,0007		
Bly					0-0,0007		
<b>Andre materialer</b>							
Betong	m3 / / (slakteklar laks * livstid)		0,466			0,001	
Glassfiber/kompositt	kg / (slakteklar laks * livstid)		0,007		0,003	0,005	
Livstid gjennomsnitt av anlegg	år	25	25	25	25	25	25
Livstid	år	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
Areal	m2a / (slakteklar laks * livstid)		0,00016				



## B Prosesser brukt i LCA modell

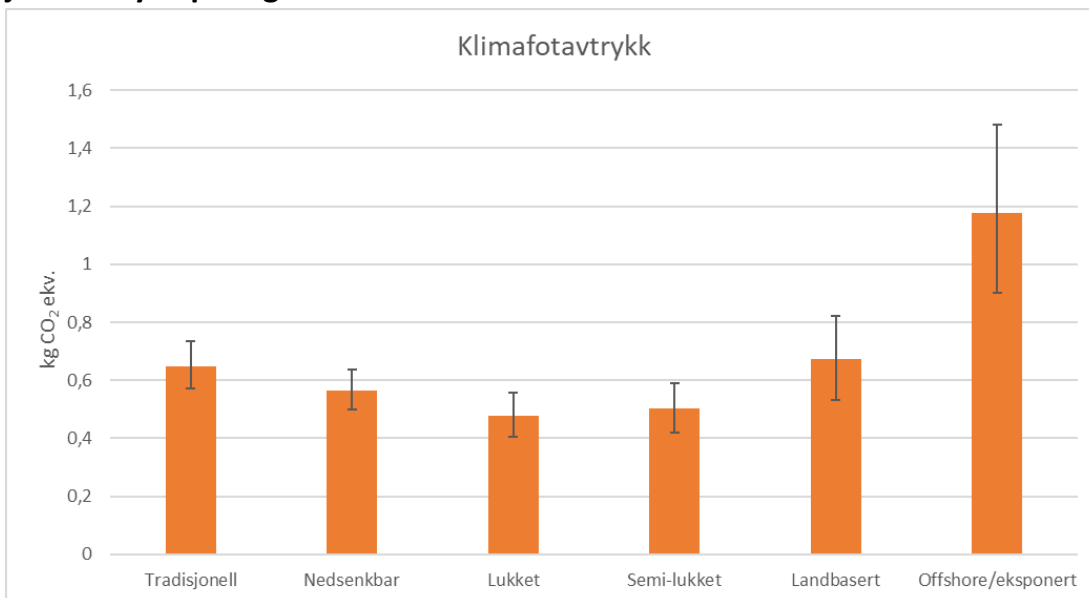
Tabell 15: Oversikt over bakgrunnsprosesser brukt i LCA modellen.

Innsatsfaktor / input	Prosess	Database
<b>Energibruk</b>		
Elektrisitet norsk mix	Electricity, medium voltage {NO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Elektrisitet europeisk mix	Electricity, medium voltage {Europe without Switzerland}  market group for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Elektrisitet fra diesel generator	Diesel, burned in diesel-electric generating set, 10MW {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Diesel produksjon	Diesel {Europe without Switzerland}  diesel production, petroleum refinery operation   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Diesel forbrenning for fartøy	Diesel, burned in fishing vessel {GLO}  market for diesel, burned in fishing vessel   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Kjemikalier</b>		
Hydrogen peroksid (kjemisk lusebehandling)	Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RER}  market for hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Kobberimpregnering	Copper oxide {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Tralopyril (antibegoringsmiddel)	Chlorodifluoromethane {RER}  market for chlorodifluoromethane   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Formic acid	Formic acid {RER}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Sodium hydroxide	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Materialer</b>		
<b>Plast</b>		
PE-plast	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {RoW}  production   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
PP- plast	Polypropylene, granulate {RoW}  production   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Nylon	Nylon 6-6 {RoW}  market for nylon 6-6   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
PVC (luseskjørt)	Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW}  polyvinylchloride production, suspension polymerisation   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system

