asplan viak

Enova SF

POTENSIALET FOR REDUSERTE KLIMAGASSUTSLIPP OG OMSTILLING TIL LAVUTSLIPPSAMFUNNET FOR NORSK OPPDRETTSNÆRING

Status for dagens næring, fremtidig utvikling og potensialet for reduserte klimagassutslipp

Dato: 30.04.2021
Versjon: 02

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver: Enova SF

Tittel på rapport: Potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippsamfunnet for norsk oppdrettsnæring

Oppdragsnummer: 630611-01

Utarbeidet av: Andrea Arntzen Nistad (AV), Erik Skontorp Hognes (AV), John Ingar Jenssen (AV), Ulf Winther (SINTEF), Ulf Johansen (SINTEF), Tonje Skoglund Hermansen (AV)

Oppdragsleder: Erik Skontorp Hognes, kontakt: erik.hognes@asplanviak.no, tlf: 40225577

Tilgjengelighet: Åpen

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS
02	30.04.21	Revidert versjon	ESH, AAN, JIJ, UW, UJ, THS	CS, UW, UJ
01	26.03.21	Versjon for gjennomlesning av Enova levert 26.03.2021	ESH, AAN, JIJ, UW, UJ, THS	CS, UW, UJ

Forord

Denne rapporten presenterer resultatet av et prosjekt gjennomført av Asplan Viak, med leveranser fra SINTEF Ocean, for Enova.

Erik Skontorp Hognes har vært oppdragsleder hos Asplan Viak. Ulf Winther og Ulf Johansen har stått for SINTEF Ocean sin leveranse. Marit Sandbakk og Sofie Møller har vært kontaktpersoner hos oppdragsgiver.

En viktig del av denne studien har vært innsamling av data, erfaringer og innspill fra aktører i næringen. Vi vil takke alle som har bidratt med dette, deriblant: Cermaq, Lerøy, Nova Sea, NRS, Mowi, Sinkaberg Hansen, Lingalaks, Midt-Norsk havbruk, Tombre, Bolaks, Akvagroup, BKK, Smart Senja-prosjektet, NTE, FjordMaritime, AQS, Rostein, Apoint, Doxacom og Kontali.

Trondheim, 30.04.2021

Erik Skontorp Hognes
Oppdragsleder

Christian Solli, Ulf Winther
Kvalitetssikrer

Sammendrag

Asplan Viak, i samarbeid med SINTEF Ocean, har på oppdrag fra Enova utarbeidet et kunnskapsgrunnlag for potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippsamfunnet for norsk oppdrettsnæring. Studien omfatter en kartlegging av dagens status for energibruk og klimagassutslipp, fremtidig produksjon og aktuelle klimatiltak og mulige utslippskutt mot 2030 og 2050.

Studien har vært avgrenset til klimagassutslipp som følge av energibruk i: produksjonsfasen på land, produksjon på matfisklokaliteter i vannet og fartøybruk i tilknytning til service- og arbeidsoperasjoner. Fôr, transport og prosessering er ikke omfattet av analysen. Studien begrenser seg i all hovedsak til oppdrett av laks, ørret og regnbueørret og altså ikke alle produkter fra norsk akvakultur.

Denne studien tar for seg både direkte og indirekte klimagassutslipp. Tiltaksanalysen tar hovedsakelig kun for seg direkte utslipp, men der hvor det er spesielt relevant vises det også til indirekte utslipp. Dette understreker at det er viktig å ta hensyn til både direkte og indirekte klimagassutslipp når målet er å redusere netto klimapåvirkning.

Kartleggingen av dagens energibruk viser stor variasjon i forbruk i alle leddene av næringen (fôrflåter, landbaserte anlegg og fartøy). Størst usikkerhet er knyttet til energibruk for fartøy, spesielt arbeidsbåter og brønnbåter. Prosjektet har vist at det fortsatt er en stor mangel på tilgjengelig data om hvor mye og hvordan energi brukes i disse store aktivitetene. Data ligger ute hos aktørene, men er lite tilgjengelig. Til tross for begrenset tilgjengelig kunnskap kan vi slå fast at fartøyene står for store klimagassutslipp, men mangel på tilgjengelige data vil føre til at det er vanskelig for utenforstående å forstå behovet og tilby løsninger som kan bidra til å redusere forbruk og utslipp.

Energibruken i dagens næring (produksjon i sjø, på land og fartøy) er beregnet til 2 610 GWh. En stor del av energibruken er fossile energibærere (80%). Fossile energibærere, hovedsakelig diesel og MGO, er i stor grad benyttet for fartøy og fôrflåter, mens elektrisitet forbrukes i settefiskanlegg og ved fôrflåter tilknyttet landstrøm. Klimagassutslipp knyttet til aktiviteter vurdert i denne studien er estimert til 570 ktonn CO2e i 2019. Fartøy står for en stor andel av klimagassutslipp, og brønnbåter dominerer både energibruken og klimagassutslippene fra næringen i dag.

I dag er 55% av lokalitetene i sjø tilknyttet landstrøm og 6% har hybride løsninger. Kartleggingen av fartøy viser at i overkant av 1 700 fartøy er i drift i næringen. Noen elektriske arbeidsbåter er satt i drift, mens flere fartøy er hybridisert. Graden av hybridisering varierer i stor grad, men de fleste har båtene har ikke lademuligheter og batteriet lades kun fra motordrift.

En analyse av sektorens samlede klimaspor, hele veien fra produksjon av fôrråvarer og frem til fisk levert til forhandler, viser at det samlede klimasporet til norsk oppdrett av laks og ørret er i størrelsesorden 8,5 millioner tonn CO2e. Sammenlignet med norske direkteutslipp av klimagasser på ca. 50 millioner tonn ser vi at klimasporet (direkte og indirekte utslipp) til oppdrettsnæringen er betydelig. Produksjon av fôret dominerer klimasporet, men også eksport og spesielt flyeksport er en stor kilde til utslipp. Til tross for at en relativt liten andel av eksporten av laks og ørret går på fly (her antatt 12% av produksjonen) står flyeksport for 16% av det samlede klimasporet. Klimasporet viser også at næringens direkte utslipp i Norge utgjør lite av det samlede klimasporet. De aktivitetene som

denne studien tar for seg, fartøy og oppdrett, står for 8% av det samlede klimasporet. Det viser at samtidig med at man reduserer utslippene fra fartøy og fôrflåter så er det svært viktig at næringen samtidig jobber med å redusere klimagassutslipp andre steder i verdikjeden. Reduksjon av tap, fôr med lavere klimaspor og reduksjon i flyeksport blir spesielt viktig for at norsk oppdrettsnæring skal kunne vokse uten å øke sine samlede klimagassutslipp.

I en vurdering av hvordan den norske oppdrettsnæringen kan utvikle seg er det satt opp alternativer for hvordan næringen kan vokse og hvordan produksjon kan gjennomføres frem mot 2030 og 2050. Denne analysen er basert på næringens og politikernes ambisjoner for vekst, viktige reguleringer og de store teknologiske trendene, som for eksempel mer landbasert og offshore produksjon. Resultatet er tre alternativer: «pessimistisk», «basis» og «optimistisk» som presenterer alternativer fra 0,5% til 3% årlig vekst frem til 2050. For det optimistiske alternativet tilsvarer dette en produksjon på nesten 6 millioner tonn, mer enn en firedobling av dagens produksjon. Analysen inkluderer en rekke antakelser og viser et stort spenn i de banen som er satt opp for vekst. Biologiske utfordringer har stagget veksten de siste årene og en løsning på disse utfordringene vil være helt avgjørende for veksten fremover. Oppdrettsnæringen er i ferd med å innføre en rekke nye teknologier, men produksjon i åpne merder antas å dominere produksjonen også fremover til 2050.

Tiltaksanalysen presenterer relevante tiltak, hvor de kan benyttes og endringene de kan bidra til i form av reduksjon i energibruk og klimagassutslipp. Spesielt viktige tiltak er energisparing, elektrifisering og nye energibærere. Energisparing er trukket frem av både oppdrettere og teknologileverandører som en forutsetning for å kunne innføre andre tiltak som elektrifisering og nye energibærere. Dagens energibruk er mange steder for høy til at det er mulig/sannsynlig at det kan endres fra å bruke flytende drivstoff til elektrisitet eller energibærere som hydrogen og ammoniakk. Energisparing blir også vektlagt som et tiltak med atskillig urealisert gevinst, og energiøkonomisering blir en nøkkelfaktor samtidig med at nye teknologier innføres.

Tiltaksanalysen presenterer ulike scenario der energiforbruk og klimagassutslipp er estimert frem mot 2030 og 2050 basert på antakelser om vekst, hvordan produksjonen gjennomføres og hvilke tiltak næringen iverksetter. Analysen inkluderer en rekke alternativer for fremtidig vekst. For en vekst på 1,5% per år frem til 2050, omtalt som «basis» vekst i denne rapporten, viser tiltaksanalysen blant annet at:

- Uten innføring av klimatiltak vil en få en dobling av klimagassutslipp og 200% økning i energibruk i 2050. Denne utviklingen uten tiltak der produksjonen vokser, men uten store endringer i energibruk og forsyning blir i tiltaksanalysen omtalt som «referansebanen». Dette blir altså et «business as usual»-scenario.

- Med hybridisering av større fartøy og elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy, kan årlige klimagassutslipp i 2050 kuttes med 30-40% sammenlignet med referansebanen (den uten tiltak og «basis vekst»). Med disse tiltakene vil likevel klimagassutslipp fra næringen være 10% høyere i 2050 enn det de er i dag, men det er da også lagt til grunn en større produksjon av fisk enn i dag.

- Nye energibærere i tillegg til elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy kan redusere de årlige klimagassutslippene i 2050 med 90% sammenlignet med referansebanen. Dette gir en reduksjon sammenlignet med dagens klimagassutslipp på 75%.

For å oppnå utslippskuttene skissert i tiltaksanalysen kreves svært omfattende tiltak. Analysen viser med andre ord ytterpunkter i mulig fremtidig utvikling. For å oppnå reduksjon i klimagassutslipp samtidig som næringen vokser kreves det at nye energibærere tas i bruk på større fartøy da disse står for en stor del av næringens klimagassutslipp. Selv om man ser helt frem til 2050 innebærer dette en svært rask omstilling, spesielt av fartøy. I tillegg til ny teknologi på nybygg blir dermed ombygging av eksisterende fartøy også vesentlig.

Tiltaksanalysen tar utgangspunkt i direkte utslipp iht. rammene for studien og den metodikken norske myndigheter jobber innenfor der kun direkte utslipp tas med i betraktningen. Det blir likevel lagt vekt på at såkalte «nullutslipp» energibærer kan forårsake store klimagassutslipp i produksjon og distribusjon. Det er derfor tatt frem ett case som viser hvor store disse utslippene kan være for et alternativ der det er tatt i bruk «nullutslipp» energibærere. Tar man hensyn til både direkte og indirekte klimagassutslipp reduseres kuttpotensialet for referansebanen fra 90% til 40-70%, avhengig av om norsk eller nordisk strømmiks legges til grunn som energikilde for elektrifisering. Videre vil hvordan energibæreren er produsert (grå eller grønn ammoniakk og hydrogen) redusere de samlede utslippskuttene ytterligere. Klimagassutslipp for produksjon av nye energibærere vil medføre utslipp på rundt 300 ktonn CO_2e i tilfellet hvor grønn ammoniakk og hydrogen blir produsert. Tilsvarende vil produksjon av blå ammoniakk og hydrogen og kunne medføre utslipp rundt 1 100 ktonn CO_2e. Dette vil si at kutt sammenlignet med dagens utslipp kun er mulig i tilfellet hvor grønn hydrogen og ammoniakk produsert med fornybar kraft (norsk strømmiks) benyttes.

Barrierer for tiltakene er vurdert. Biologien setter de absolutte grensene for oppdrett og følgelig må alle klimatiltak innføres med hensyn til dette. I tillegg vil naturen som produksjonen forgår i medføre både grenser og utfordringer som tiltak må skje innenfor. Usikkerhet knyttet til videre drift av en del lokaliteter og nye krav til næringen med tanke på biosikkerhet vil kunne være en barriere for elektrifisering og påvirke energibruk.

Videre kan tilgang på elektrisitet bli en utfordring. Samlet sett vil norsk kraftproduksjon gi et kraftoverskudd fremover som kan dekke økt forbruk av elektrisitet i oppdrettsnæringen, på tross av elektrifisering (0,5-1 TWh ved omfattende elektrifisering) og økt landbasert produksjon (6-7 TWh i den optimistiske framskrivningen for vekst). En økning i 7 TWh er betydelig. NVE estimerer kraftoverskuddet i 2040 til 19 TWh. Altså kan de mest ambisiøse målene for vekst medføre at oppdrettsnæringens behov utgjør en stor del av det tilgjengelige kraftoverskuddet. Den største utfordring vil likevel være å ha nok kraft der hvor den trengs. Dette er til en viss grad allerede i dag en begrensning for landstrømtilknytning en del steder og eventuell ladeinfrastruktur for båter. Overføringskapasitet og spenningskvalitet vil være en utfordring for en næring som er spredd utover hele landet og på steder med utilstrekkelig nettinfrastruktur. Det er avdekket at det fortsatt er regionale forskjeller på hvordan nett/kraftleverandørene møter oppdrettsnæringens behov. Nye løsninger og forretningsmodeller mellom oppdretter og nettselskap/kraftleverandør vil være viktig for videre elektrifisering og for alternative løsninger til å bygge nytt nett.

De fysiske egenskapene til de mest etablerte nye energibærere, der flere har relativt liten energitetthet, blir en utfordring for fartøy med begrenset plass. Driftssikkerhet og andre sikkerhetsaspekter er og blir en barriere for biologiske systemer der driftsstans kan føre til enorme kostnader og miljøpåvirkninger. En siste barriere for klimatiltak er tilgangen på kunnskap om hvordan energi brukes i dag. For eksempel er driftsprofiler fortsatt en mangelvare noe som begrenser muligheten som teknologiutvikler har til å komme med de beste løsningene.

Innhold

FORORD **3**

SAMMENDRAG **4**

INNHOLD **7**

FORKORTELSER OG FORKLARINGER **9**

1 INNLEDNING **10**

1.1 Bakgrunn for oppdraget 10
1.2 Formål 10
1.3 Avgrensninger 10
1.4 Rapportens oppbygning 11

2 DELLEVERANSE 1: DAGENS STATUS **12**

2.1 Næringens omfang 12
2.2 Tidligere studier av energibruk og klimagassutslipp fra næringen 14
2.3 Status for energibruk i dagens lakseoppdrett 20
2.3.1 Lokaliteter på land 20
2.3.2 Lokaliteter i sjø 23
2.3.3 Fartøy 28
2.4 Energibruk og klimagassutslipp fra dagens næring 35
2.4.1 Havbruksnæringens (laks og ørret) sitt klimaspor 35
2.4.2 Samlet energibruk og klimagassutslipp fra energibruk 37

3 DELLEVERANSE 2: UTVIKLING AV DEN NORSKE HAVBRUKSNÆRINGEN MOT 2030 OG 2050 ..... **40**

3.1 Fremtidig produksjon 40
3.1.1 Hvordan vil laks bli produsert i fremtiden? 40
3.1.2 Vekst i den norske havbruksnæringen 42
3.1.3 Vekst mot 2030 for laks og regnbueørret 46
3.1.4 Vekst mot 2050 laks og regnbueørret 48
3.1.5 Vekst mot 2050 oppdrett av andre fiskearter enn laks og regnbueørret 49
3.1.6 Sammenligning mot andre analyser og tidligere vekst 50
3.2 Fremtidig energisystem og energibærere 52
3.3 Energibruk for nye produksjonsteknologier 53
3.3.1 Energiforbruk for landbasert produksjon av matfisk 53
3.3.2 Energiforbruk for nye produksjonsformer i sjø 54
3.3.3 Fremtidig energibruk for fartøy 55
3.4 Forretningsmodeller i skjæringspunktet energi og oppdrett 56
3.5 Klimarisiko for norsk oppdrettsnæring 58

4 DELLEVERANSE 3: TILTAKSANALYSE 62
4.1 Fremgangsmåte og metode for tiltaksanalyse 62
4.1.1 Energibehovsbaner 63
4.1.2 Klimatiltaksbaner 63
4.1.3 Utslippsfaktorer 64
4.2 Klimatiltak 64
4.2.1 Reduksjon i energibehov gjennom ny teknologi og energiledelse 65
4.2.2 Hybride løsninger for stasjonære applikasjoner 68
4.2.3 Landstrøm 69
4.2.4 Egenproduksjon av kraft 69
4.2.5 Nye energibærere og fremdriftssystem for fartøy 70
4.3 Potensialet for utslippsreduksjoner for næringen frem mot 2030 og 2050 78
4.3.1 Scenario 1: Referansescenario 79
4.3.2 Scenario 2: Elektrifisering og hybridisering 82
4.3.3 Scenario 3: Elektrifisering og nye energibærere 86
4.3.4 Energieffektivisering 89
4.3.5 Oppsummering av tiltaksanalysen 91
4.3.6 Indirekte klimagassutslipp 93
4.4 Barrierer, kostnader og påvirkning på kraftnettet av klimatiltak 95
4.4.1 Gradvis innfasing av landstrøm og batteripakker på lokaliteter i sjø 95
4.4.2 Elektrifisering av fartøy 97
4.4.3 Hybridisering på større fartøy 99
4.4.4 Nye energibærere på service- og brønnbåter 100
4.5 Helelektriske lokaliteter og lavutslipp off-shore 102

5 KONKLUSJON 104

REFERANSELISTE 106

VEDLEGG 1: KLIMASPOR FOR NÆRINGEN 110

VEDLEGG 2: INNDATA FOR TILTAKSANALYSE 111

VEDLEGG 3: UTSLIPPSFAKTORER 113

VEDLEGG 4: ENERGIBÆRERE FOR FARTØY 114

Forkortelser og forklaringer

CO2e	Karbondioksid (CO_2) ekvivalenter. Summen av klimagasser omregnet til CO2 ekvivalenter.
Tonn lv	1000 kg levende vekt
Levende vekt	Vekt før sulting og bløgging. Fiskeridirektoratets omregningsfaktor fra rund til levende vekt er 1,06.
Tonn rv	1000 kg rundvekt.
Rundvekt	Rund vekt er vekten av fisken etter sulting og bløgging (utblødning)
MTB	Maksimalt tillatt biomasse. Bestemmer hvor mye levende fisk innehaveren av tillatelsen kan ha stående i sjøen til enhver tid.

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn for oppdraget

Dette oppdraget er utført for Enova og etter et tilbud på forespørselen SID 20/8657 «Studie av potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippsamfunnet for norsk oppdrettsnæring.»

1.2 Formål

Oppdragets formål er todelt. For det første skal det tas frem et kvalitetssikret kunnskapsgrunnlag som gir en oversikt over dagens status for energibruk og klimagassutslipp for næringen. For det andre skal potensialet for klimatiltak som kan gi reduksjon i klimagassutslipp samtidig som næringen vokser, vurderes.

En rekke tidligere publiserte studier har tatt for seg klimagassutslipp og energibruk i deler av næringen eller vurdert klimasporet til produksjon av laks. Det finnes derimot ingen tidligere studier som har vurdert klimagassutslipp fra hele verdikjeden på sektornivå i dag og fremover mot 2030 og 2050. Oppdraget omfatter dermed både en sammenstilling av kunnskap fra tidligere analyser og innhenting av data på energibruk i næringen. I tillegg er fremtidig produksjon i næringen og aktuelle klimatiltak mot 2030 og 2050 analysert. Til sammen skal dette gi Enova et bedre kunnskapsgrunnlag for å kunne innrette sine virkemidler mot næringen.

1.3 Avgrensninger

Oppdraget har vært avgrenset til klimagassutslipp som følge av energibruk i:

- Produksjonsfasen på land
- Produksjon på matfisklokaliteter i vannet
- Fartøybruk i tilknytning til service- og arbeidsoperasjoner

Fôr, transport og prosessering er ikke omfattet av analysen. Det har likevel i prosjektet vært gjennomført en klimasporsanalyse for næringen for å illustrere hvor stor del av klimagassutslipp generert av næringen som er dekket av oppdragets avgrensning og at en betydelig del av klimagassutslipp foregår utenfor Norges grenser.

Den norske havbruksnæringen produserer i dag flere fiskearter, skjell og noe tang og tare. Basert på årlig produksjonsvolum er derimot produksjon av laks dominerende. Våre vurderinger for fremtidig produksjon av andre arter, skjell og tang og tare viser at lakseoppdrett er forventet å dominere næringen også fremover. Studien er på bakgrunn av dette begrenset til å omfatte produksjon av laks.

1.4 Rapportens oppbygning

Oppdraget har bestått av tre delleveranser.

- **Delleveranse 1** tar for seg dagens status for næringen og dens energibruk og energibærere. Dette inkluderer også en sammenstilling av tidligere studier, samt en fremstilling av næringens fulle klimaspor i dag.
- **Delleveranse 2** ser på hvilken utvikling som forventes fremover både med tanke på produksjonsteknologi, produksjonsvekst og energiforsyning. Delleveransen inkluderer også en vurdering av hvilke forretningsmodeller som kreves for energiforsyning i fremtidens lakseoppdrett og næringens klimarisiko.

- **Delleveranse 3** gir en oversikt over hvilke klimatiltak som må iverksettes for å redusere klimagassutslipp frem mot 2030 og 2050 og utvikling i klimagassutslipp under ulike scenarioer for klimatiltak og produksjonsvekst.

Rapporten er strukturert med utgangspunkt i de tre delleveransene.

I tillegg er det utarbeidet et kart som viser akvakulturlokaliteter og nettanlegg: https://prosjekt.avinet.no/enova_klima_havbruk. Kartløsningen illustrerer hvordan man på sikt kan få bedre oversikt over status for elektrifisering ved at oppdrettere selv kan registrere lokaliteter med og uten landstrøm. Videre er løsningen en demo på hvordan kartløsninger kan være et nyttig verktøy for oppdrettere i planleggingen av elektrifiseringsprosjekter, blant annet ved å få oversikt over nærmeste kraftlinje og transformatorstasjon.

2 DELLEVERANSE 1: DAGENS STATUS

2.1 Næringens omfang

Den norske havbruksnæringen er en svært viktig næring for norsk verdiskapning. Næringens samlede bidrag til BNP, inklusive ringvirkningseffekter, passerte 69 milliarder kroner i 2019 [1]. Ringvirkningseffektene fra havbruksnæringen er av svært stor betydning, og 1. og 2. ordens ringvirkninger sto for 33 milliarder NOK i 2019 [1].

I all hovedsak produserer næringen laks og regnbueørret. I 2019 ble det solgt 1 447 000 tonn rundvekt laks og regnbueørret, mens det kun ble solgt 3 230 tonn rundvekt andre oppdrettede fiskearter som går til konsum. Det oppdrettes også om lag 39 millioner rognkjeks i landbaserte anlegg som brukes til å holde antallet lakselus nede i sjøbaserte oppdrettsanlegg [2]. I tillegg produseres det i dag skjell og det dyrkes noe tang og tare. Den norske skjellnæringen produserer nesten utelukkende blåskjell, men det leveres også mindre mengder kamskjell og østers. I 2019 ble det totalt solgt 2 164 tonn skjell [2]. Dyrking av tang og tare er ennå ikke kommet opp på et betydelig nivå i Norge, i 2019 ble det høstet til sammen 117 tonn sukkertare og butare som var dyrket [2]. Dette er imidlertid en produksjon som det stilles store forventninger til i fremtiden.

Omfanget av næringen viser seg ikke kun økonomisk. Havbruksnæringen er spredt på rundt 1 250 lokaliteter langs Norges kyst, hvor rundt 1000 benyttes for produksjon av laks og regnbueørret [2]. Som vist i Tabell 1 er produksjonen spredt langs hele kystlinjen, med et stort antall lokaliteter i Vestland, Trøndelag, Nordland og Troms og Finnmark. Ikke alle disse lokasjonene er i drift til enhver tid. Per august 2020 var 719 lokaliteter i drift for produksjon av laks og regnbueørret [3]. I tillegg til produksjonen i sjø produseres det fisk, hovedsakelig settefisk, i en rekke lokaliteter på land. 182 settefiskanlegg var i drift ved utgangen av 2019 [4]. Kartet utarbeidet i forbindelse med dette prosjektet viser lokaliteter i sjø og hvilke av lokalitetene som har biomasse i merdene i øyeblikket: https://prosjekt.avinet.no/enova_klima_havbruk.

Tabell 1 Oversikt over antallet lokaliteter i sjø ved utgangen av 2020

	Laks og regnbueørret	Andre fiskearter	Bløtdyr, krepsdyr og pigghuder[1)]	Alger
Troms og Finnmark	196	6	3	3
Nordland	203	8	39	19
Trøndelag	163	9	40	10
Møre og Romsdal	80	3	2	8
Vestland	272	8	45	47
Rogaland	62	2	5	3
Agder	10	0	6	3
Øvrige fylker	0	0	1	0
Totalt/Total	986	36	141	93

Næringens aktivitet langs kysten genererer en rekke arbeidsplasser, både direkte i havbruksnæringen og indirekte i selskap som leverer tjenester og produkter til næringen. Som vist av Tabell 2 var det 214 registrerte selskap innen matfiskproduksjon ved utgangen av 2019. Hovedtyngden av selskapene er basert innenfor oppdrett av laks. I mange tilfeller drifter samme selskap i både matfisk og settefisksegmentet da mange aktører i havbruksnæringen er helintegrerte selskap.

Totalt var 9 058 sysselsatt i primærleddet av havbruksnæringen ved utgangen av 2019. 92% av disse jobbet innenfor lakseoppdrett. 72% jobbet innen matfiskleddet, mens 21% jobbet i settefiskproduksjon [4]. Dette gir i midlertidig ikke et fullstendig bilde av arbeidsplasser skapt av næringen. Tall fra SINTEF sin ringvirkningsanalyse beregner at primærleddet i havbruksnæringen står for 8 300 årsverk [1]. Inkluderer man hele verdikjeden for havbruk (foredling, grossist/eksportvirksomhet) øker dette til 12 200 årsverk. Tar man i tillegg høyde for ringvirkningseffektene av næringen er antallet årsverk betydelig høyere, om lag 24 000 til 29 000 årsverk [1].

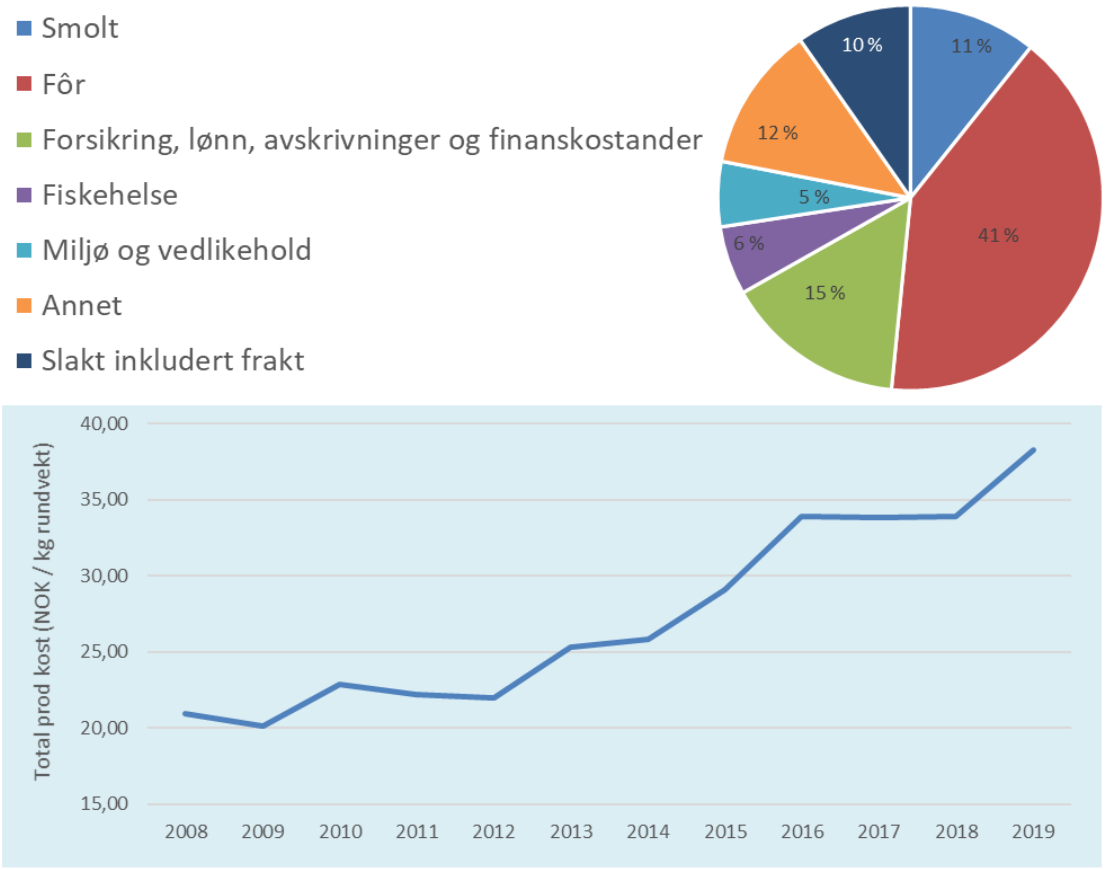
Tabell 2 Antall selskap i næringen ved utgangen av 2019.

	Laks og regnbueørret	**Andre fiskearter**
Matfisk	170	44
Settefisk	112	49

Næringens produksjonskostnader domineres av fôrkostnaden. Denne utgjorde 41% av en samlet produksjonskostnad på ca. 38 kr/kg rundvekt i 2019. Figur 1 viser hvordan produksjonskostnaden fordelte seg i 2019 og hvordan den har utviklet seg fra 2008 til 2019. Produksjonskostnadene økte med mer enn 45% over denne perioden og det er spesielt kostander knyttet til tap/dødelighet som er årsaken til dette. Dette gjenspeiler seg i økte kostander til både fôr, fiskehelse og miljø. En stor utfordring for lønnsomheten og miljøfotavtrykket per enhet produsert, er dødelighet og annet tap. Veterinærinstituttets rapport «Fiskehelserapporten 2020» [5] gir en omfattende innføring i denne utfordringen. Nettsiden «Bærekraft i havbruk» [6] presenterer sentrale data, her gjengis noen nøkkeltall:

- I 2020 ble det tapt 61,6 millioner fisk i sjøfasen og på slakteriet. I prosent av antall individ er dette et tap på ca. 16%. I biomasse har tapet de siste årene vært 6-9% av den totale biomassen av laks og ørret.
- 89% av tapet er fisk som dør i anlegget, det resterende er utkast (6%), «annet svinn» 5% og til slutt rømming som står for mindre enn 0,02% av tapet. I tillegg til tapet i sjøfasen dør det mer enn 50 millioner i hver av kategoriene settefisk og rensefisk.
- Viktige årsaker til dødelighet er sykdom og lusebehandling (ikke lus, men behandling av lus).

Alt i alt viser dette at i et perspektiv hvor klima og miljøfotavtrykket per enhet mat produsert skal reduseres er det å begrense tap viktig.



Figur 1 Produksjonskostnader norsk matfiskproduksjon laks og ørret. Fordeling av kostnader i 2019 og utvikling i total kostnad fra 2008 til 2019. Data fra Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelse [7].

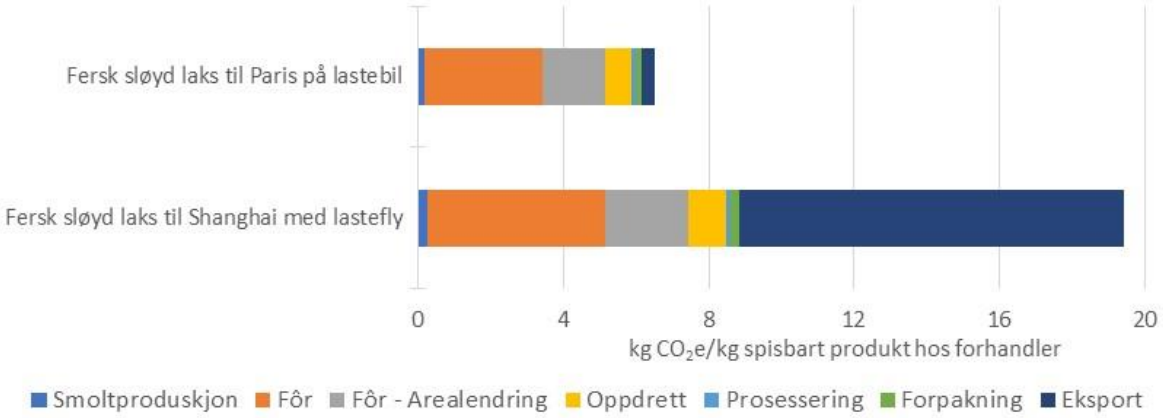
2.2 Tidligere studier av energibruk og klimagassutslipp fra næringen

Klimagassutslipp og energibruk i oppdrett er studert med en rekke ulike vinklinger, men ofte gjennom livsløpsvurderinger (Life Cycle Assessment, LCA). Slik er klimasporet til norsk oppdrettsnæring studert både i nasjonale [8] og internasjonale [9], [10] studier. Disse livsløpsanalysene har hatt et spesielt fokus på klimapåvirkning (globalt oppvarmingspotensial) og har gjort opp klimasporet hele veien fra produksjon av fôrråvarer og frem til at fisken er levert til forhandler eller videreforedling. Den siste delen av livsløpet, som omfatter forhandlerledd og forbruker, har i mindre grad vært inkludert.

Studiene som er gjennomført tidligere har alle sine egne formål og forutsetninger, men de store linjene for klimasporet til norsk laks og ørret fra oppdrett er klare; brorparten av klimasporet kommer fra produksjon av fôret. Dette gjelder for alle produktformer bortsett fra de som blir eksportert med fly. I de tilfellene vil også transport av fisken ut i markedet spille en stor rolle. Figur 2 viser eksempel på hvordan klimasporet til fersk sløyd norsk laks fordeler seg over livsløpet fra smoltproduksjon til fersk sløyd laks levert til forhandler. Resultatene viser fôrets betydning. Bidrag fra arealendring er her skilt ut som en egen post og viser at det står for en betydelig del. Årsaken til at de to tilfellene har ulikt klimaspor før eksport er at resultatene er gitt per enhet spisbart produkt og at de inkluderer ulike antakelser om utnyttelse av biprodukter (20% for laksen sendt til Shanghai og 80% for laksen sendt til Paris).

Resultatene viser også at utslippene som skjer i Norge utgjør en liten del av laksens klimaspor. Her inkluderer kategorien «oppdrett» energibruk og klimagassutslipp fra oppdrettsanlegget (fôrflåten) og fartøyene som er i aktivitet (arbeidsbåter, servicefartøy, brønnbåt).

Basert på det oppdaterte datagrunnlaget fremhentet i dette prosjektet har klimasporet for laks blitt oppdatert og vurdert på sektornivå (Kap 2.4.1). Dette viser hvordan relativt små bidrag i et klimaspor blir store utslippskilder når en skalerer opp med volumet av aktivitet i store næringer som den norske oppdrettsnæringen.



Figur 2 Illustrasjon av kilder til klimasporet til fersk sløyd laks levert til forhandler/videreforedling i ulike marked. Resultater er hentet fra rapporten «Klimaregnskap for norsk sjømatnæring» [8].

Mens klimasporsanalysene tar for seg hele verdikjeden, også utslipp som skjer utenfor norske grenser, har andre initiativ de siste årene tatt for seg energibruk og direkte klimagassutslipp knyttet til den norske delen av verdikjeden (hovedsakelig lokaliteter og fartøy). Det har også vært et stort fokus på landstrøm og elektrifisering av lokaliteter, og flere studier har tatt for seg potensialet og barrierer for elektrifisering av oppdrettslokaliteter [11]–[16].

Datagrunnlaget og forståelsen for energibruk i næringen i dag er i stor grad basert på tidligere rapporter fra 2018 av ABB og Bellona [11], samt DNV-GL [12]. I Klimakur 2030 [17] er tiltak for utslippskutt innenfor havbruksnæringen kartlagt frem mot 2030. Referansebanen lagt til grunn baserer seg på utslipp beregnet fra analysen fra Bellona og ABB i 2018, og forutsetter at utslippene ligger flatt frem mot 2030, tross produksjonsvekst. Tiltaksanalysen finner at det er potensial for utslippskutt på rundt 2 millioner tonn CO2 i perioden 2021-2030 sammenlignet med referansebanen. Av disse utslippskuttene er 1 millioner tonn beregnet å komme fra innfasing av ammoniakk som energibærer og plug-in hybride løsninger på større havbruksfartøy, mens resten kommer fra økt grad av landstrøm og elektrifisering av mindre fartøy.

I Klimakur 2030 påpekes det at det er stor usikkerhet rundt næringens klimagassutslipp og dermed også potensialet for kutt i klimagassutslipp fremover [17]. Datagrunnlaget for energibruk og klimagassutslipp i næringen har i lengre tid vært begrenset, og tidligere studier har i stor grad basert seg på ABB og Bellonas rapport fra 2018. Det har samtidig vært en erkjennelse at økt forståelse for energibruk i næringen og en kartlegging av klimagassutslipp for alle aktiviteter i næringen er essensielt for å innrette klimatiltak.

Et prosjekt gjennomført av Apoint, Kontali og Doxacom høsten 2020 på oppdrag fra Miljødirektoratet har til en viss grad adressert dette [3]. Prosjektet innebar en kartlegging av energibruk på fôrflåter og for mindre fartøy (lokalitetsbåter og servicefartøy), grad av landstrøm/hybride forsyningsløsninger etablert og en oversikt over antallet fartøy og fremdriftsteknologi. Denne kartleggingen har i stor grad overlappet med delleveranse 1 i dette oppdraget. Det har dermed vært et etablert et samarbeid for å innhente det best mulige datagrunnlaget for dagens status for energibruk i næringen.