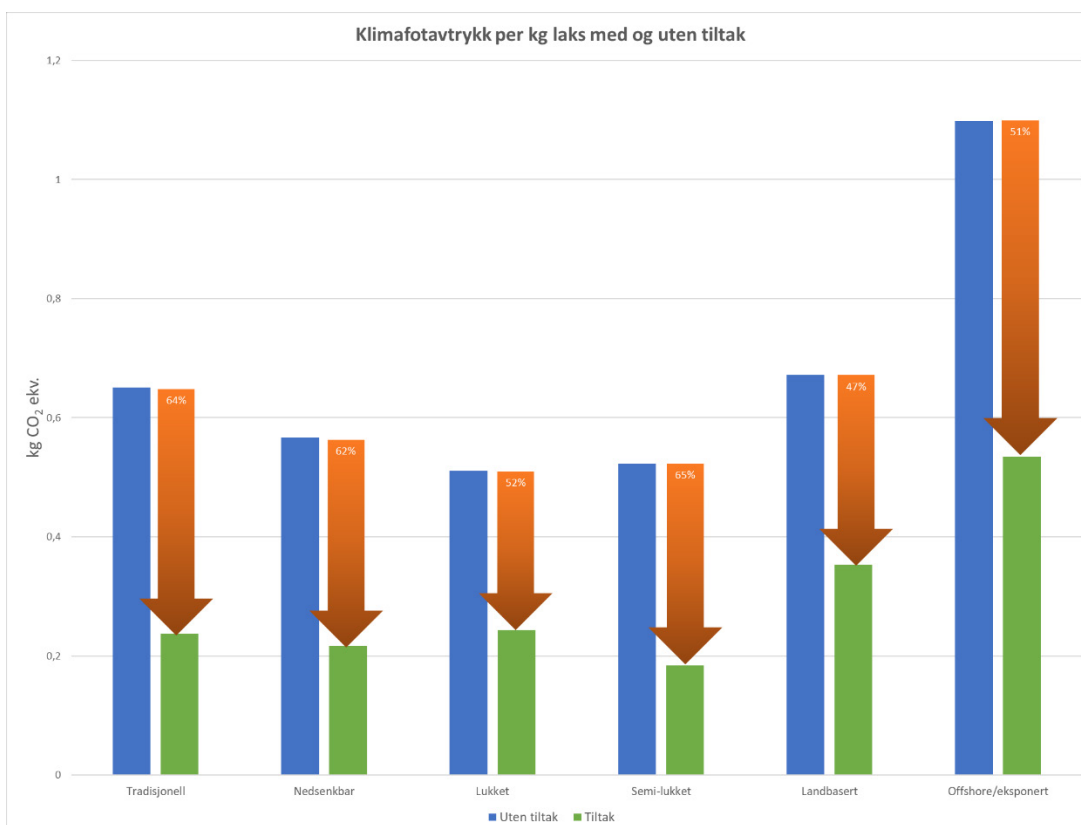
Støping av plast	Injection moulding {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Metall</b>		
Stål	Reinforcing steel {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Skrapstål	Scrap (Stainless st)   Iron scrap, sorted, pressed {CH}  treatment of metal scrap, mixed, for recycling, unsorted, sorting   Cut-off, S	IDEMAT 2001
Resirkulering av stål	Aluminium, in mixed metal scrap {Europe without Switzerland}  market for aluminium, in mixed metal scrap   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Aluminium		Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Bly (luseskjørt)	Lead {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Andre materialer</b>		
Betong	Concrete, normal {GLO}  market group for concrete, normal   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Glassfiber/kompositt	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {GLO}  market for   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Transport</b>		
Transport av dødfisk	Transport, freight, inland waterways, barge {RER}  market for transport, freight, inland waterways, barge   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Transport av anlegg fra Kina til Norge	Transport, freight, sea, container ship {GLO}  market for transport, freight, sea, container ship   Cut-off, S	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Areal</b>		
Areal	Occupation, annual crop, NO	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
<b>Utslipp</b>		
Tralopyril	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Fosfor	Phosphorus, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Nitrogen	Nitrogen, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Løst organisk karbon	DOC, Dissolved Organic Carbon, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Organisk karbon	Organic carbon, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Sink	Zinc, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
sodium chloride	Sodium chloride ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system

cadmium	Cadmium, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
aluminium	Aluminium, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Molybdenum	Molybdenum, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Jern	Iron II, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Potassium	Potassium, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Kalsium	Calcium, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Magnesium	Magnesium, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Kobber	Copper, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Mangan	Manganese, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Svovel	Sulphur, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Arsen	Arsenic, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Nikkel	Nickel, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Merkur	Mercury, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system
Bly	Lead, ocean compartment	Ecoinvent 3- allocation, cut-off by classification -system