Flere andre studier den siste tiden har også bidratt til en bedre oversikt over energibruk og klimagassutslipp i næringen. Prosjektet 'Energi i havbruk' av Renergy Cluster har tatt for seg energibruk på fôrflåter og potensialet for energisparing [16]. To masteroppgaver av Møller (2019) og Mørk (2020) ([13], [14]) har tatt for seg status for elektrisering og energibruk ved lokaliteter i Trøndelag og Finnmark. Disse har også vurdert i hvilken grad tilgjengelig nettkapasitet er en begrensning for elektrifisering av fôrflåter. Videre gjennomførte Nofima i juni 2020 en studie i forbindelse med Regjeringens klimaplan lansert januar 2021 hvor innføring av krav om lav- eller nullutslipp for mindre fartøy i næringen ble vurdert [18]. Dette arbeidet ga en bedre oversikt over mindre fartøy i næringen, og viktig kunnskap om potensialet for hybridisering og elektrifisering for en del av disse.

Tabell 3 oppsummerer de viktigste funnene fra tidligere studier som har tatt for seg energibruk og klimagassutslipp i havbruksnæringen. Videre er studiene benyttet både i etableringen av datagrunnlaget for energibruk (delleveranse 1) og i vurderingen av aktuelle tiltak, potensialet for utslippsreduksjoner og barrierer (delleveranse 3).

Tabell 3 Oppsummering av studier på energi- og klima i havbruksnæringen.

Del av produksjonskjeden	Kilde	Hovedfunn
Oppdrettslokaliteter i sjø (fôrflåter og båter på lokalitet)	Bellona og ABB (2018). Grønt skifte i havbruk	Rapporten konkluderer med at ytterligere elektrifisering av oppdrettsanlegg kan kutte 360 ktonn CO2 per år. De totale utslippene fra drivstofforbruk for lokaliteter og båter er beregnet til nesten 400 000 tonn CO2. De anslo på det tidspunktet at ca. 50% av lokaliteter i sjø var elektrifisert. Basert på datagrunnlaget kan helelektrisk drift av fôrflåter og elektriske løsninger på båter redusere drivstofforbruket i bransjen med nesten 80%. Reduksjonspotensialet er beregnet å være størst for fôrflåter (57% av totalt reduksjonspotensial). Deretter følger arbeidsbåter (33%), servicebåter (5%), lokalitetsbåter (5%) og til slutt fornybar kraftproduksjon på flåter (0,2%). Tiltaksanalysen forutsetter at følgende klimatiltak er relevante: (1) landstrøm eller hybride løsninger benyttes på fôrflåter, (2) alle lokalitetsbåter kan driftes elektrisk, (3) arbeidsbåter driftes rent elektrisk eller hybrid, (4) hybride systemer med batterier benyttes for servicebåter.
Oppdrettslokaliteter i sjø (fôrflåter og båter på lokalitet)	DNV-GL (2018). Fullelektrisk fiskeoppdrett	Resultatene viser at 80% av produksjonen ved norske fôrflåter kan elektrifiseres lønnsomt eller mot en lav kostnad. De resterende anleggene ligger lengre unna infrastruktur, har lavere produksjonskapasitet og vil dermed være dyrere å forsyne med landstrøm. Lønnsomhet av elektrifisering er svært sensitiv til dieselpris og energiforbruket per produksjonsmengde. Energiforbruk lagt til grunn for analysen er 90 000 liter diesel per tillatelse i drift, eller om lag 80 liter per slaktet tonn fisk. Kostnaden ved å elektrifisere inntil 80% av lokalitetene er anslått til om lag 650 kr per tonn årlig CO2-reduksjon. Studien konkluderer med at elektrifisering av arbeidsbåter ikke er økonomisk lønnsomt, men at strømtilkobling ved merdkant kan være økonomisk lønnsomt gitt at lokaliteten allerede er elektrifisert. Avstand til land (dimensjonerende distanse) og ladestasjonenes effektbehov de to viktigste kostnadsdriverne.
Oppdrettslokaliteter i sjø (fôrflåter)	Prosjektet Energi i Havbruk. RENERGY Cluster, (2021). Optimal energibruk på oppdrettsanlegg.	Et viktig hovedfunn fra forprosjektet i 2018-2019 var at data- og kunnskapsgrunnlaget om energiforsyning og -behov i havbruksnæringen er mangelfullt, med store avvik i eksisterende data. Prosjektet har videre sett på barrierer for økt elektrifisering av oppdrettslokaliteter og potensialet for energieffektivisering. Behovet for nye forretningsmodeller ble også påpekt og konsepter for «energi levert som en tjeneste» ble utarbeidet i prosjektet av aktører fra oppdrettsnæringen og kraftbransjen. Identifiserte barrierer for videre elektrifisering er kostnader som følger av effektbehov for flåte, avstand fra land (kabelkostnad) og behov for forsterkninger i strømnettet på land (anleggsbidrag). Ytterligere elektrifisering vil utløse behov for investeringer i nettet, og dette behovet vil øke ytterligere ved elektrifisering av båter. Effektiviseringstiltak som energimåling, effektstyring, led-lys, bruk av restvarme til oppvarming og vannbåren fôring er kun i begrenset bruk i dag, men vil være vesentlig for å

		muliggjøre elektrifisering. Elektrifisering av flere lokaliteter innenfor et geografisk område vil gi muligheter for å utnytte kapasitet og dele kostnader. Nye forretningsmodeller kreves for å gjøre det enklere for oppdrettere å elektrifisere lokaliteter. I dag er det som regel oppdrettsaktørene selv som står for innkjøp, design og drift av energisystemet. Da dette ikke er oppdretters kjernevirksomhet risikerer man at dette blir nedprioritert. Det kan dermed være en attraktiv løsning at aktører innen kraftbransjen tar over ansvaret for leveranse, drift og vedlikehold.
Elektrifisering	Energi Norge, (2020a). Nettilkobling av oppdrettsanlegg ved elektrifisering.	Thema Consulting utarbeidet på oppdrag for Energi Norge en veileder som beskriver beste praksis for nettilknytning innen elektrifisering av oppdrett. De anslår at 50-60% av lokalitetene er elektrifisert. Veilederen tar for seg erfaringer fra elektrifisering og hovedfunn er: (1) Nettbransjen kan være vanskelig å forstå og dette krever at tekniske konsulenter ofte må benyttes i arbeidet med elektrifisering, (2) Nettilknytning kan være kostbart da oppdrettslokaliteter ligger i områder med svake strømnett med begrenset kapasitet, (3) Oppdrettsselskap eier nettstasjon selv og ønsker at nettselskapene tar oppgaven.
Båter på lokalitet	Iversen (2020). El for alle, alle for El?	Rapporten tar for seg muligheten for innføring av et krav om null- og lavutslippsfartøy i havbruksnæringen og oppsummerer erfaringer med elektriske og hybrid-elektriske fartøy i havbruksnæringa basert på intervju med aktører i næringen. Det slås fast at det er stor usikkerhet rundt antallet båter og størrelsesfordeling. Det anslås at 900 arbeidsbåter er i drift i næringen, hvorav cirka 600 er knyttet til lokaliteter og rundt 300 er servicebåter med større operasjonsradius. I tillegg finnes rundt 600 personellbåter knyttet til lokalitetene. Fordeler som trekkes frem med elektriske arbeidsbåter er ingen støy og tomgangskjøring, lite stress for fisken, driftssikre systemer med god holdbarhet og lavt vedlikeholdsbehov. Utfordringer for el-båter er usikkerhet rundt forbruk og reell rekkevidde, ladeinfrastruktur og begrensninger i strømnettet. For hybridbåter er det små driftsbegrensninger sammenlignet med konvensjonelle båter. Basert på intervjuer virker elektriske båter å fungere tilfredsstillende for de fleste lokaliteter, men for anlegg langt fra land vil hybridbåter være mest aktuelt. Det konkluderes med at teknologisk modenhet både for hybrid-elektriske og elektriske fartøy er akseptabel per nå, men det er fortsatt usikkerhet knyttet til rekkevidden, operasjonsområde og -tid og tilgjengelig ladeinfrastruktur for elektriske arbeidsbåter. Behovet for infrastruktur og i hvilken grad el-kraft er tilgjengelig må avklares før et eventuelt krav innføres.

Oppdrettslokaliteter i sjø (fôrflåter og båter på lokalitet) og elektrifisering	Mørk (2020). Energiomlegging av oppdrettsanlegg i Finnmark.	Masteroppgaven av Mørk (2020) tar for seg økonomisk lønnsomhet og utslippsbesparelser ved en energiomlegging av alle fossildrevne oppdrettsanlegg i Finnmark, inklusive fossildrevne arbeidsbåter. Som en del av oppgaven ble det gjennomført en betydelig datainnsamling på elektrifiseringsgrad og energiforbruk, noe som gir en god oversikt over dagens status i Finnmark. Av de anleggene som oppga informasjon om energisystemet på fôrflåten, og ikke var brakklagt, driftes 53% med diesel, 38% med landstrøm, 5% med hybride systemer og 4% har kanonfôring fra båt. Gjennomsnittlig årlig energiforbruk ved de fossildrevne anleggene var 204 214 liter diesel per anlegg. Dette gir et gjennomsnittlig dieselforbruk på 52 liter per tonn maksimalt tillatt biomasse (MTB), men forbruket varierer fra 20 til 90 liter per tonn MTB. Alle arbeidsbåter ved de 29 fossildrevne anleggene data ble innhentet fra var dieseldrevne. Arbeidsbåter ble *beregnet* til å ha et gjennomsnittlig årlig energiforbruk på 67 067 L diesel per år. Analysen forutsetter at 66% av anleggene kan driftes på landstrøm og 34% med hybride energiløsninger, samt at alle arbeidsbåter kan driftes elektrisk. Disse tiltakene gir en samlet utslippsreduksjon på 78 % per år, som tilsvarer en reduksjon på 16 410 tonn CO2 per år for lokaliteter i Finnmark.
Oppdrettslokaliteter i sjø (fôrflåter) og elektrifisering	Møller (2019). Reduction of CO2 Emissions in the Salmon Farming Industry: The Potential for Energy Efficiency Measures and Electrification	Møller kartla i sin masteroppgave energi- og effektbruken for oppdrettslokaliteter i Trøndelag og vurderte forutsetningene for tilkobling til landstrøm. 50% av lokalitetene i Trøndelag er elektrifisert. Hun fant at årlig gjennomsnittlig energiforbruk på lokalitetene var 0,35 kWh per kg fisk produsert. Elektrifiserte lokaliteter og lokaliteter uten landstrøm hadde et gjennomsnittlig energiforbruk på hhv. 0,26 kWh og 0,44 kWh per kg fisk produsert. Dette refererer til innfyrt energi, og forskjellen i energibruk for elektrifiserte og ikke-elektrifiserte lokaliteter kommer altså fra forskjellen i virkningsgrad. Studien finner at andelen elektrifiserte lokaliteter i Trøndelag kan økes til 83% uten ytterligere investeringer i strømnettet. Det ble også identifisert at energieffektiviseringstiltak på flåtene er essensielt hvis flere lokaliteter i samme område skal elektrifiseres. Barrierer for videre elektrifisering som trekkes frem er kostnader for mindre lokaliteter og lokaliteter som krever høyspent linjer, og dagens forretningsmodeller som krever at oppdretterne selv kjøper inn og drifter energisystemet på lokalitetene.

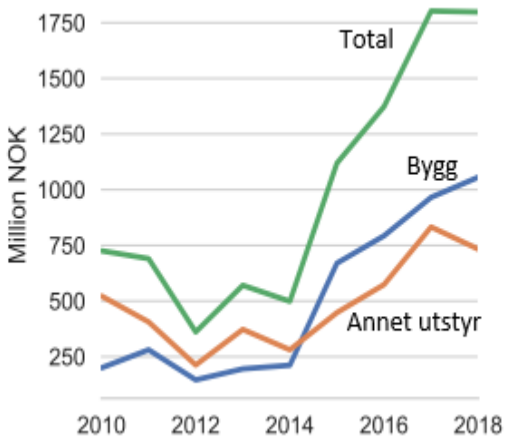
2.3 Status for energibruk i dagens lakseoppdrett

Som nevnt i oppsummeringen av tidligere studier av energi og klimagassutslipp i oppdrettsnæringen er det betydelig usikkerhet knyttet til det faktiske energiforbruket for ulike aktiviteter. Et viktig formål med dette prosjektet har vært å kartlegge energibruk og energibærere gjennom sammenstilling av tidligere studier og innhentning av energiforbrukstall fra næringen for å fremskaffe et kvalitetssikret og oppdatert datagrunnlag.

Som gitt av avgrensningen for studien er dagens status kartlagt for: lokaliteter på land, lokaliteter i sjø og fartøy. Antallet lokaliteter, teknologi (hvis relevant), energiforbruk og energibærere er kartlagt. Vi bruker her energiforbruk per kilo levende fisk produsert som en indikator for energiforbruk da dette legger til rette for at energiforbrukstallene kan brukes inn i tiltaksanalysen i delleveranse 3.

2.3.1 Lokaliteter på land

Den delen av havbruksnæringen som er i drift på land produserer i dag hovedsakelig settefisk for lakseproduksjon og rognkjeks som brukes for lusekontroll i sjøfasen. Produksjon på land foregår hovedsakelig ved bruk av to ulike teknologier: gjennomstrømningsteknologi (Flow Through Systems, FTS) og resirkuleringsteknologi (Recirculating Aquaculture Systems, RAS). Tradisjonelt har smolt rundt 100-150 g vært produsert i gjennomstrømningsanlegg på land. Næringens utfordringer med lus og sykdom har ført til en utvidelse av produksjonstiden på land og flere aktører produserer i dag større smolt på land (post-smolt) for å redusere oppholdstiden i sjø og optimere produksjonskapasiteten. Sammen med vekst i næringen generelt har dette ført til at ferskvannsressurser for settefiskproduksjon har blitt en begrensende faktor. RAS-teknologi har dermed blitt den foretrukne teknologien da 90-99% av vannet kan resirkuleres, noe som drastisk reduserer vannbehovet og øker fleksibiliteten med tanke på lokasjon da store vannmengder ikke er nødvendig. RAS-anlegg er lukkede system hvor vannbehandling kreves for å opprettholde akseptabel vannkvalitet, noe som øker energibehovet knyttet til pumping og vannbehandling. Ved siden av RAS-anlegg hvor mer enn 90% av vannet blir resirkulert har andre satset på gjennomstrømningsteknologi med større grad av resirkulering (FTS-R). Graden av gjenbruk kan i disse anleggene variere fra 30-70% [19].



Figur 3 Investeringer i settefiskanlegg de siste årene. Data fra: Fiskeridirektoratet (2019) Statistikkbanken.

Utvidelsen av produksjon på land og et skifte i teknologi har de siste årene ført til store investeringer i settefiskanlegg.

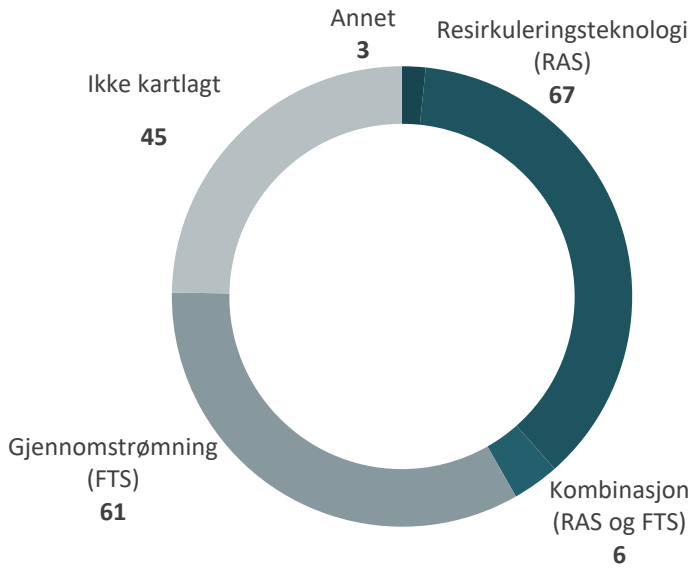
I tillegg til produksjon av smolt og post-smolt på land er flere tillatelser utdelt for produksjon av matfisk i anlegg på land. En rekke ulike prosjekter er her på prosjekteringsstadiet med ulike teknologikonsepter, men kun ett anlegg er i drift i dag. Både gjennomstrømningsteknologi, RAS-teknologi og andre konsepter er planlagt benyttet.

2.3.1.1 Antall lokaliteter på land og teknologi

Per 2019 var 221 tillatelser godkjent for produksjon av laks, ørret og regnbueørret på land, hvorav 182 var i drift [4]. Anleggene som er i drift i dag produserer hovedsakelig settefisk. Kun et anlegg er i drift for matfiskproduksjon i dag, men en rekke tillatelser er tildelt.

Ulike teknologier er i bruk for produksjon på land. Mens gjennomstrømningsteknologi har vært dominerende lenge bygges nå flere og flere anlegg med resirkuleringsteknologi. I tillegg er flere anlegg bygget ut stegvis og har enkelte avdelinger med gjennomstrømningsteknologi og andre med resirkuleringsteknologi.

Ingen offisiell statistikk viser fordelingen av teknologier benyttet i landbaserte anlegg. Teknologier i bruk ved ulike anlegg er kartlagt basert på en samling av tidligere kartlegginger[1], nettsøk og informasjon fra næringsaktører. Teknologi er kartlagt for 137 av 182 anlegg i drift. Anleggene som ikke er kartlagt er i stor grad mindre, eldre anlegg hvor det antakeligvis benyttes gjennomstrømningsteknologi.



Figur 4 Oversikt over antallet lokaliteter på land med ulik teknologi. For 45 anlegg ble teknologi ikke kartlagt, men det er antatt at så godt som alle disse driftes med FTS-teknologi.

Som vist av Figur 4 er status for settefiskproduksjon i dag at 67 RAS-anlegg er i drift, 6 anlegg benytter både RAS og gjennomstrømningsteknologi, mens de resterende benytter gjennomstrømningsteknologi. Ser man derimot på andelen av settefisk som er produsert i RAS-anlegg er denne antakeligvis betydelig høyere. RAS-anleggene som er bygd de siste årene har stor produksjonskapasitet og leverer en stor andel av settefisken for de største aktørene i næringen.