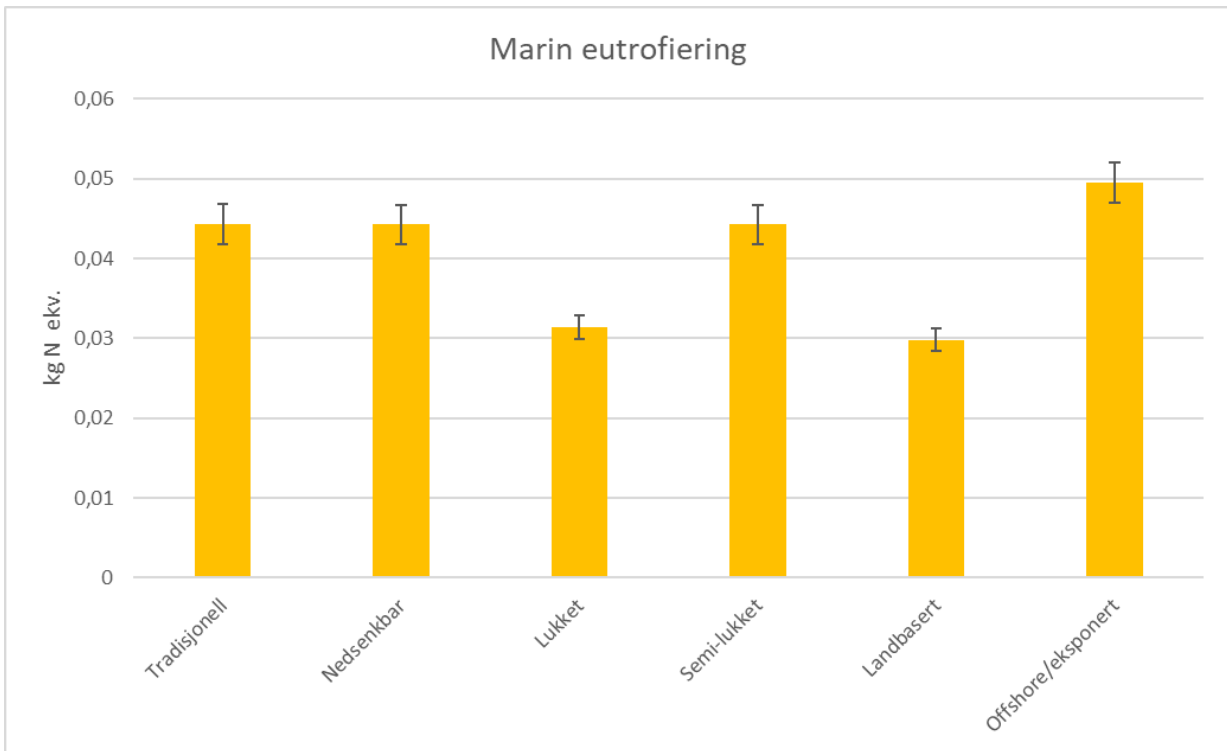
### C Miljøfotavtrykk per kg laks med 95% konfidensintervall



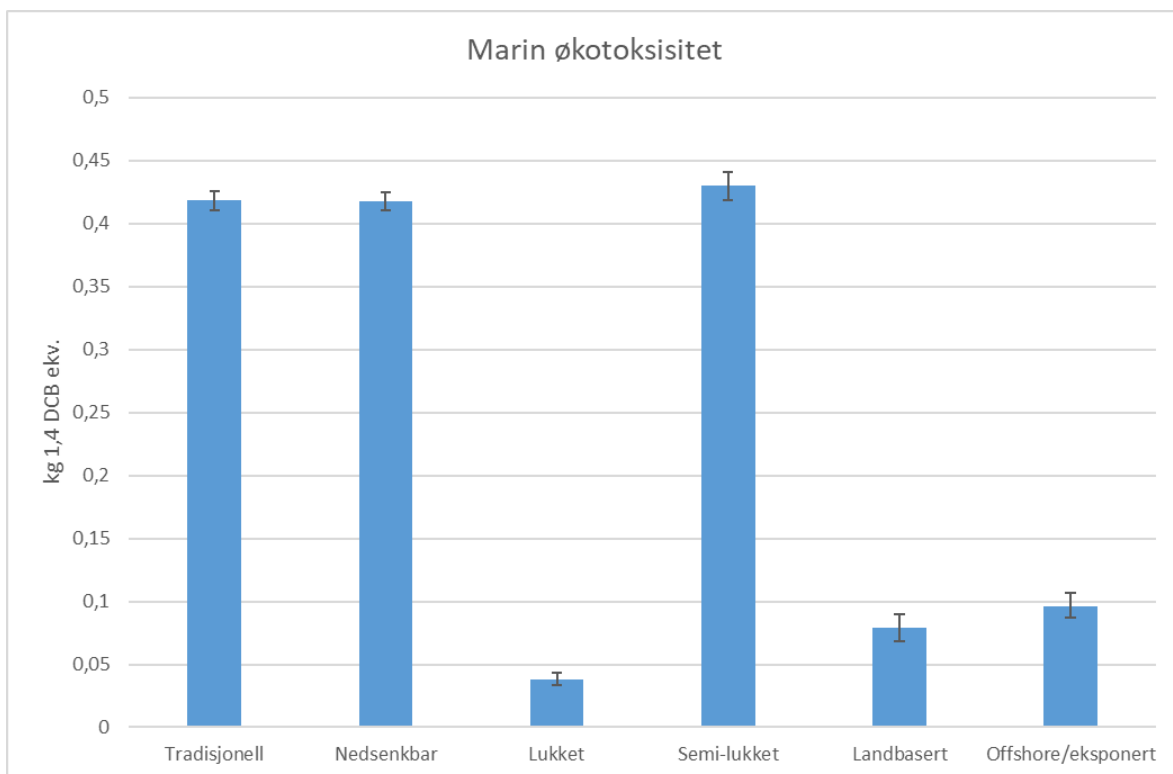
**Figur 18: Klimafotavtrykk i kg CO<sub>2</sub> ekv. per kg produsert laks for hver av produksjonsformene. Resultatene her viser et snitt mellom flere ulike konsepter, samt referanseverdier fra litteratur, og representerer ikke spesifikke konsepter. Usikkerhetsstolpene representer 95% konfidensintervallet.**



**Figur 19: Klimafotavtrykk i kg CO<sub>2</sub> ekv. per kg produsert laks for hver av produksjonsformene med og uten tiltak. Tiltakene er bruk av kun norsk elektrisitets miks, bruk av ammoniakk, hydrogen og batteri som energibærere for fartøy og 100% bruk av resirkulert stål i havbrukskonstruksjonene. Resultatene her viser et snitt mellom flere ulike konsepter, samt referanseverdier fra litteratur, og representerer ikke spesifikke konsepter.**