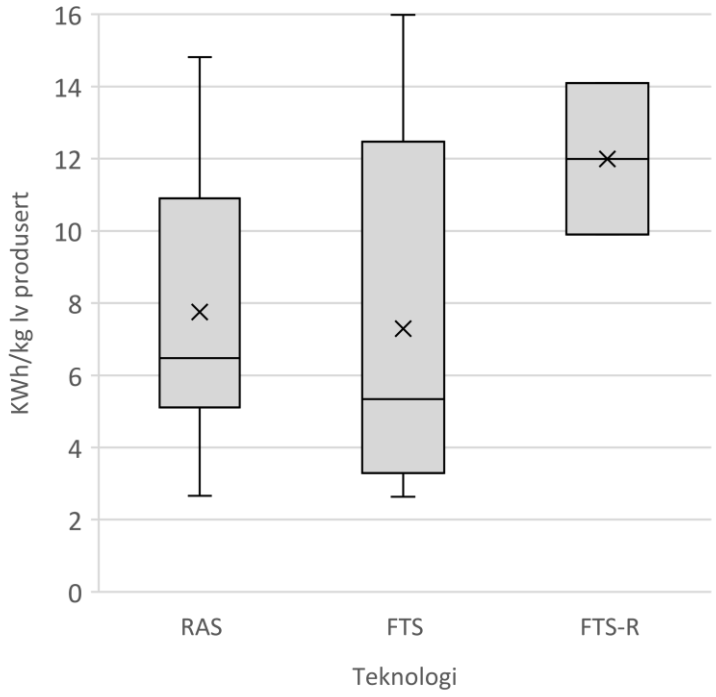
2.3.1.2 Energiforbruk for produksjonsfasen på land

Energiforbrukstall er innhentet fra 31 settefiskanlegg med produksjon av smolt og post-smolt. Som vist av Figur 5 er det store variasjoner i energiforbruk per kg levende fisk produsert. Energiforbruk varierer fra 3 til 16 kWh/kg levende fisk produsert. Gjennomsnittlig energiforbruk var 7,7 og 7,3 kWh/kg levende fisk produsert for hhv. RAS og FTS-anlegg.

Kun for to av FTS-anleggene *vet* vi at en stor andel av inntaksvannet blir gjenvunnet, og anleggene kan klassifiseres som gjennomstrømningsteknologi med resirkulering (FTS-R). Disse to anleggene vi vet gjenbruker store deler av inntaksvannet hadde et gjennomsnittlig forbruk på 12 kWh/kg levende

[1] Kartlegginger av Svein Martinsen (Morefish), Tore Evjen (NRS), Simen Langeteig (Lerøy).

fisk produsert. Antakeligvis har flere av anleggene som er klassifisert som FTS en større andel resirkulering av vannet. Dette vil dermed ikke si at energiforbruket generelt er høyere i gjennomstrømningsanlegg som gjenbruker vann. Energiforbruket i gjennomstrømningsanlegg med 60-70% gjenbruk av vann (FTS-R) er tidligere vurdert å være tilnærmet likt energiforbruket i et RAS-anlegg av tilsvarende størrelse [19].



Figur 5 Energiforbruk for lokaliteter på land med ulike typer teknologier. Resirkuleringsteknologi (RAS) til venstre, gjennomstrømningsteknologi (FTS) i midten og gjennomstrømning med stor grad av resirkulering av vann til høyre. Energiforbruksdata er innhentet fra 18 RAS, 11 FTS og 2 FTS-R. Boksen viser spredning i energiforbruket og de vertikale linjene viser maks-min verdier (whiskers). Krysset viser gjennomsnittlig energiforbruk.

Energiforbrukstall for dagens settefiskproduksjon er innhentet fra aktører i næringen og ASC-sertifiseringsrapporter [20]. I ASC-sertifiseringsrapportene må alle sertifiserte matfisklokaliteter i sjø også rapportere energiforbruk for settefiskprodusenter de har kjøpt smolt fra. Energiforbruket er rapportert per år sammen med årlig produksjon. Tallene rapportert i ASC-sertifiseringsrapportene er verifisert opp mot tall innhentet direkte fra oppdrettsselskap vi har vært i kontakt med i løpet av dette prosjektet. Tallene har også vært verifisert ved at sertifiseringsrapporter fra ulike oppdrettsselskap har rapportert energiforbruk fra de samme settefiskanleggene. Dette siden settefisk blir levert til flere ulike lokaliteter og selskap i løpet av et år.

Flere faktorer forklarer variasjoner i energiforbruk for produksjon av smolt og post-smolt. Produksjonsintensitet (kg fisk produsert per vannvolum), vannstrøm, lokasjon, størrelsen på fisken, energianlegg og eventuell slambehandling på anlegget er viktige faktorer for spesifikt energiforbruk [21]. Flere av anleggene med veldig lavt energiforbruk er anlegg som utnytter spillvarme for oppvarming av produksjonsvannet.

Energi som benyttes i produksjonsfasen på land er hovedsakelig elektrisitet. Alle settefiskanlegg har dieselaggregat som back-up energiforsyning som kan benyttes ved strømbrudd eller lignende, men dette utgjør typisk veldig korte perioder av året. Energiforbrukstall fra noen settefiskanlegg (14 anlegg) i ASC-sertifiseringsrapporter [20] rapporterer energiforbruk per energibærer. For disse anleggene er 0-17% av årlig energiforbruk diesel.

Effektforbruket ved landbaserte anlegg er relativt jevnt over døgnet sammenlignet med fôrflåter i sjø. Effektforbruket øker derimot med størrelsen på fisken som produseres. Vannbehandling er den mest energikrevende prosessen i et RAS-anlegg. I RAS-anlegg står vannbehandlingssløyfen for en stor andel av energibruken (ca. 60%), hvorav pumping, oksygenering og CO2-utluftning er de viktigste energiforbrukene. Deretter står energianlegget (ca. 15%), bygg og ventilasjon og andre støttefunksjoner for hhv. 10% og 15%. Til sammenligning står pumper og energianlegget for en større del av energibruken i gjennomstrømningsanlegg [22]. For større fisk og lokasjoner hvor inntaksvannet har høyere temperaturer vil kjøling øke kjølebehovet, og energianlegget vil dermed bli en større forbrukspost.

2.3.2 Lokaliteter i sjø

1 087 kommersielle tillatelser og 986 lokaliteter for produksjon av laks, ørret og regnbueørret var registrert ved utgangen av 2020 [4]. Per august 2020, som er et tidspunkt flest lokaliteter er i drift i løpet av et år, var 719 lokaliteter i drift (Apoint, Doxacom & Kontali, 2020). Kartet utarbeidet i dette prosjektet viser lokaliteter i sjø for produksjon av laks med biomasse i øyeblikket[2].

En fôrflåte og ett gitt antall merder med fortøyninger utgjør en lokalitet i sjø. Energi brukes for fôring av fisk, belysning i merder, teknisk utstyr (ensilasje og sirkulasjon) og oppholdsrom. I tillegg benyttes en rekke ulike fartøy på lokalitet i løpet av produksjonssyklusen. Dette er både fartøy som er tilknyttet lokaliteten på mer fast basis og fartøy som utfører arbeid noen få ganger i løpet av produksjonssyklusen.

Når oppdrettsselskap rapporterer energiforbruk inngår ofte all energibruk for fôring, belysning, teknisk utstyr og eventuelle oppholdsrom, samt energiforbruk for båter i daglig drift på lokaliteten. Det er derimot forsøkt å skille ut energiforbruk for fôring og drift av lokaliteten fra energiforbruket for båter. Dette delkapittelet omtaler dermed energiforbruk for fôring og drift av lokalitet, mens energiforbruk for båter på lokalitet (personaltransport og arbeidsbåter) er omtalt i neste delkapittel.

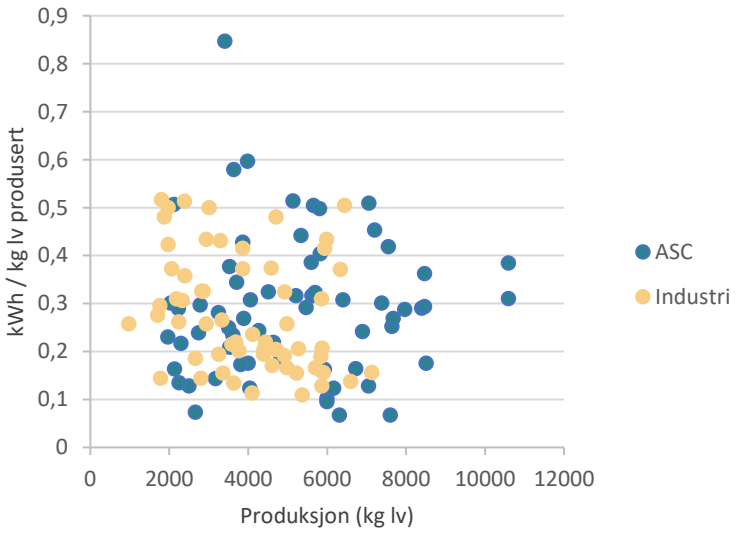
2.3.2.1 Energiforsyning og energiforbruk for fôrflåten

Figur 6 viser energiforbrukstall for lokaliteter i sjø. Som nevnt omfatter energiforbruket både energiforbruk for drift av fôrflåten (fôrblåsere, teknisk utstyr, lys i merder og eventuell hotelldrift) og drivstoff for båter i daglig drift på lokaliteten. Det er i midlertidig utfordrende å sikre at energiforbrukstallene omfatter den samme aktiviteten. Eksempelvis kan båter fylle drivstoff både ved fôrflåten og ved landbasen, noe som kan føre til at alt drivstoff ikke er medregnet i lokalitetens energiforbruk. Videre er det ulik praksis i hvilken grad eventuell energibruk ved landbasen inkluderes i lokalitetens energiforbruk. Så langt det har latt seg gjøre er det forsøkt sikret at energiforbrukstallene i Figur 6 dekker energiforbruk for drift av fôrflåten (fôrblåsere, teknisk utstyr, lys i merder og eventuell hotelldrift) og drivstoff for båter i daglig drift på lokaliteten.

[2] https://prosjekt.avinet.no/enova_klima_havbruk

Som vist av Tabell 4 er gjennomsnittlig energiforbruk[3] 0,22 kWh/kg levende fisk produsert for lokaliteter med landstrøm og 0,41 kWh/kg levende fisk for lokaliteter med dieselaggregat. Av dette energiforbruket utgjør båter 20-40% av energiforbruket for lokaliteter med dieselaggregat, og rundt 60% for lokaliteter med landstrøm. Dette resulterer i et gjennomsnittlig energiforbruk for fôrflåten på 0,09 kWh/kg levende fisk produsert for elektrifiserte lokaliteter og 0,28 kWh/kg levende fisk produsert for lokaliteter med dieselaggregat[4].

Det er som vist av Figur 6 store variasjoner i energiforbruket per biomasse produsert, med energiforbruk fra 0,1 til 0,6 kWh/kg levende fisk produsert. Den store variasjonen skyldes antakeligvis både reelle forskjeller i energiforbruk og usikkerhet i rapportering. Lokasjon (lysforhold, gangtid for båter, hotelldrift etc.), driftsstrategi (fôring, lys), driftsutstyr på fôrflåten og merdenes plassering i forhold til fôrflåten er noen av faktorene som leder til forskjeller i energibruk. Usikkerhet knyttet til rapportering er også betydelig. Dette gjelder spesielt for lokaliteter med dieselgeneratorer og for logging av drivstofforbruk for båter.



Figur 6 Energiforbrukstall for lokaliteter i sjø oppgitt i energiforbruk (kWh) per biomasse produsert (kg levende fisk). Energiforbruk er innhentet over ett år eller en produksjonsyklus, og omfatter energiforbruk for en lokalitet inklusive båter på lokalitet. Energiforbrukstall er innhentet fra ASC-rapporter [20] *og industriaktører.*

Energiforbrukstall er innhentet fra ASC-sertifiseringsrapporter [20] og industriaktører. Energiforbrukstall og biomasseproduksjon i tilsvarende periode er innhentet enten per år eller per produksjonsyklus. I starten av en produksjonsyklus er biomasse produksjonen lav selv om energiforbruket er relativt høyt. Påveksten (kg fisk per kg fôr) i begynnelsen av en produksjonsyklus er lav sammenlignet med mot slutten. I en produksjonsyklus vil påveksten i begynnelsen være lav sammenlignet med senere i syklusen. For å unngå at forbrukstall fra perioder som kun dekker starten av en produksjonsyklus, der produksjonen målt i økt biomasse er svært lav, er det gjort en filtrering

[3] Med energiforbruk understreker vi at vi her mener innfyrt energi

[4] Forskjellen i energiforbruk for elektrifiserte lokaliteter og lokaliteter med dieselaggregat gjenspeiler forskjellen i virkningsgrad (nærmere 100% versus ca. 30-35%).

slik at kun perioder der det er produsert mer enn 50% av MTB blir med. Dette vil også utelukke eventuelle data fra brakkleggingsperioder.

Tabell 4 Energiforbruk i kWh/kg lv produsert for drift av lokalitet. Tall i parentes viser bredden i data. Energiforbruket viser til innfyrt energi. På grunn av den lavere virkningsgraden for et dieselaggregat sammenlignet med elektrisk energiforsyning er dermed energiforbruket høyere for lokaliteter med dieselgenerator.

	Landstrøm	**Dieselgenerator**
Totalt energiforbruk på lokalitet	0,22 (0,11-0,41)	0,41 (0,22-0,60)
Andel av totalt energiforbruk brukt av båter	Rundt 60%	20-40%
Estimert gjennomsnittlig energiforbruk for fôrflåter	0,09	0,29

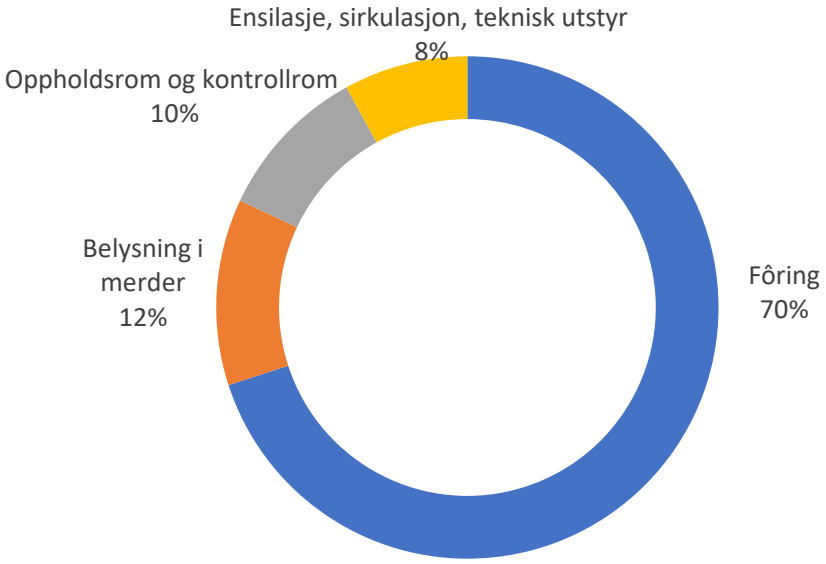
Elektrisitet og anleggsdiesel er energibærere som benyttes for fôrflåter. Landstrøm, hybride løsninger med batteri og dieselaggregat eller dieselaggregat alene er energiforsyningsløsninger i bruk i dag. I løpet av prosjektperioden har Apoint, Doxacom og Kontali [3] gjennomført en kartlegging av energiforsyning og energibærere ved lokaliteter. Oversikten over lokaliteter i drift og energiforsyning er dermed hentet fra Apoint, Doxacom & Kontali (2020), men er oppdatert basert på informasjon om installerte hybride løsninger fra Fjord Maritime. Energiforsyning er kartlagt for 82% av lokalitetene registrert i Akvakulturregisteret [23]. 55% av lokalitetene hadde landstrømtilkobling, 6% hadde hybride løsninger mens 39% hadde dieselaggregat installert.

Tabell 5 Antall lokaliteter i sjø og energiforsyning.

Lokaliteter registrert	**Landstrøm**	**Hybrid**	**Dieselgenerator**	**Avklarte lokaliteter**
1027[5]	467	50	329	846
	55%	6%	39%	82%

Effektbehovet og energiforbruket på en fôrflåte varierer avhengig av en rekke ulike faktorer, blant annet lokasjon, biomasse, antallet fôringslinjer, type utstyr på flåten, eventuelt sykdomsbilde, fôringsstrategi og hvor i produksjonssyklusen man befinner seg. En typisk fordeling av energiforbruk over et år er vist i Figur 7.

[5] På tidspunktet Apoint, Kontali og Doxacom gjennomførte kartleggingen var 1027 lokaliteter i sjø registrert, sammenlignet med 986 ved utgangen av 2020.



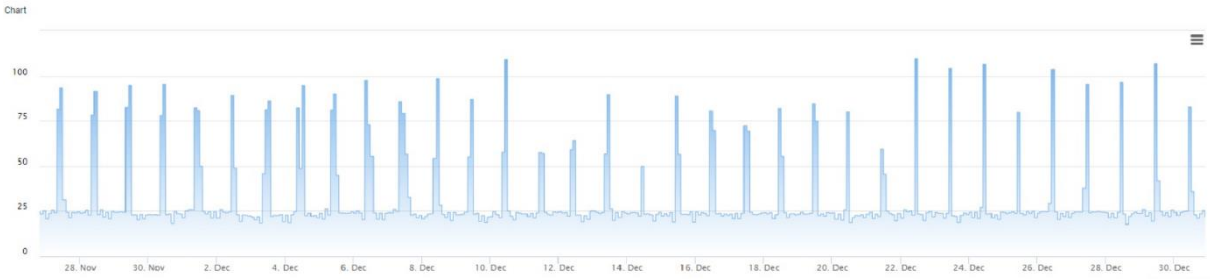
Figur 7 Prosentvis fordeling av energibruk på typisk oppdrettsanlegg. Kilde: RENERGY, 2021 [16].

2.3.2.2 Driftsprofiler for fôrflåter

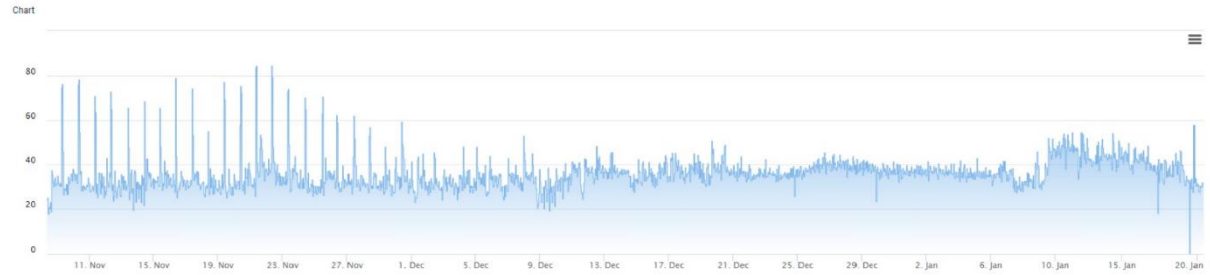
Effektforbruket på en fôrflåte kan kategoriseres som grunnlast og topplast. Grunnlast er effektforbruk når det ikke fôres, og er hovedsakelig forbruk for hotelldrift, drift av teknisk utstyr og lys i merder. Fôring gjennomføres i tråd med dagslys, som regel i en periode på dagtid, og øker effektbehovet. Fôringsstrategi avhenger gjennom året og fra lokalitet til lokalitet, så lengden av «toppen» og størrelsen vil variere. I større perioder vil også fisken avluses eller man har en brakkleggingsperiode som gjør at man ikke fôrer og at effektforbruket dermed er mer jevnt fordelt utover dagen.

Basert på data fra 50 fôrflåter hvor leverandøren Fjord Maritime innhenter data fra er det sjeldent at lasten overstiger 100 kW. Grunnlasten ligger for mange flåter på rundt 15-20 kW, men dette vil avhenge av hvilken type flåte det er. I nord er det ofte store flåter hvor mannskapet bor på flåten noe som gjør at grunnlasten er høyere. Lengre sør har man ofte mindre flåter, hvor fôring er fjernstyrt fra land, noe som gjør at effektbehovet er lavere. Produksjonsvolum, mengden fisk som skal fôres, er en viktig faktor for hvor stor last det er dimensjonert for, men også fôringsstrategi, hvordan man fôrer, spiller en viktig rolle så det er ikke nødvendigvis et lineært forhold mellom maks last og produksjonsvolum.

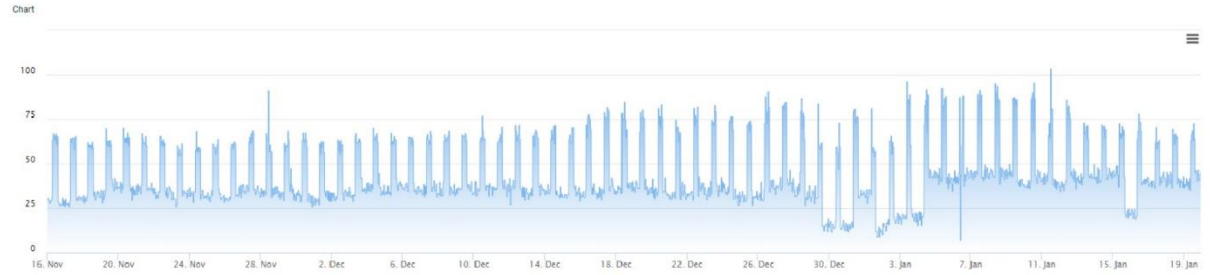
Driftsprofiler for ulike typer flåter og lokasjoner er vist i Figur 8, og viser den store variasjonen i drift og effektforbruk for ulike flåter på ulike stadier i produksjonssyklusen.



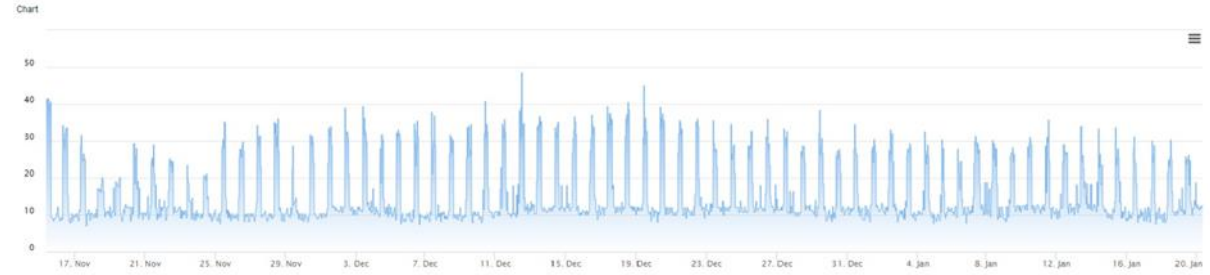
a. Lokalitet i Nord-Norge med 8 fôringslinjer i drift. Ingen bor på flåten.



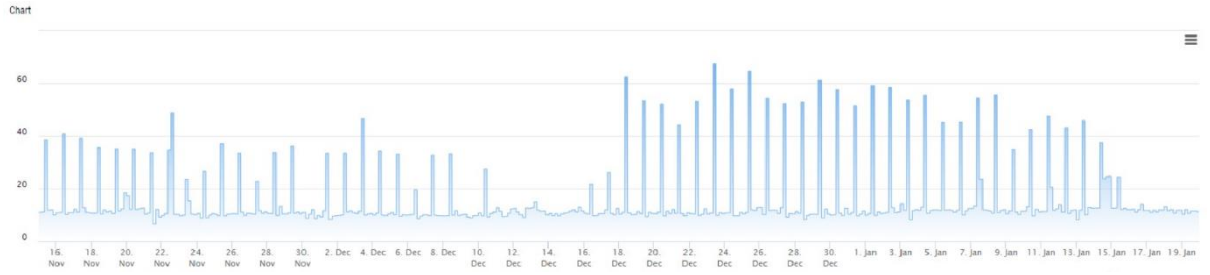
b. Lokalitet i Nord-Norge med 8 fôringslinjer i drift i starten av perioden. Lokaliteten er deretter brakklagt fra rundt starten av desember. Stort boligkvarter, men ingen bor på flåten i perioden.



c. Lokalitet i Midt-Norge med 8 fôringslinjer i bruk. Fisken er 1 kg. 3 personer bor på flåten.



d. Lokalitet i Midt-Norge med 3 fôringslinjer, i slutten av produksjonen. Personer bor ikke på flåten.



e. Lokalitet i Sør-Norge med 5 fôringslinjer i drift. Fisken er 3 kg. Ingen bor på flåten. I slutten av tidsperioden foregår det ikke fôring pga. avlusning.

Figur 8 Driftsprofiler for ulike typer fôrflåter fra Fjord Maritime sine energioppfølgingssystem. Effektprofilene viser data per sekund, noe som vil si at effekttopper med høyere oppløsning ikke vises.

2.3.3 Fartøy

En rekke typer fartøy er aktive i havbruksnæringen. Figur 9 viser et øyeblikksbilde av fartøysaktiviteten med brønnbåter i blått og mindre servicefartøy i grått. I tillegg er en rekke mindre fartøy i bruk i næringen. Det er utfordrende å gi en komplett oversikt over alle fartøy i næringen da kun en del av båtene i bruk er registrert med AIS eller i NIS-NOR registeret. Dette gjelder spesielt mindre fartøy under 10 meter i næringen, slik som hurtiggående åpne båter og eldre arbeidsbåter som brukes til enkelt oppdrag eller som back-up fartøy [3].

Figur 9 Øyeblikksbilde over operative fartøy med AIS-signal i havbruksnæringen per desember 202. Utklipp hentet fra BarentsWatch [24].

Det er stor variasjon i hvilke og hvordan fartøy brukes på ulike lokaliteter og for ulike selskap. Grovt sett kan dagens flåte inndeles på følgende vis (basert på [18]):

- **Mindre fartøy, transportbåt/personalbåt**: Båter som benyttes for frakt av personal og utstyr til lokalitet. Disse er ofte hurtiggående, enskrogsbåter, men kan også være eldre katamaraner.

- **Arbeidsbåt**: Båt mellom 10 og 15 meter tilknyttet en lokalitet, ofte en katamaran. Benyttes for jevnlig arbeid på lokaliteten og har kran til lette og middels løft. Benyttes på daglig basis i rengjøring, tilsyn og fôring av rensefisk, lusetelling, dødfiskhåndtering, kontroll av utstyr osv.

- **Arbeids/servicefartøy under 15 m**: Båter inntil 15 meter som utfører arbeid på flere lokaliteter innenfor ett selskap eller for flere selskap. Disse kan både være eid av oppdrettsselskapet selv eller av eksterne selskap. Vil ha varierende operasjonsradius og arbeidsområder avhengig av størrelse og utstyr. Typiske tjenester er tyngre arbeid som notvask, avlusning osv.

- **Servicefartøy over 15 m**: Servicefartøy med en lengde på over 15 m, typisk 20-30 m. Disse er spesialtilpasset for tyngre arbeid som fortøyningsarbeid, notskifte og avlusning. Fartøyene har stor operasjonsradius og gjennomfører arbeid på ulike lokaliteter og hos ulike selskap i løpet av et år. Fartøyene er ofte eid av eksterne serviceselskap.

- **Brønnbåter**: Fartøy for transport av levende fisk, enten som smolt eller slakteklar, samt for avlusning. En stor andel av brønnbåtene har stor operasjonsradius og har lange seilingsdistanser årlig. Fartøyene opererer i stor grad på charter og faste rammeavtaler med oppdrettsselskapene, men er i enkelte tilfeller kun innleid for enkeltoppdrag (rundt 15% av markedet [18]).

I tillegg til disse fartøyene kommer prosessbåter, dykkerbåter, bløgge- og slakterbåter og fôrfartøy. Kartleggingen og tiltaksanalysen er i denne studien begrenset til fartøy nevnt i punktlisten ovenfor.

Arbeidsbåter og mindre båter for transport og personaltransport er typisk tilknyttet en lokalitet eller et få antall lokaliteter. Dette er fartøy som er i drift på daglig basis gjennom produksjonssyklusen, og som i stor grad er eid av oppdrettsselskapene selv. Servicefartøy og brønnbåter benyttes til arbeid på lokalitet noen ganger gjennom produksjonssyklusen, og er ofte leid inn på tjenestebasis fra eksterne selskap.

2.3.3.1 Antall fartøy i næringen

Som oppsummert på bakgrunn av tidligere studier har det vært relativt stor usikkerhet knyttet til antallet fartøy i næringen, spesielt for de mindre fartøyene. Et mål gjennom prosjektet har dermed vært å kartlegge antall fartøy i næringen og fremdriftssystem for disse.

Apoint, Doxacom og Kontali har i løpet av høsten 2020 gjennomført en kartlegging av mindre fartøy i næringen. Dette omfatter mindre båter, arbeidsbåter og servicefartøy. Kartleggingen gir en oversikt over antall båter og fremdriftssystem basert på kontakt med oppdrettsselskap, oversikt over Enova-søknader og andre offentlig tilgjengelige kilder. For mindre fartøy i næringen er resultater fra kartleggingen av Apoint, Doxacom og Kontali i tråd med tidligere estimat på flåtestørrelse [18].

Kartleggingen av mindre fartøy i næringen er basert på arbeidet av Apoint, Doxacom og Kontali, men har oppdatert resultatene basert på informasjon fra ferdigstilte Enova-støttede prosjekt, informasjon innhentet fra næringsaktører og offentlig tilgjengelige kilder[6]. Det er i motsetning til Apoint Doxacom og Kontali sin kartlegging valgt å skille mellom arbeidsbåter og servicefartøy, selv om disse ofte kan ha en overlappende funksjon. Vi omtaler arbeidsbåter som fartøy som er eid av oppdrettsselskap og som brukes på en eller et fåtall lokaliteter. Apoint, Doxacom og Kontali anslår at det totalt sett er 732

[6] Deriblant Maritimt Magasin

arbeidsbåter/servicefartøy under 15 meter eid av oppdrettsselskap. Vi antar at 119 av disse betjener et større område og 613 betjener kun en eller et fåtall lokaliteter basert på tidligere anslag for antallet servicefartøy [18].

Den norske brønnbåtflåten besto av 95 skip ved inngangen til 2020 og rundt 50 større serviceskip [25]. Basert på AIS-analyser fra 2018 opererte 76 brønnbåter i *norske* farvann [26]. I 2020 hadde 90 av 119 brønnbåter registrert i NIS/NOR-registeret registrert aktivitet basert på AIS-spor i Barents Watch [24]. Kontakt med næringsaktører og oversikt over gjennomførte Enova-søknader gir grunnlag for kartlegging av alternative fremdriftssystemer for brønnbåter.

Tabell 6 viser en kartlegging av fartøy i havbruksnæringen med estimert antall fartøy innen hver gruppe og hvilke energisystem de benytter. Det er anslått at 1 745 fartøy benyttes i oppdrettsnæringen. Den største andelen av disse er mindre fartøy eid av oppdrettsselskap (arbeidsbåt og mindre fartøy for personaltransport). Et fåtall av dagens fartøy benytter alternative energibærere eller fremdriftssystem. Noen få av arbeidsbåtene driftes tilnærmet rent elektrisk, mens resterende fartøy har hybride fremdriftssystem med ulik hybridiseringsgrad. Diesel og MGO benyttes som energibærere for alle fartøygrupper, mens noe bensin (ca. 15% av energiforbruket) benyttes for de minste båtene.

Tabell 6 Kartlegging av fartøy i havbruksnæringen og energibærere.

Fartøy	**Fossile energibærere**	**Hybrid-elektrisk /Elektrisk**	**Totalt**
Brønnbåt	75	15	**90**
Servicefartøy > 15 m	35	9	**44**
Arbeids-/servicefartøy < 15 m	297	3	**300**
Arbeidsbåt	609	4	**613**
Mindre fartøy, personaltransport/transportbåt	697	1	**698**
Totalt	**1 713**	**32**	**1 745**

2.3.3.2 Energiforbruk for fartøy

Oversikt over drivstofforbruk er innhentet fra oppdrettsselskaper og eksterne service- og brønnbåtaktører, samt kartleggingen utført av Apoint, Doxacom og Kontali. I tillegg er drivstofforbruket for brønnbåtflåten i stor grad modellert da datagrunnlaget innhentet i prosjektet har vært begrenset.

Gjennomsnittlig drivstofforbruk for ulike båter er vist i Tabell 7. Det er store variasjoner i drivstofforbruk innad og på tvers av de ulike fartøygruppene. Dette gjelder spesielt for større servicefartøy, brønnbåter og arbeidsbåter. Datagrunnlaget og usikkerhet knyttet til dette er detaljert for hver fartøygruppe nedenfor.

Tabell 7 Gjennomsnittlig drivstofforbruk for hver fartøyskategori. Forbruk per biomasse produsert er estimert basert på energiforbruk for hver fartøygruppe, antallet fartøy og biomasseproduksjon.

Fartøy	**Gjennomsnittlig årlig drivstofforbruk per båt** Liter/år	**Forbruk per biomasse produsert** L/kg lv produsert
Brønnbåt	1 700 000 (312 000 – 2 400 00)	0,08
Servicefartøy > 15 m	230 000 (110 000 -420 000)	0,008
Arbeids-/servicefartøy < 15 m	110 000 (40 000 – 150 000)	0,02
Arbeidsbåt	35 000 / 90 000 (25 000 – 90 000)	0,015
Mindre fartøy, personaltransport/transportbåt	15 000 – 18 000	0,007

Mindre fartøy, personaltransport/transportbåt

For de minste fartøyene i bruk på lokalitet, som brukes til personaltransport og annen transport, er gjennomsnittlig årlig drivstofforbruk basert på kartleggingen gjennomført av Apoint, Doxacom og Kontali [3].

Arbeidsbåter

Drivstofforbruk for arbeidsbåter er hentet inn fra oppdrettsselskaper og tidligere studier ([3], [14], [18]). De ulike kildene avdekker en relativt stor forskjell i estimert årlig forbruk. Basert på tidligere studier er estimert drivstofforbruk for arbeidsbåter 40 000 til 90 000 L diesel per år, mens innsamlede forbrukstall i denne studien viser årlig forbruk ned mot 30 000 L per år for arbeidsbåter. Også energiforbrukstall innsamlet og erfaringstall på fordelingen mellom energiforbruk for fôrflåte og båter på lokalitet peker mot et lavere forbruk for arbeidsbåter. Dette er en konsekvens av store forskjeller i hvordan arbeidsbåter opererer på ulike lokaliteter og i ulike selskap. En del av arbeidsbåtene er tilknyttet en eller et fåtall lokaliteter, mens andre opererer på et større antall lokaliteter innenfor samme selskap.

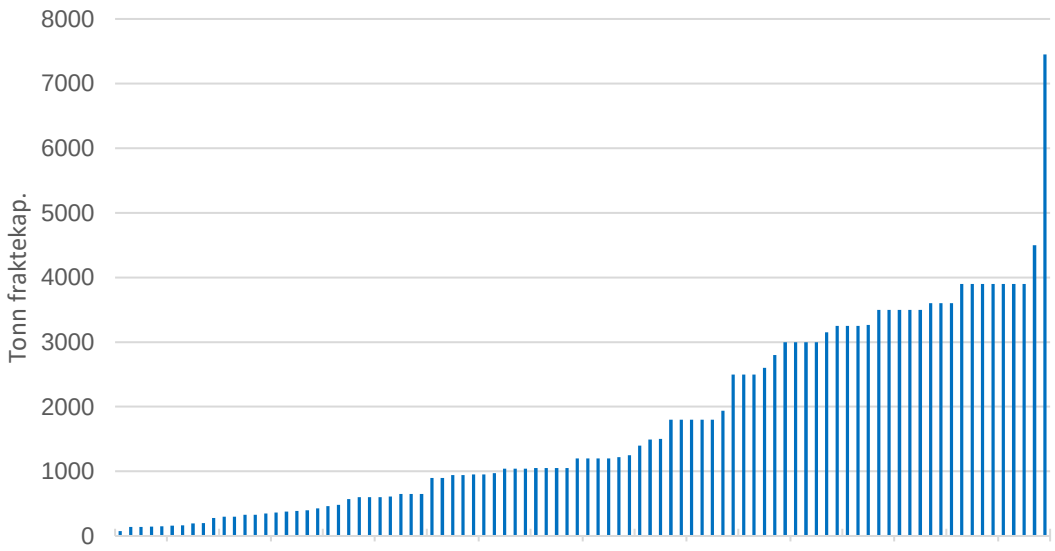
På bakgrunn av dette har vi valgt å skille mellom arbeidsbåter som opererer på en eller et fåtall lokaliteter innenfor en liten radius og arbeidsbåter med større operasjonsradius. Det forutsettes at 613 fartøy opererer på en eller et lite antall lokaliteter, og at disse har et årlig forbruk rundt 30 – 35 000 L diesel per år. For arbeidsbåter med større operasjonsradius er det forutsatt et årlig drivstofforbruk på 90 000 L diesel. Vi har valgt å videre kategorisere disse som servicefartøy under 15 meter. Dette gjelder omtrent 120 arbeidsbåter. Fordelingen av arbeidsbåter som opererer på hhv. en eller flere lokaliteter er gjort basert på tidligere anslag for antallet mindre servicefartøy i næringen [3].

Servicefartøy

Forbrukstall for mindre og større servicefartøy er innhentet for 22 fartøy, hvorav 16 er katamaraner under 15 m og 6 er større fartøy (24-48 m). Fartøyene eies og driftes både av eksterne serviceselskap og oppdrettsselskap. I tillegg er produksjonsbaserte tall innhentet fra andre oppdrettsselskap (L per produsert laks). Datagrunnlaget dekker dermed et bredt sett av servicefartøy med ulik operasjonsradius. Dette leder også til at spredningen i energiforbruk er relativt stor, spesielt for kategorien større servicefartøy som dekker ulike typer skip fra 24 m til 48 m. Datasettene innhentet fra ulike aktører viser nokså likt gjennomsnittlig forbruk noe som validerer forbrukstallene.