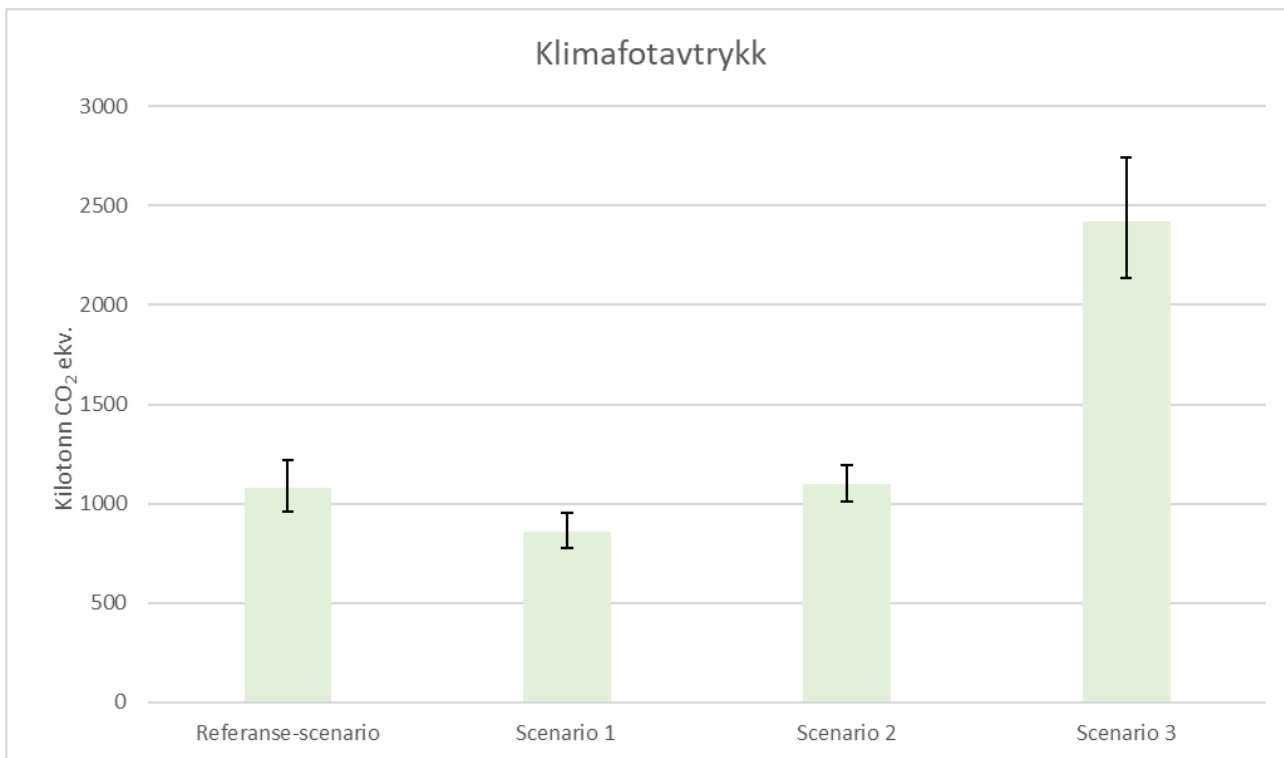


**Figur 20: Marin eutrofieringspotensial i kg N ekv. per kg laks for hver produksjonsformene. Resultatene her viser et snitt mellom flere ulike konsepter, samt referanseverdier fra litteratur, og representerer ikke spesifikke konsepter. Usikkerhetsstolpene representer 95% konfidensintervallet.**