Brønnbåter

Brønnbåtselskap og oppdrettsselskap har vært kontaktet i løpet av prosjektet med forespørsel om energiforbrukstall for brønnbåter. Det har vist seg svært utfordrende å innhente tall for denne delen av næringen sitt årlige energiforbruk. Energiforbruk er dermed kun kartlagt for noen få fartøy. Det er også gjort få tidligere vurderinger av flåtens energibehov. Tidligere vurderinger av energiforbruket for brønnbåter spriker stort, fra ca. 0,3 kWh/kg levende fisk produsert [27] til 0,8 kWh/kg levende fisk produsert [8].

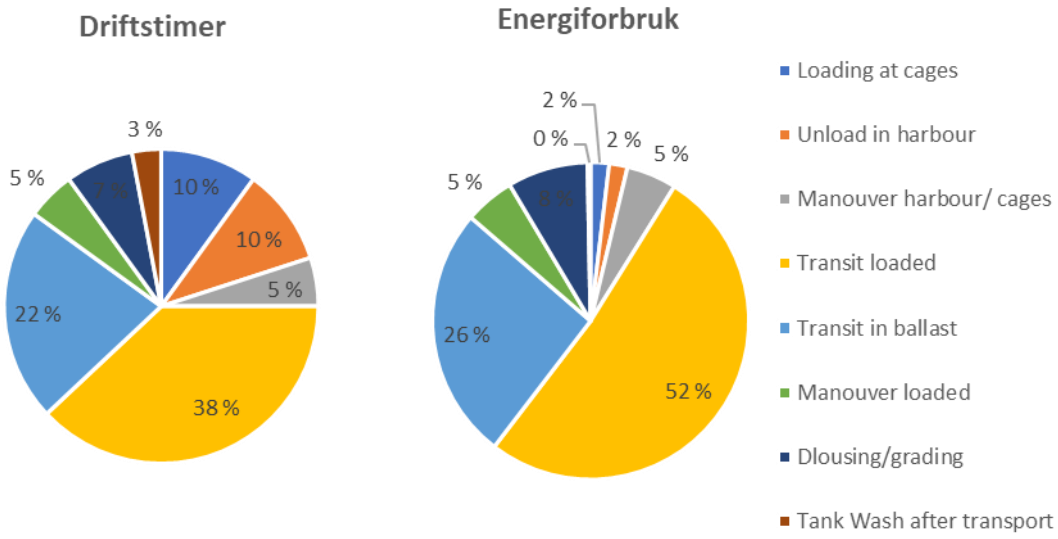


Figur 10: Kapasitetsoversikt (fraktekapasitet) for brønnbåter i Norge

Siden det har vært utfordrende å innhente forbrukstall for flåten og tidligere estimat er svært sprikende er det gjennomført en modellering for energiforbruket til brønnbåter i Norge.

Ingen tidligere publiserte studier har tatt for seg brønnbåters energibehov under ulike driftstilstander. Imidlertid så er det gjort energimålinger og vurderinger av en sammenlignbar flåte, ringnotflåten, for energibehov ved ulike driftstilstander over året både for elektriske energiforbrukere og for fremdrift [28]. Siden både driftstilstander og installasjoner er veldig lik i disse fartøytypene har vi ved ekstrapolering laget en modell for anslag av årlig energibehov for brønnbåter

av ulik tonnasje. Videre er to ulike kilder benyttet for driftsprofiler. Arbeidet av Møller (2018) gir et bilde av driftsprofilen til en av de største brønnbåtene i flåten i dag [29] (se Figur 11), mens en tidligere analyse av DNV-GL gir et gjennomsnittlig anslag for antall driftstimer årlig [30].



Figur 11 Driftstimer for brønnbåter basert på arbeid av Møller (2018) [29] *og estimert energiforbruk i ulike driftstilstander.*

Energiforbruket er beregnet ved hjelp av fire ulike modeller:

1. Brønnbåter modellert som ringnotfartøy. For modell 1 er det benyttet samme metodikk som under FHF-prosjektet «Energinettverk Fiskeflåte» [28].

2. Etter driftsregime og driftstid fra Møller (2018) [29]. For modell 2 har vi benyttet felles driftstid for alle fartøy på 7000 driftstimer per år.

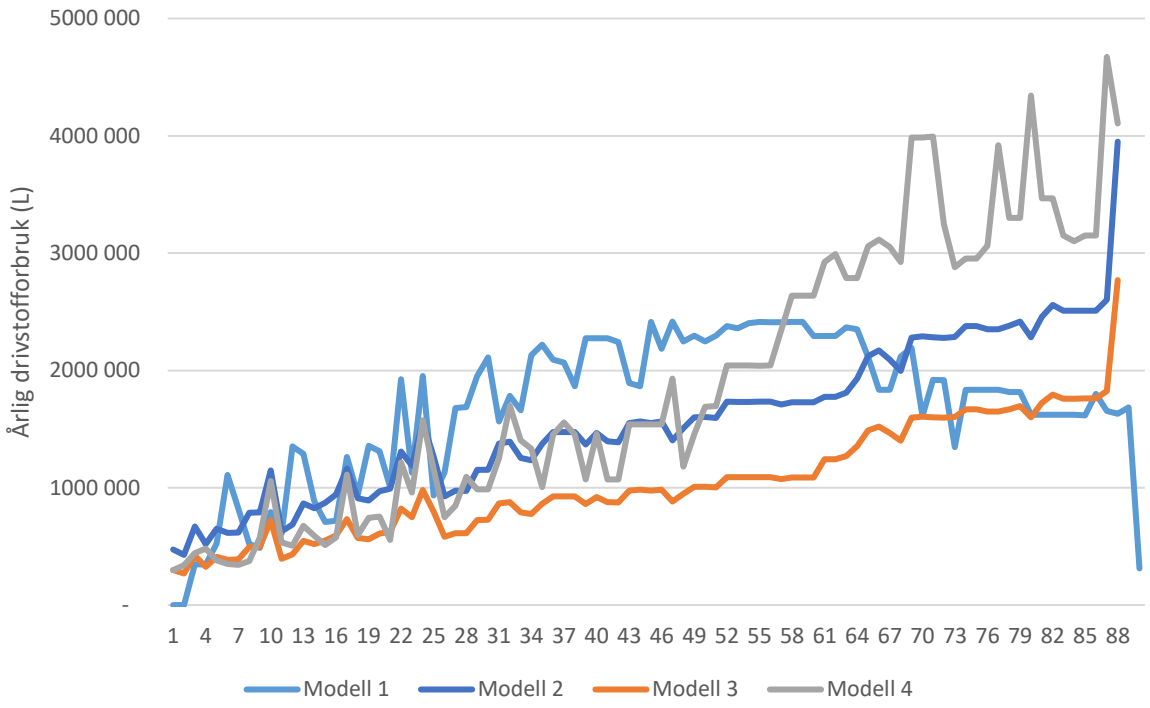
3. Etter driftsregime fra Møller (2018) [29], men basert på lavere driftstid jamfør DNV-GLs anslag for årlige driftstimer [30]. Dette resulterer i reduserte timer til 4405 timer per år for skip under 70 m og 4909 timer per år for skip over 70 m.

4. Basert på motorisering og en antatt lastprofil for hovedmotor og hjelpemotorer i hver driftstilstand. For modell 4 har vi benyttet driftstid fra modell 3 og med driftsprofilen presentert i Tabell 8 for hovedmotorer og hjelpemotorer

Tabell 8 Driftsprofil hovedmotor og hjelpemotor brønnbåt. Data satt sammen av Asplan Viak basert på data fra FHF prosjektet «Energinettverk Fiskeflåte».

Driftsprofil	Loading at cages	Unload in harbour	Manouver harbour/ cages	Transit loaded	Transit in ballast	Manouver loaded	Dlousing /grading	Tank Wash after transport
Driftstid timer	491	491	245	1 865	1 080	245	344	147
Last hovedmotor	25 %	25 %	30 %	85 %	65 %	35 %	35 %	30 %
g/kWh hovedmotor	270	270	250	200	205	230	230	250
Last hjelpemotorer	25 %	25 %	30 %	60 %	40 %	60 %	35 %	30 %
g/kWh hjelpemotorer	270	270	250	200	205	230	230	250

De ulike beregningsmodellene gir noe ulikt drivstofforbruk. Figur 12 viser de fire ulike beregningsmodellene og estimert drivstofforbruk for hver enkelt brønnbåt.



Figur 12: Estimert årlig drivstofforbruk for brønnbåter ved ulike beregningsmodeller. Modellene gir noe ulikt totalforbruk for brønnbåter avhengig av forutsetningene.

Tabell 9 Årlig oljeforbruk og klimagassutslipp for brønnbåtflåten basert på ulike beregningsmodeller.

Drivstofforbruk basert på	**Årlig drivstofforbruk** Liter	**Årlige klimagassutslipp** Tonn CO2e	**Energiforbruk per produksjon** kWh/kg lv fisk produsert
Modell 1	150 677 705	421 898	1,05

Modell 2	138 361 750	387 413	0,96
Modell 3	91 760 856	256 930	0,64
Modell 4	165 614 665	463 721	1,15

Som vist gir de ulike beregningsmodellene et spenn i energiforbruk per produksjon på 0,64 til 1,15 kWh/kg levende fisk transportert. Estimert CO2-utslipp fra flåten varierer fra 256 000 til 463 000 tonn CO2 årlig. Dette er betydelig høyere enn tidligere analyser basert på AIS-data, hvor CO2-utslipp fra brønnbåtflåten er beregnet til 129 000 tonn CO2 [27]. Modelleringen basert på AIS-data kan antakeligvis underestimere oljeforbruket for brønnbåtflåten. Grunner til dette er at brønnbåter avviker fra andre skipstyper på flere punkt, blant annet er lengde-bredde forholdet uvanlig, driftsmønsteret er preget av mye start/stopp og posisjonering, og energikrevende utstyr benyttes både ved avlusing og transport (pers. kommunikasjon Grønt Skipsfartsprogram, DNV-GL og Nova Sea). I tillegg utvikler dekningen på AIS-data seg raskt.

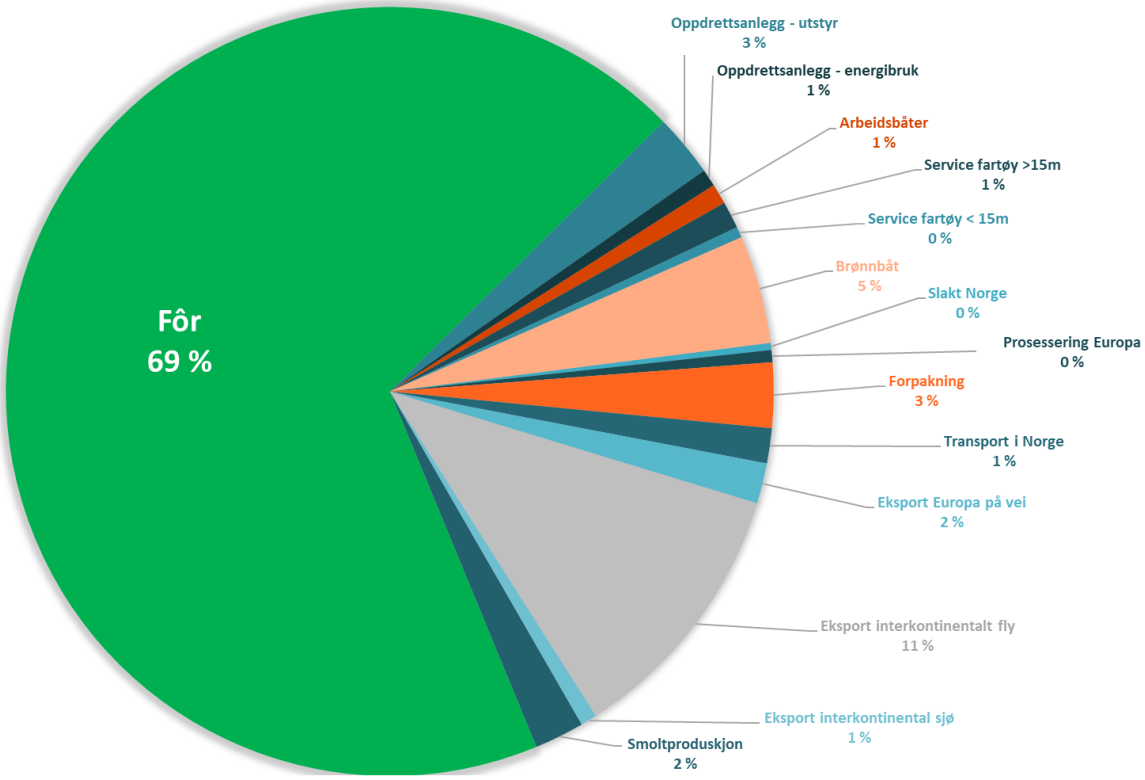
Gjennomsnittet for alle de fire modellene er 0,95 kWh/kg fisk transportert. Dette er noe høyere enn data vi har tilegnet oss fra selskaper i prosjektforløpet som ligger tett opp mot 0,8 kWh/kg. Da tidligere studier av brønnbåters energiforbruk antyder et lavere forbruk enn våre estimater, velger vi å bruke et konservativt estimat basert på de to modellene med lavest forbruk.

2.4 Energibruk og klimagassutslipp fra dagens næring

2.4.1 Havbruksnæringens (laks og ørret) sitt klimaspor

Den norske havbruksnæringens klimaspor strekker seg fra produksjon av fôrråvarer og frem til fisken forbrukes. For å gi en forståelse av den norske oppdrettsnæringens totale klimapåvirkning er det her tatt frem et forenklet regnskap som viser sektorens klimaspor fra produksjon av fôrråvarer og frem til laksen er levert til forhandler. Regnskapet er komplett ved at det inkluderer både direkte og indirekte klimagassutslipp (scope 1, 2 og 3). Regnskapet som presenteres her dekker ikke alle aktiviteter, forbruk og ringvirkninger av norsk oppdrettsnæring, men de største utslippskildene slik vi kjenner dem fra klimaspor av norske oppdrettsprodukter. I grove trekk baserer dette regnskapet seg på kunnskap om lakseprodukters klimaspor og så er dette klimasporet oppskalert med data på næringens produksjon og eksport.

Resultatet viser et samlet klimaspor på like under 8,5 millioner tonn CO2 ekvivalenter (CO2e). Fordelingen av klimagassutslipp og verdiene er presentert i Figur 13, samt antakelsen bak hvert bidrag i Tabell 26. For å gi dette utslippet en størrelse å sammenligne med, kan vi se på Norges direkte klimagassutslipp (utslipp innenfor Norges geografiske grenser) som i 2019 var ca. 50,3 millioner tonn CO2e [31]. Oppdrettsnæringens samlede klimaspor på 8,5 millioner tonn CO2e tilsvarer nesten 17% av Norges direkte klimagassutslipp. Her setter vi to ulike typer regnskap opp mot hverandre som ikke er direkte sammenlignbare, men det viser at klimasporet til norsk oppdrett av laks og ørret er betydelig.



Figur 13 Klimasporet for den norske oppdrettsnæringen (laks og ørret) i 2019

Klimagassutslipp som omfattes av prosjektet avgrenser seg til energibruk for produksjonsfasen på land, produksjonsfasen i sjø og fartøy. Fôrproduksjon er ikke inkludert. Med utgangspunkt i klimasporet utgjør disse aktivitetene rundt 8% av næringens samlede klimagassutslipp. De utgjør også en stor del av summen av utslippene som skjer innenfor Norges grenser, men det vil også komme til en del fra transport i Norge, produksjon av emballasje og fôrproduksjon. En del av de marine fôrråvarene kommer fra norske fiskerier.

Klimasporet for hele næringen inkludere en rekke antakelser, de viktigste antakelsene går på hvordan norsk laks og ørret ble eksportert. Her presenteres noen av de viktigste og sentralt datagrunnlag (se også Vedlegg 1: Klimaspor for næringen for detaljerte resultater):

1. Mengden laks og ørret som eksporteres på fly er basert på data fra SSB som sier at i 2019 ble 160 000 tonn sjømat eksportert på fly [32]. Dette er altså mer enn kun laks og ørret, men også kun den sjømaten som flys direkte ut av Norge. Vi har antatt at brorparten av disse 160 000 tonn var laks og ørret og at det i tillegg er det en del som blir kjørt til flyplasser utenfor Norge før de flys interkontinentalt. Mengden flyeksportert er derfor satt til 170 000 tonn. Denne tonnasjen er så inkludert med en flyvning på ca. 8300 km og posisjonering av flyet fra Europa til Gardermoen med data fra rapporten «Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017» [8].

2. Eksportmengden er hentet fra SSB tabell 09283 som viser eksport av laks og ørret per land. Samlet eksport (1 182 303 tonn produktvekt) ble fordelt mellom eksport til Europa (901 053 tonn) og interkontinental eksport (276 293 tonn) som er alt som gikk til Amerika, Asia, Oceania, Afrika og Midtøsten. Det ble antatt at den interkontinentale eksporten som ikke gikk på fly gikk på skip (276 293-170 000=106 293 tonn).

3. Det ble antatt at all eksport til Europa gikk på lastebil. En betydelig del av norsk sjømat forlater Norge på båt (~50%) og bane, men her har vi altså antatt at mye av dette er lastebiler på ferge og/eller containere på tog som siden lastes om til bil. All denne eksporten er inkludert med en avstand på 1700 km som tilsvarer avstanden fra Oslo til Paris.

4. Det er inkludert en transportavstand i Norge, på alle laks og ørret, denne avstanden er beregnet basert på data fra Fiskeridirektoratet på hvor i Norge laks og ørret er produsert (på kommunenivå) og avstanden fra kommunesenter til Gardermoen.

5. Fôret er inkludert med data fra prosjektet «Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017» [8]. Klimasporet inkluderer klimapåvirkning fra direkte arealbruksendring (direct land use change).

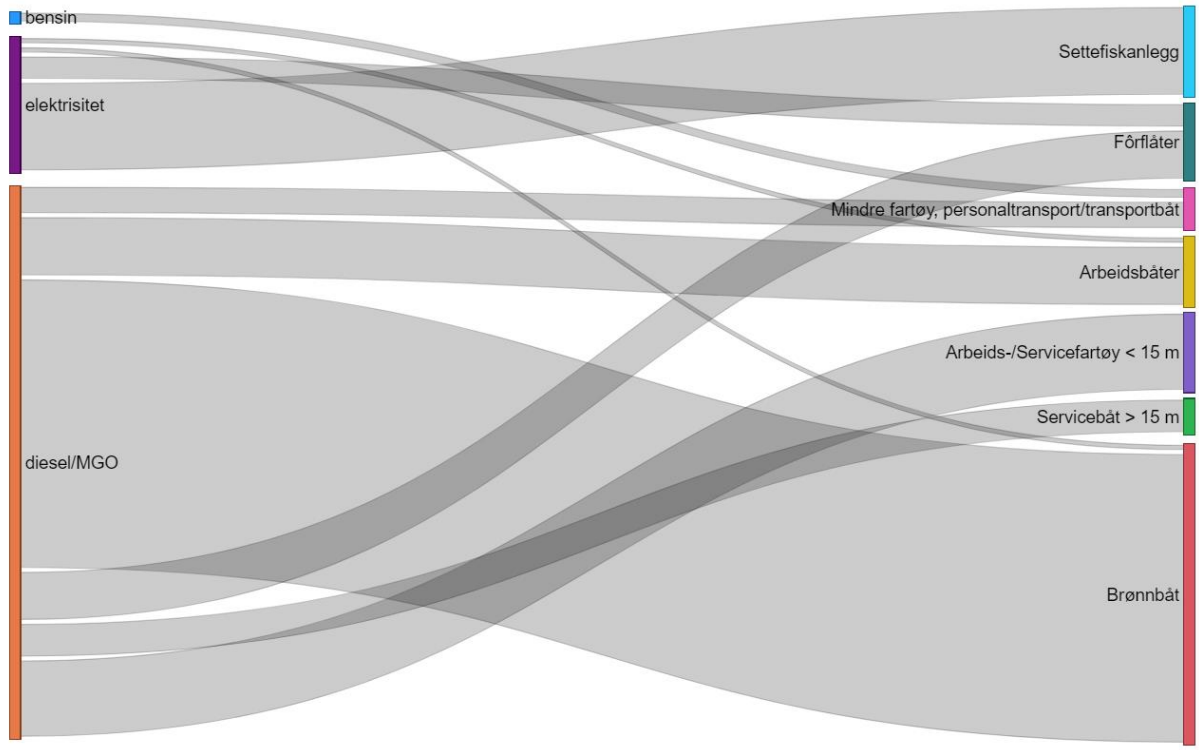
2.4.2 Samlet energibruk og klimagassutslipp fra energibruk

Mens klimasporet tar for seg energibruk i hele verdikjeden er studien videre begrenset til energibruk i Norge. Basert på kartleggingen for dagens status for energibruk og energibærere er den samlede energibruken[7] i 2019 beregnet til 2610 GWh. Dette resulterer i et spesifikt energiforbruk på 1,69 kWh/kg laks produsert.

Figur 14 viser energibruk og energibærere for de ulike delene av verdikjeden. Som beskrevet tidligere er analysen begrenset til produksjonsfasen på land og i sjø, og inkluderer ikke slakteri, prosessering og frakt ut i markedet. 17% av sluttforbruket var elektrisitetsforbruk mens 83% var fossile energibærere (anleggsdiesel, MGO og bensin). Som vist av Figur 14 går hovedsakelig elektrisitet til settefiskanlegg, mens en stor andel av diesel/MGO forbrukes av brønnbåter.

Brønnbåter står for det høyeste energiforbruket, med 47% av total energibruk i dagens laksenæring. Deretter følger settefiskproduksjon, arbeidsbåter og servicefartøy under 15 m med 12-14% hver av energibruk. Elektrifisering av fôrflåter har redusert energibruken de siste årene, og på sektornivå har båter på lokaliteter et større energiforbruk årlig enn den energibruken som går til fôrflåten. På en lokalitet med landstrøm går typisk 60%-70% av den totale energibruken til båter.

[7] Med energibruk refereres det her til innfyrt energi



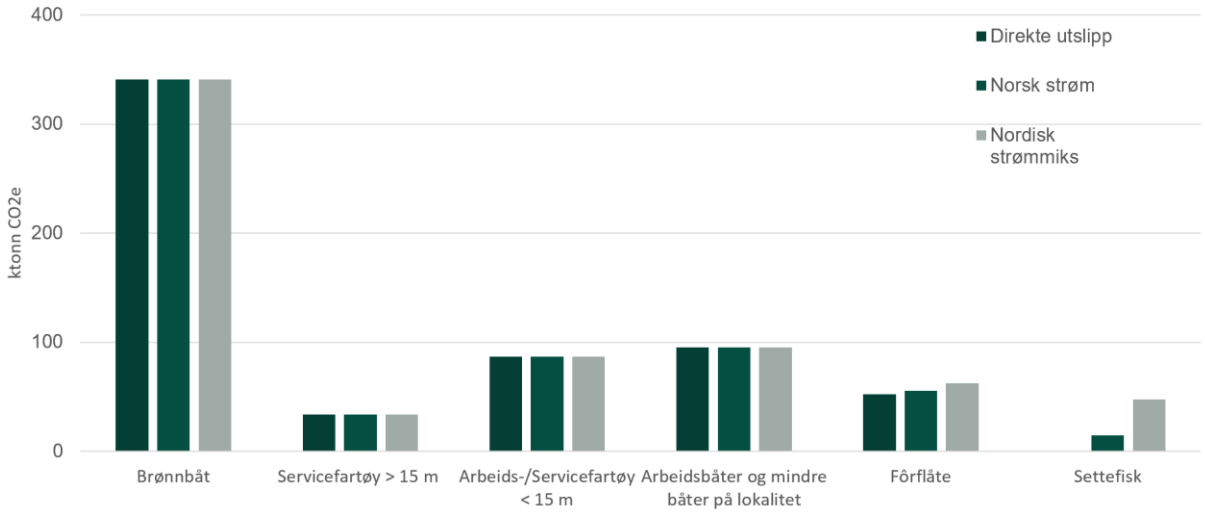
Figur 14 Energibruk og energibærere i næringen i 2019.

Tabell 10 Energibruk og energibærer i ulike deler av verdikjeden i 2019.

Del av verdikjeden	**Energibærer**	**Energibruk** GWh/år
Settefiskanlegg	elektrisitet	357
Fôrflåter	elektrisitet	75
	diesel/MGO	186
Arbeidsbåter	elektrisitet	0
	diesel/MGO	230
Mindre fartøy, personaltransport/transportbåt	diesel/MGO	92
	bensin	16
Arbeids-/Servicefartøy < 15 m	diesel/MGO	308
Servicebåt > 15 m	diesel/MGO	119
Brønnbåt	elektrisitet	1
	diesel/MGO	1226

Direkte klimagassutslipp fra energibruk for de inkluderte aktivitetene for 2019 er estimert til 570 ktonn CO2e. Tas det høyde for indirekte klimagassutslipp, det vil si utslipp for produksjon av drivstoff (well-to-wheel) og utslipp fra produksjon av elektrisitet, er klimagassutslippene for 2019 estimert til 697 ktonn CO2e, forutsatt en norsk elektrisitetsmiks. Brønnbåter dominerer klimagassutslipp fra næringen, etterfulgt av mindre servicefartøy og arbeidsbåter. Settefiskanlegg bruker nærmest kun

elektrisitet som energibærer og klimagassutslippene fra dette er dermed avhengig av elektrisitetsmiksen som forutsettes. Som vist utgjør elektrisitetsbruken i settefiskanlegg en betydelig andel av total energibruk og utslipp om man tar i betraktning en nordisk elektrisitetsmiks.



Figur 15 Estimerte klimagassutslipp for produksjon av laks fordelt på ledd i verdikjeden, tall fra 2019.

Få tidligere studier har sammenstilt klimagassutslipp fra havbruksnæringen på sektornivå. ABB og Bellona sin studie «Grønt skifte i havbrukssektoren» [11] har lenge ligget til grunn for videre analyser. Apoint, Doxacom og Kontali sin studie fra høsten 2020 beregnet også til en viss grad årlige klimagassutslipp fra næringen og er dermed relevant å sammenligne våre beregninger mot. Klimagassutslipp beregnet i denne studien viser omtrentlig de samme utslippene fra mindre fartøy i næringen (mindre servicebåter/arbeidsbåter og båter for personaltransport) som beregnet tidligere av ABB/Bellona og Apoint, Doxacom og Kontali. En del av tallgrunnlaget for mindre fartøy i næringen fra deres studie er benyttet i vår analyse. Beregnede klimagassutslipp fra fôrflåter er derimot lavere enn ABB/Bellona kom frem til i sin studie. Denne forskjellen kan til en viss grad forklares av at våre innhentede energiforbrukstall fra næringen anslår et betydelig lavere energiforbruk på fôrflåter enn det som var forutsatt i ABB/Bellona studien. Videre anslo ABB/Bellona at 578 lokaliteter var i drift med dieselaggregat årlig. Basert på oppdatert tallgrunnlag fra Apoint, Doxacom og Kontali og denne studien er færre lokaliteter i drift årlig, og et større antall av disse har landstrøm installert.

Som nevnt tidligere signaliserer tall for energiforbruket for brønnbåter at disse er betydelig høyere enn antatt i tidligere analyser (eksempelvis DNV-GL sin analyse for innenriks skipsfart [27] som senere er benyttet som grunnlag for Klimakur). Det må understrekes at det har vært svært vanskelig å innhente tall på energiforbruk for brønnbåtflåten og tallene er preget av usikkerhet.

I sum vil dette si at utslipp knyttet til fôrflåten er betydelig lavere enn tidligere antatt i ABB/Bellona sin studie og også i Klimakur 2030. Klimagassutslipp knyttet til mindre fartøy på lokalitet og servicefartøy er i tråd med tidligere studier, mens utslipp fra brønnbåtflåten er høyere enn antatt i tidligere analyser basert på AIS-data.

3 DELLEVERANSE 2: UTVIKLING AV DEN NORSKE HAVBRUKSNÆRINGEN MOT 2030 OG 2050

3.1 Fremtidig produksjon

Som et grunnlag for tiltaksanalyser i delleveranse 3 er fremtidig produksjon i den norske havbruksnæringen mot 2030 og 2050 vurdert. Som nevnt innledningsvis er fokuset på produksjon av laks, men andre arter er også vurdert. Vi vil starte med å se på hvordan laks vil kunne produseres i fremtiden da det vil legge grunnlaget for en vurdering av hvilken utvikling som kan forventes frem mot 2030 og 2050. For å gjøre beregninger frem mot 2030 og 2050 er fremtidsbaner utarbeidet for å beskrive mulig utvikling. Banene er ment å illustrere mulighetsrommet i utviklingen av den norske havbruksnæringen. Det er valgt å se på noen få, enkle baner som gir ytterpunkter i mulig produksjonsutvikling.

3.1.1 Hvordan vil laks bli produsert i fremtiden?

Den norske havbruksnæringen er inne i en brytningstid på den måten at den på få år har gått fra å være helt dominert av oppdrett i kystnære farvann i såkalte åpne anlegg, til at det nå i tillegg skjer en rask utvikling av flere andre driftskonsepter. Utviklingen er dels drevet av miljøhensyn, dels av myndighetskrav og dels av behovet for å kunne øke produksjonen av laks og regnbueørret.

Vi legger til grunn at laks vil bli produsert med følgende teknologier frem mot 2030 og 2050 (se teksten under og Figur 16 for definisjon av sjøområdene):

- Åpne anlegg, innaskjærs lokaliteter
- Lukkede flytende anlegg, innaskjærs lokaliteter
- Åpne anlegg, havbruk til havs
- Landbasert oppdrett

Alle kategorier åpne anlegg brukes i dag til å produsere slakteklar fisk. Lukkede, flytende anlegg er i utviklingsfasen og er både tenkt brukt til å produsere slakteklar fisk og såkalt storsmolt/postsmolt for utsetting i åpne anlegg.

All smolt som brukes til å sette ut i anlegg i sjøen produseres i dag i landbaserte smoltanlegg, som produserer smolt av ulik størrelse og med ulik teknologi. Her bruker man enten gjennomstrømmingsteknologi, der vannet går gjennom anlegget uten å bli brukt på nytt, eller i resirkuleringsanlegg der ulike andeler av vannet brukes på nytt etter en renseprosess. Både ferskvann og sjøvann brukes i smoltanleggene. Det er blitt mer vanlig å produsere stor smolt/postsmolt på land, med en typisk størrelse opp mot 400-500 gram. Hensikten er å redusere oppholdstiden i sjøen, noe som gir mulighet for å få til enda bedre utnyttelse av tilgjengelig MTB i sjøen, og derved kunne øke produksjonen på eksisterende tillatelser. En reduksjon av oppholdstiden i sjøen kan også redusere risikoen for problemer med lakselus, fiskesykdommer og giftige alger.

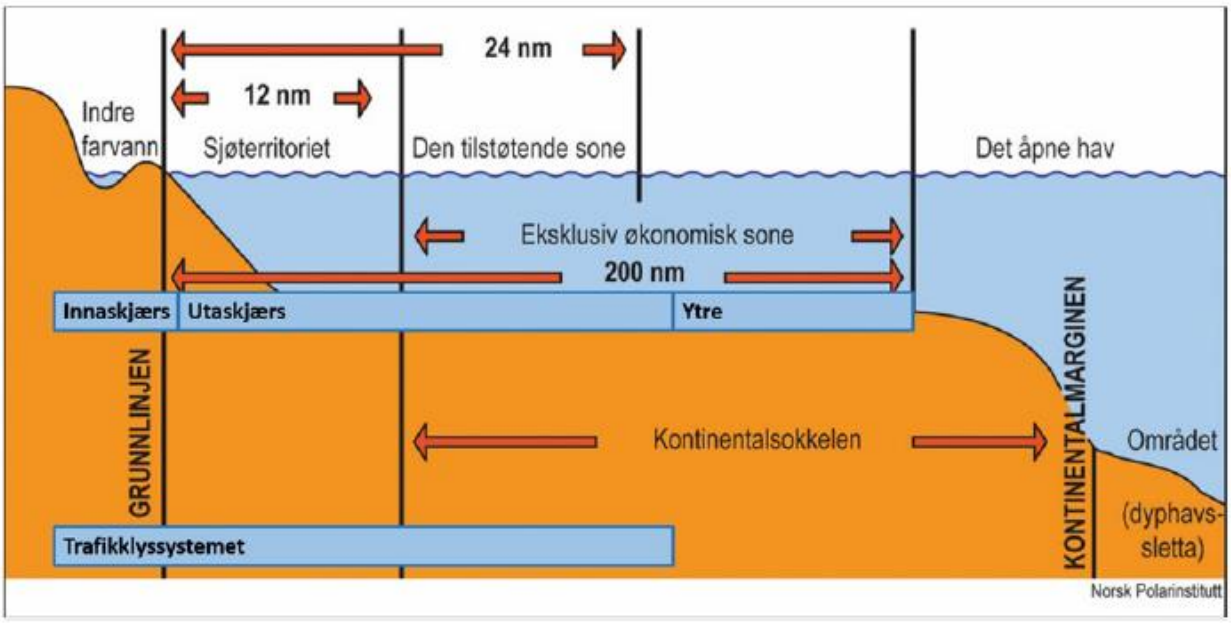
Rognkjeks oppdrettes også i landbaserte anlegg som ligner mye på smoltanleggene, men der brukes det kun sjøvann i produksjonen.

De senere årene er det utviklet en rekke prosjekter for landbasert oppdrett av slakteklar laks. Idéen er at denne typen produksjon er mer miljøvennlig enn oppdrett i åpne anlegg i sjøen, da man håper at anleggene skal være rømningssikre, bidra til å redusere problemene med lakselus og gi mulighet

for oppsamling av organisk materiale fra produksjonen. Myndighetene har stimulert utviklingen av landbasert oppdrett ved at man kan søke om konsesjon "når som helst" og ved at selve konsesjonen tildeles vederlagsfritt. Søker må kun betale for den offentlige saksbehandlingen av søknaden.

Oppdrett av laks og ørret startet i åpne anlegg på svært skjermede lokaliteter innaskjærs på sytti- og åttitallet. Utviklingen har frem til i dag gått mot større enheter som ligger på lokaliteter med større dyp og bedre vannutskifting, men som også har vært mer eksponert for sterk vind og høye bølger. NYTEK-forskriften, som trådte i kraft 1.1 2012, setter krav til teknisk standard for flytende akvakulturanlegg og inneholder blant annet krav til sertifisering av komponenter og anlegg. Interessen har de siste årene økt for å drive oppdrett enda lenger ut til havs, blant annet for å redusere eller helt unngå problemene med lakselus. Flere utviklingstillatelser er gitt for å utvikle konsepter for oppdrett lengre til havs.

Regjeringen satte i 2017 i gang et arbeid med sikte på å foreslå eventuelle endringer i regelverket for å legge best mulig til rette for utvikling av det som ble kalt "offshore akvakulturvirksomhet". Arbeidet resulterte i rapporten, "Havbruk til havs. Ny teknologi – nye områder" [33]. Rapporten trakk blant annet opp grensene mellom de ulike sjøområdene. Havbruk til havs inkluderer sjøområde Utaskjærs og Ytre (se Figur 16). Legg merke til at Trafikklyssystemet gjelder for deler av dette området[8].



Figur 16 Illustrasjon over de fem maritime sonene, sett opp mot sjøområdene inndelt i innaskjærs, utaskjærs og ytre områder. Trafikklyssystemet gjelder i områdene innaskjærs og utaskjærs. Kilde: Norsk Polarinstitutt og Nærings- og fiskeridepartementet [34].

[8] For en nærmere definisjon av Innaskjærs, utaskjærs og ytre sjøområder, se s 9 i rapporten "Havbruk til havs. Ny teknologi, nye områder." [34]

3.1.2 Vekst i den norske havbruksnæringen

Regjeringen har som ambisjon at den norske havbruksnæringen skal vokse, men innenfor bærekraftige rammer [35][36]. Mye av inspirasjonen til vekstambisjonene kommer fra rapporten "Verdiskaping basert på produktive hav i 2050»[37] som pekte på at det kunne være et potensial for å produsere tre millioner tonn laks og regnbueørret i 2030 og fem millioner tonn i 2050. Blant annet forutsatt at miljømessige utfordringer ble løst og at tilgangen til bærekraftige fôrråstoffer ble sikret. Rapporten pekte i tillegg på at det fremover ville skje en diversifisering av produksjonsformene innen oppdrett, eksempelvis produksjon av større settefisk i landbaserte anlegg, oppdrett i lukkede systemer i sjø og oppdrett på områder som er mer eksponert for bølger, vind og strøm.

Det gjort flere vurderinger av om det er mulig å nå en slik vekst som ble trukket opp i "Verdiskaping basert på produktive hav i 2050". På oppdrag av Nærings- og fiskeridepartementet gjennomførte SINTEF i 2015 en analyse av forutsigbar og bærekraftig vekst i havbruksnæringen, der de samfunnsøkonomiske konsekvensene av ulike vekstscenarioer ble vurdert [38]. Fire ulike alternativer for fremtidig vekst ble analysert og mulig vekst i MTB-kapasitet, slaktevolum og verdiskaping (bidrag til BNP) ble drøftet. Senere har PwC gjennomført en analyse av vekst i norsk havbruk frem mot 2030 og 2050 [39]. Der har de sett på tre ulike scenarioer for vekst, men har også intervjuet representanter for havbruksnæringen. Av de som ble intervjuet trodde en av tre på et produksjonsvolum på 5 millioner tonn laks og regnbueørret i 2050.