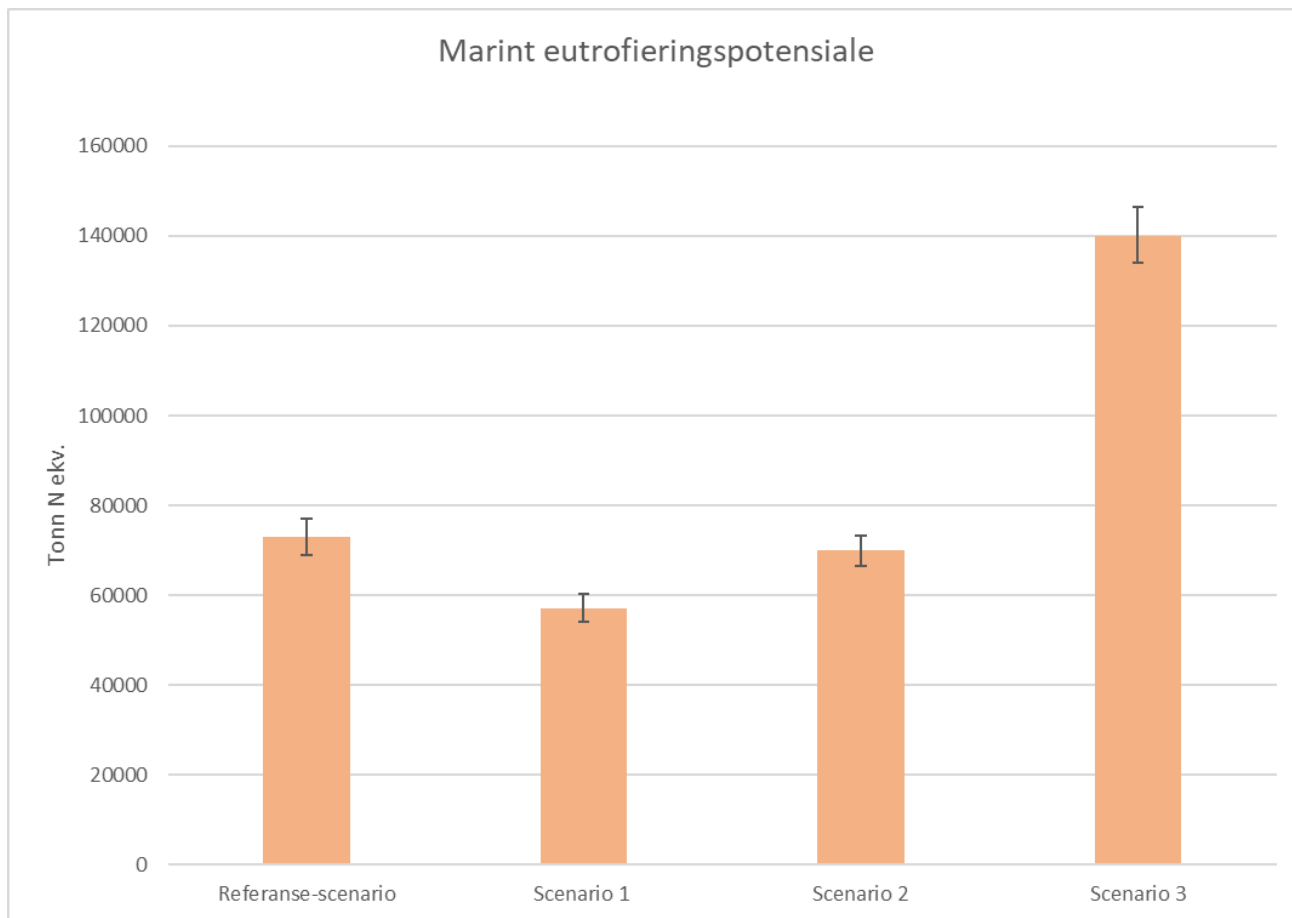


**Figur 21: Marint økotoksisitets-potensial i kg 1,4 DCB ekv. for hver av produksjonsformene. Resultatene her viser et snitt mellom flere ulike konsepter, samt referanseverdier fra litteratur, og representerer ikke spesifikke konsepter. Usikkerhetsstolpene representer 95% konfidensintervallet.**

## D Miljøfotavtrykk i scenarier med 95% konfidensintervall

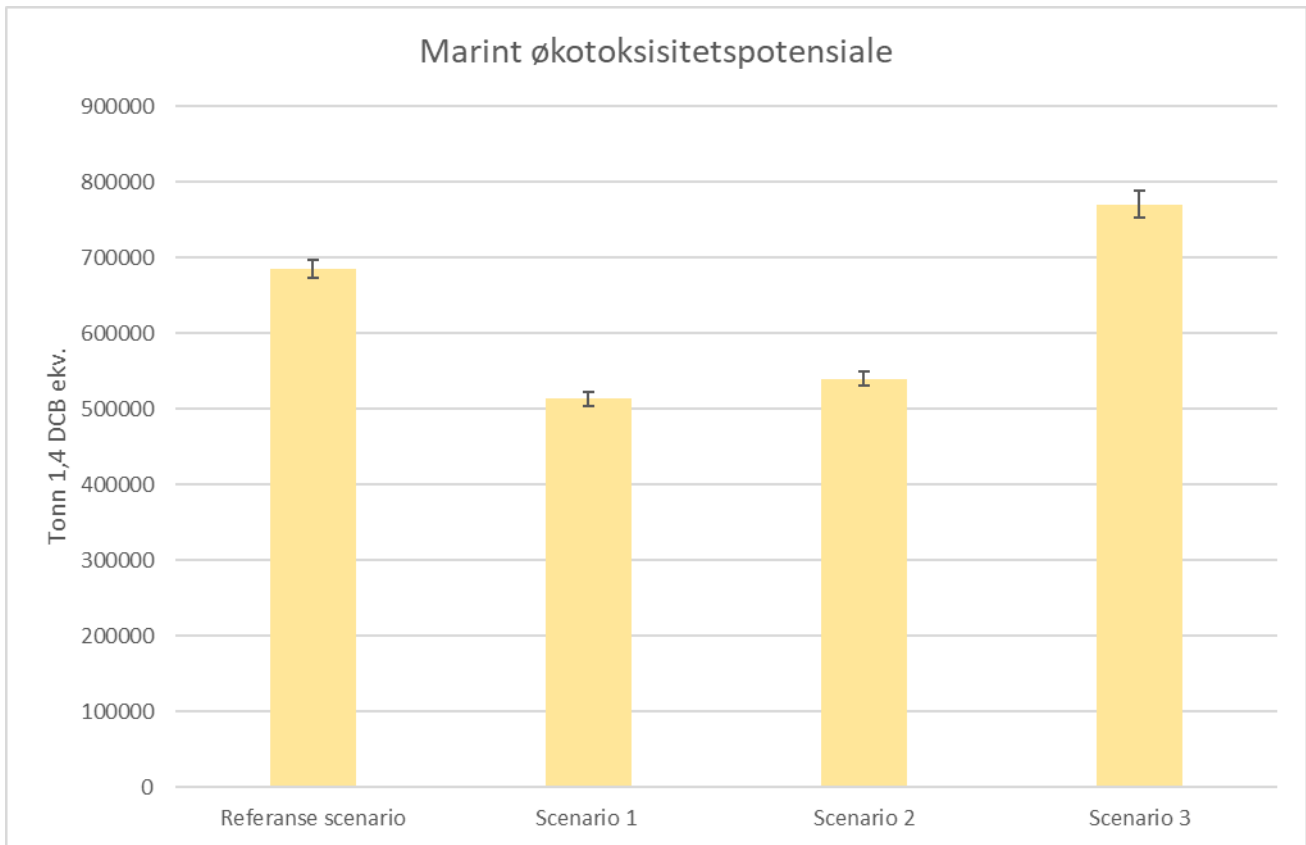


**Figur 22: Klimafotavtrykk i Kilotonn CO<sub>2</sub> ekv. per scenario. Usikkerhetsstolpene representer 95% konfidensintervallet.**



**Figur 23: Marin eutrofieringspotensial i ekv.per scenario. Usikkerhetsstolpene representer 95% konfidensintervallet.**





**Figur 24: Marint økotoksitets-potensial i tonn 1,4 DCB ekv. per scenario. Usikkerhetsstolpene representer 95% konfidensintervallet.**

## E Ringvirkningsanalyse

Sektorene som er summert i sektoraggregatene benyttet i visualiseringen.

Sektoraggregater	Sektorer SSB 65
Jordbruk og skogbruk	Jordbruk, jakt og viltstell
Jordbruk og skogbruk	Skogbruk
Fiske	Fiske og fangst
Bergverksdrift	Bergverksdrift og Utvinning av råolje og naturgass
Næringsmidler	Nærings-, drikkevare- og tobaksindustri
Annet	Tekstil-, beklednings- og lærvareindustri
Annet	Trelast- og trevareindustri, unntatt møbler
Annet	Produksjon av papir og papirvarer
Tjenester	Trykking og reproduksjon av innspilte opptak
Petroleum mm.	Produksjon av kull- og raffinerte petroleumsprodukter
Petroleum mm.	Produksjon av kjemikalier og kjemiske produkter
Petroleum mm.	Produksjon av farmasøytiske råvarer og preparater
Annet	Produksjon av gummi- og plastprodukter
Annet	Produksjon av andre ikke-metallholdige mineralprodukter
Metal	Produksjon av metaller
Metal	Produksjon av metallvarer, unntatt maskiner og utstyr
Elektriske produkter	Produksjon av datamaskiner og elektroniske produkter
Elektriske produkter	Produksjon av elektrisk utstyr
Maskiner	Produksjon av maskiner og utstyr ellers
Maskiner	Produksjon av motorvogner og tilhengere
Maskiner	Verftsindustri og annen transportmiddelindustri
Annet	Produksjon av møbler og annen industriproduksjon
Maskiner	Reparasjon og installasjon av maskiner og utstyr
Kraftforsyning	Elektrisitets-, gass- og varmtvannsforsyning
Vannforsyning	Uttak fra kilde, rensing og distribusjon av vann
Avfallshåndtering	Avløps- og renovasjonsvirksomhet
Bygg- og anleggs	Bygge- og anleggsvirksomhet
Kjøretøy	Handel med og reparasjoner av motorvogner
Engroshandel	Agentur- og engroshandel, unntatt med motorvogner
Detaljhandel	Detaljhandel, unntatt med motorvogner
Transport	Landtransport inkl rørtransport
Transport	Sjøfart
Transport	Lufttransport
Transport	Lagring og andre tjenester tilknyttet transport
Transport	Post og distribusjonsvirksomhet
Reise	Overnattings- og serveringsvirksomhet
Tjenester	Forlagsvirksomhet
Tjenester	Film-, video- og musikkproduksjon, kringkasting
Tjenester	Telekommunikasjon



Tjenester	Tjenester tilknyttet informasjonsteknologi og informasjonstjenester
Tjenester	Finansieringsvirksomhet
Tjenester	Forsikringsvirksomhet, unntatt offentlige trygdeordninger
Tjenester	Tjenester tilknyttet finansierings- og forsikringsvirksomhet
Tjenester	Omsetning og drift av fast eiendom
Tjenester	Omsetning og drift av fast eiendom
Tjenester	Juridisk og regnskapsmessig tjenesteyting, administrativ rådgiving
Tjenester	Arkitektvirksomhet og teknisk konsulentvirksomhet
Tjenester	Forskning og utviklingsarbeid
Tjenester	Annonse- og reklamevirksomhet og markedsundersøkelser
Tjenester	Annen faglig og teknisk tjenesteyting og veterinærtjenester
Tjenester	Utleie- og leasingvirksomhet
Tjenester	Arbeidskrafttjenester
Reise	Reisebyrå- og reisearrangørvirksomhet
Tjenester	Vakttjeneste og tjenester tilknyttet eiendomsdrift
Offentlig	Offentlig administrasjon og forsvar
Offentlig	Undervisning
Offentlig	Helsetjenester
Offentlig	Pleie- og omsorgstjenester, barnehager og SFO
Offentlig	Kunsterisk virksomhet, underholdning og spill
Offentlig	Sports- og fritidsaktiviteter
Offentlig	Aktiviteter i medlemsorganisasjoner
Tjenester	Reparasjoner av datamaskiner og husholdningsvarer
Tjenester	Annen personlig tjenesteyting
Offentlig	Lønnet arbeid i private husholdninger
Akvakultur	Akvakultur
Bearbeiding av sjømat	Bearbeiding av sjømat
Produksjon Fôrvarer	Produksjon Fôrvarer

## F Leveranser

Prosjektet har hatt følgende leveranser:

L0.1	Referat fra fysisk oppstartsmøte
L0.2	Referat fra fire referansegruppemøter (RG1, RG2, RG3)
L5.1	Tre populærvitenskapelige artikler
L0.3	To statusrapporter til FHF
L1.1	<a href="#"><u>Oversikt over påvirkningsfaktorer for produksjonsformers bærekraft</u></a>
L3.1	<a href="#"><u>Regulering og utvikling av fremtidens havbruksproduksjon – Scenarier for 2050</u></a>
L2.1	<a href="#"><u>Environmental impacts of emerging salmon aquaculture technologies</u></a>
L2.2	<a href="#"><u>Påvirkning på klima, miljø og natur fra forskjellige produksjonsformer for laks</u></a>
L0.4	Siste statusmøte med referansegruppen og prosjektgruppen med presentasjon av utkast til sluttrapport
L4.1	Faglig sluttrapport på overordnet analyse av miljømessig, sosial og økonomisk bærekraft ved ulike scenarier av lakseproduksjon mot 2050.
L0.5	Administrativ sluttrapport til FHF.
L5.2	Åpent sluttseminar
L4.2	Manuskript til vitenskapelig artikkel