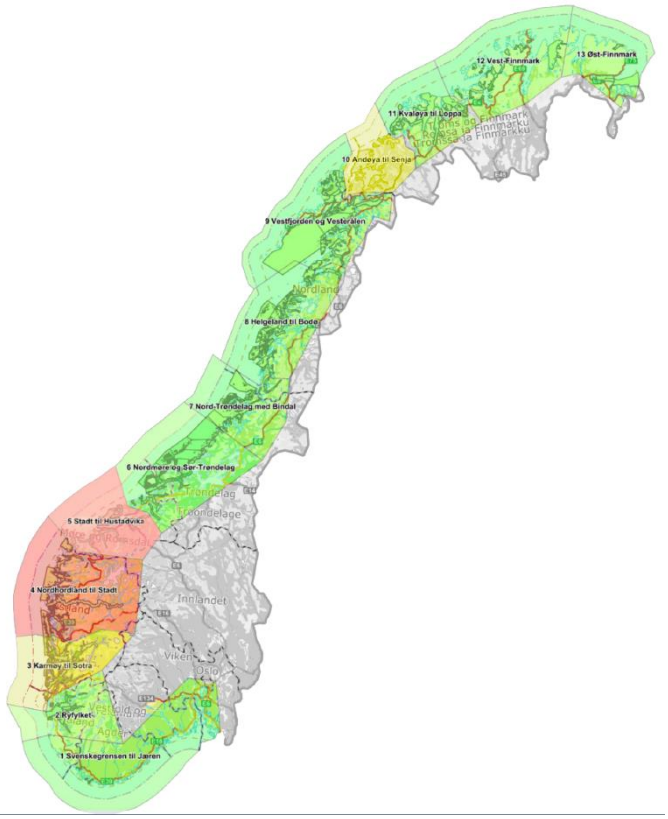
Postsmoltsatsingen i næringen gir en økning i utnyttelsen av konsesjonen i sjø ved raskere omløpstid i sjøanleggene. Etter hvert som flere går over til utsett av postsmolt vil vi se en økning i det årlige produksjonsvolumet ved at en større del av produksjonen for hver generasjon fisk foregår på land. Dette vil gi en kortere produksjonsfase i sjøen og en vil raskere kunne sette ut ny fisk. Hver enkelt konsesjon vil dermed kunne øke sitt årlige produksjonsvolum og jo større postsmolten er i vekt, jo kortere oppholdstid vil den kreve i sjøen. Differansen mellom 60 grams og 500 grams utsett kan tilsvare en tidsreduksjon på 30-40 uker i sjø avhengig av tidspunkt for utsett.

I det videre ser vi på muligheter for vekst fra utvalgte viktige drivere i norsk havbruksnæring. Den første delen handler utelukkende om laks og regnbueørret, mens vi på slutten av kapittelet inkluderer vurderinger av vekst i oppdrett av andre fiskearter og tang og tare.

Trafikklyssystemet

Det såkalte trafikklyssystemet er myndighetenes redskap for å sikre en miljømessig bærekraftig vekst i norsk havbruk. Så langt er lakseluspåvirkning på ville bestander av laks den eneste miljøindikatoren. Norskekysten er delt inn i 13 produksjonsområder, der lakselus-situasjonen i hvert område har relativt liten påvirkning på lakselus-situasjonen i andre områder. Hvert område gis en vurdering om det er tilrådelig med vekst i oppdrettsproduksjonen (grønne områder), om det er nødvendig med en reduksjon av oppdrettsproduksjonen (rødt lys), eller om produksjonen må holdes uendret (gult lys). Generelt sett så åpner myndighetene for en vekst på 6 % i produksjonskapasiteten hvert annet år i de grønne områdene. I vurderingen som gjelder høsten 2020, er det ni grønne områder, to gule områder og to røde områder (Figur 17). Denne lyssettingen åpnet for en økt produksjonskapasitet på 23 000 tonn i de grønne områdene.

På sikt kan flere miljøindikatorer bli tatt inn i trafikklyssystemet. Fiskesykdom, fiskevelferd, rømming og utslipp av organisk materiale er nevnt som mulige indikatorer, men det er så langt ikke konkrete planer om å ta inn flere indikatorer i vurderingene av vekst.



Figur 17 Vurdering av vekst i produksjon av laks i de 13 produksjonsområdene per februar 2020 [40].

Utviklingstillatelser

I tillegg til ordinære konsesjoner finnes det også såkalte utviklingstillatelser. Fiskeridirektoratet sier dette om formålet med utviklingstillatelsene:

> *«Utviklingstillatelsene er en midlertidig ordning med særtillatelser som kan tildeles prosjekter som innebærer betydelig innovasjon og betydelige investeringer. Formålet er å legge til rette for utvikling av teknologi som kan bidra til å løse en eller flere av de miljø- og arealutfordringene som akvakulturnæringen står overfor, for eksempel ved konstruksjon av prototyper og testanlegg, industriell design, utstyrsinstallasjon og fullskala prøveproduksjon»* [41].

En viktig premiss er at teknologi som utvikles i de godkjente prosjektene skal komme hele næringen til gode. Det er kun avholdt en søknadsrunde for utviklingstillatelser, som varte fra november 2015 til november 2017. Landbaserte anlegg er ikke inkludert i ordningen med utviklingstillatelser.

Per desember 2020 har 20 prosjekter fått tilsagn [42]. Tre er fortsatt under vurdering, mens 81 prosjekter har fått endelig avslag. Prosjektene som har fått tilsagn dekker tre av de fire hovedgruppene av teknologi som vi presenterte i kapittel 3.1.1:

- Åpne anlegg, innaskjærs lokaliteter
- Lukkede flytende anlegg, innaskjærs lokaliteter
- Åpne anlegg, havbruk til havs

De 20 prosjektene som har fått tilsagn har til sammen fått tildelt 103 tillatelser med samlet kapasitet på 77 369 tonn MTB. I ordinære tillatelser er det vanlig å oppnå en produksjon på mellom 1,2 til 1,9

ganger tildelt MTB. Siden det er stor grad av utprøving i prosjektene som er godkjent, antar vi her at det er mulig å oppnå en gjennomsnittlig faktor på 1,2, noe som vil tilsvare en produksjon på i overkant av 90 000 tonn dersom alle utviklingstillatelsene blir konvertert til ordinære tillatelser.

Så langt er det ikke besluttet om det vil bli utlyst nye runder med utviklingstillatelser.

Havbruk til havs

Den økte interessen for denne typen oppdrett kommer av et økende behov for areal og for å redusere miljø- og sykdomsutfordringene i de områdene som oppdrett drives i i dag [34]. Som nevnt over er flere av utviklingstillatelsene som er tildelt innrettet på å utvikle denne typen oppdrett. Vi finner både konsepter som ønsker å utvikle flytende anlegg for bruk langt til havs, konsepter som er tenkt brukt i mer eksponerte kystnære områder og konsepter for nedsenkbare anlegg.

I desember 2020 er det publisert en analyse som ser på verdiskapingspotensialet for havbruk til havs, der det blant annet presenteres scenarioer for norsk "utaskjærs produksjon" av atlantisk laks [33].

Vi legger til grunn i det videre at flere konsepter vil bli tatt i kommersielt bruk i oppdrett av laks "til havs" frem mot 2030 og 2050.

Landbasert oppdrett

Produksjon i landbaserte anlegg har alltid vært den dominerende måte å produsere smolt på og man kan i 2020 si at all norsk smolt produseres i landbaserte anlegg. Smoltanleggene er fordelt langs kysten, med tyngden av anlegg i Midt-Norge og på Vestlandet. De aller fleste anleggene ligger ved eller nært til sjøen, både fordi de fleste bruker sjøvann i den siste delen av produksjonssyklusen og fordi smolten i all overveiende grad transporteres med brønnbåt til sjølokalitetene. Frem til nylig har det vært en maksimal størrelse på 250 gram på smolten som kunne produseres i ordinære smoltanlegg. Nå er det imidlertid åpnet for å produsere fisk på opptil 500 gram i landbaserte anlegg, også kalt postsmolt.

Hensikten med å produsere en stor fisk (postsmolt) på land før den settes i sjøen, er dels å redusere oppholdstiden i sjøen frem til slakteklar størrelse. Men det er også slik at produksjonen på land ikke er omfattet av de samme kapasitetsbegrensningene i form av MTB som i sjøen, slik at den mengden fisk som produseres på land vil kunne komme i tillegg til den mengden fisk som produseres i sjøen.

Myndighetene har villet stimulere produksjonen av slakteklar fisk i landbaserte anlegg i Norge og har åpnet for at tillatelser til landbasert matfiskoppdrett av laks og ørret kan tildeles løpende og uten vederlag. Ifølge en oversikt var det 31 kjente landbaserte oppdrettsprosjekter i Norge sommeren 2020, med produksjonsplaner som summerte seg til om lag 660 000 tonn [43]. Selv om Fiskeridirektoratets akvakulturregister ikke omfatter så mange tillatelser og så mange aktører, legger vi til grunn at veksten i antall utbygde anlegg, og dermed produksjonen av laks i slike anlegg, vil vokse betydelig fremover. Per desember er det ett anlegg som har produksjon, Fredrikstad Seafoods AS i Fredrikstad, mens flere selskaper har satt i gang bygging og enda flere har sikret finansiering.

Landbasert oppdrett er omfattet med betydelig interesse internasjonalt. Norsk Fiskerinæring omtaler rundt 50 internasjonale prosjekter for landbasert oppdrett, blant annet i land som USA, Kina, Frankrike, Canada, Danmark, Japan og Russland. Dersom landbasert oppdrett av laks lykkes kommersielt, kan produksjon i eller nær de store markedene for laks bli en konkurrent for norsk laks.

Oppdrett av andre fiskearter enn laks og ørret for konsum

Oppdrett av andre fiskearter for konsum har så langt ikke vært en kommersiell suksess i Norge. Det er investert betydelige midler i utvikling av kveiteoppdrett, uten at produksjonen har kommet opp i mer enn et par tusen tonn per år. Når det gjelder torskeoppdrett, var den årlige produksjonen rundt 20 000 tonn i 2010, men falt så raskt på grunn av en rekke problemer, som omfattet markedsmessige, biologiske, produksjonstekniske og miljømessige forhold. Oppdrett av andre fiskearter til konsum har historisk ligget på et svært lavt nivå.

Nå ser det ut til at interessen for oppdrett av torsk tar seg opp igjen, knyttet til høy pris på torskeprodukter og en avlsmessig fremgang i det genetiske materialet som kan brukes til oppdrett. Det gjenstår imidlertid å se om, og eventuelt når, de biologiske, produksjonstekniske og miljømessige forholdene lar seg løse. For eksempel er det kontroversielt å benytte annet enn stedegen torsk i oppdrett av hensyn til kysttorsken og det er vanskelig å oppnå lønnsomhet i torskeoppdrett hvis man må bruke fisk som ikke det er avlet på[9].

Oppdrett av rensefisk

I dag er bruk av rensefisk viktig for å holde nivået av lakselus nede i de åpne anleggene som produserer laks. I all hovedsak er det rognkjeks som oppdrettes, da i landbaserte anlegg. Det pekes på at det er etisk problematisk at rensefisken dør etter at den har "tjeneste" i oppdrettsanleggene for laks og det settes spørsmålstegn ved fiskevelferden til rensefisken i perioden de brukes i laksemerdene. Etter vår oppfatning er det utfordrende å se hvilken vei oppdrett av rensefisk vil ta. Man kan tenke seg at det er mulig å gi rensefisken bedre forhold underveis i produksjonen og man kan tenke seg at det er mulig å bruke rensefisken til mat etter at den er brukt til å kontrollere lakselus. I scenarioene legger vi til grunn at det vil ta tid å utvikle de nødvendige forbedringene og at oppdrett av rensefisk bare vil øke forsiktig fremover.

Dyrking av tang og tare

Det er stor interesse knyttet til dyrking av tang og tare i Norge og det pekes på potensial for anvendelser innen ernæring, ingredienser av ulike slag, fôr til oppdrettsfisk og fornybar energi. I tillegg ser man på muligheten for å bruke tare til å fjerne CO2 fra havet ved å deponere tare, eller produkter av tare, på en måte som gjør at den CO2 som er fjernet ikke kommer tilbake til havet eller til atmosfæren på en lang rekke år. Vi vil i det videre legge til grunn at dyrking av tang og tare vil øke betydelig fremover. Det er imidlertid viktig å være klar over at dyrking av tang og tare kan konkurrere med oppdrett om de samme lokalitetene. Vi ser imidlertid for oss at med den utviklingen og diversifiseringen som skjer i oppdrett av laks og regnbueørret i sjøen, så vil det være mulig å oppnå vekst i begge typer virksomhet.

Sameksistens i havet

Havet blir pekt som særdeles viktig for fremtidig matproduksjon og som en del av løsningen av klimautfordringen vi står ovenfor [44]. Imidlertid så er det mange ulike interesser som ønsker å bruke havet, og til dels de samme arealene, slik at vil kunne oppstå konkurranse og konflikter om bruk av de samme arealene. Menon Economics og SINTEF Ocean har gjennomført en analyse av sameksistens og bærekraft i havet for Senter for hav og Arktis, der det pekes på følgende fire løsninger for fremtidig sameksistens [45]:

[9] Internt notat, SINTEF Ocean.

- Åpen og dynamisk datadeling
- Nasjonal kystsoneplan: koordinert forvaltning av våre havområder
- Marine næringsparker: nye muligheter for samhandling til havs
- Prinsipper for bærekraftige havnæringer: et felles rammeverk for rene og rike hav

Vi legger til grunn at det vil bli funnet gode løsninger for fremtidig sameksistens, som ikke begrenser de mulighetene som skisseres i dette dokumentet.

Andre viktige trender

I et perspektiv frem mot 2030 og 2050 kan mange trender påvirke utviklingen av den norske havbruksnæringen. Klimaendringene, med påfølgende økning i sjøtemperaturen og mer og sterkere uvær, kan bety at deler av den norske kysten blir mindre egnet for oppdrett i sjøen. Sterkere stormer kan utfordre utviklingen av oppdrett til havs og favorisere landbasert oppdrett. På den annen side kan mer og kraftigere nedbør utgjøre en risiko for landbaserte installasjoner.

Utvikling av ny teknologi vil være avgjørende for å kunne oppnå den veksten som skisseres i de ulike scenarioene i de følgende kapitlene. En ting er at det må skje en videreutvikling av anlegg på innaskjærs lokaliteter, men det må også skje en utvikling av anlegg som er tilpasset oppdrett til havs. Oppdrett i landbaserte anlegg må utvikles til å bli en produksjonsform som representerer sikre, stabile produksjonsforhold og som kan konkurrere med oppdrettsanlegg i sjøen når det gjelder kvalitet, pris og produksjonskostnader.

Mest sannsynlig vil digitale teknologier som kunstig intelligens (AI), tingenes internett (IOT) og stordata (Big data) bli tatt i bruk i stor skala i den fremtidige havbruksnæringen. Dette vil inkludere ny kunnskap og nye løsninger for hele livsløpet til laksen fra fôr til fiskehandler. Da vi ennå står i starten på denne utviklingen, er det vanskelig å peke på hvilken vei bruken av disse teknologien vil ta næringen. Det som imidlertid er sannsynlig er at det frem mot 2030 og 2050 vil bli utviklet løsninger som vi ikke en gang ser konturene av i dag. Vi forventer at digitale teknologier vil bidra til å løse noen av de viktigste utfordringene som havbruksnæringen har i dag, for eksempel lakselus og rømming, uten at vi i dag kan peke på i hvilke retninger det vil skje. Et konkret eksempel på hva digitalisering kan inkludere for havbruk er Mowi sin strategi «Mowi 4.0» [46].

3.1.3 Vekst mot 2030 for laks og regnbueørret

På bakgrunn av vurderingene vi har gjort i de foregående kapitlene har vi laget tre baner mot 2030 og 2050. Usikkerheten er høy, også mot 2030, da veksten i stor grad vil avhenge av om næringen klarer å løse:

- De miljømessige bærekrafts-utfordringene som vil gi vekst i trafikklyssystemet,
- Om satsingene mot lukkede anlegg i sjøen og på land vil lykkes
- Om havbruk til havs viser seg å være så vellykket som man håper på.

Viktige antakelser i de tre banene:

Basis-banen

- To prosent gjennomsnittlig årlig vekst i MTB fra trafikklyssystemet og fra tildeling av nye tillatelser
- Flere av konseptene for flytende lukkede anlegg i sjø som er under utvikling kommersialiseres
- Havbruk til havs lykkes, men kun et begrenset antall anlegg er kommet i full produksjon
- Flere landbaserte anlegg er etablert og i drift, både for produksjon av slakteklar fisk og produksjon av postsmolt

Den optimistiske banen

- Tre prosent gjennomsnittlig årlig vekst i MTB fra trafikklyssystemet og fra tildeling av nye tillatelser, alle viktige utfordringer løses
- En større produksjon av fisk i flytende lukkede anlegg i sjø
- Havbruk til havs er blitt en suksess
- Driftsmessige og finansielle utfordringer er for en stor del løst og flere landbaserte anlegg er i full drift

Den pessimistiske banen

- Kun 0,5 prosent gjennomsnittlig vekst i MTB fra trafikklyssystemet og fra tildeling av nye tillatelser, store miljømessige utfordringer
- Utviklingen av oppdrett i flytende anlegg i sjø går sakte
- Havbruk til havs viser seg å være forbundet med store utfordringer
- Oppdrett i landbaserte anlegg møter uforutsette utfordringer

Merk at trafikklyssystemet har innvirkning på de fleste tillatelsene for havbruk til havs (se Figur 16).

Tabell 11 Produksjon av laks, ørret og regnbueørret mot 2030 i de tre valgte banene, tall i 1000 tonn.

Bane	2019	Trafikklys	Lukkede flytende	Havbruk til havs	Landbasert	2030
Basis	1 400	341	50	100	100	1 991
Optimistisk	1 400	538	100	300	300	2 638
Pessimistisk	1 400	79	5	25	25	1 534

3.1.4 Vekst mot 2050 laks og regnbueørret

Antakelsene gjort for de tre banene for den foregående perioden er justert for enkelte hovedgrupper av teknologier. Usikkerheten er imidlertid enda høyere i perioden 2030-2050 enn i perioden frem til 2030.

Viktige antakelser i de tre banene:

Basis-banen

- 1,5 prosent gjennomsnittlig årlig vekst i MTB fra trafikklyssystemet og fra tildeling av nye tillatelser, noe redusert fra foregående periode
- Enda flere av konseptene for flytende lukkede anlegg i sjø som er under utvikling kommersialiseres
- Utviklingen av havbruk til havs går i om lag samme tempo som i foregående periode
- Enda flere landbaserte anlegg er etablert og i drift, både for produksjon av slakteklar fisk og produksjon av postsmolt

Den optimistiske banen

- Tre prosent gjennomsnittlig årlig vekst i MTB fra trafikklyssystemet og fra tildeling av nye tillatelser, ingen nye betydelige utfordringer introduseres
- Produksjonen av fisk i flytende lukkede anlegg i sjø vokser fortsatt
- Havbruk til havs møter fortsatt ingen større problemer og anses fortsatt som en suksess
- Utbyggingen av landbaserte anlegg fortsetter

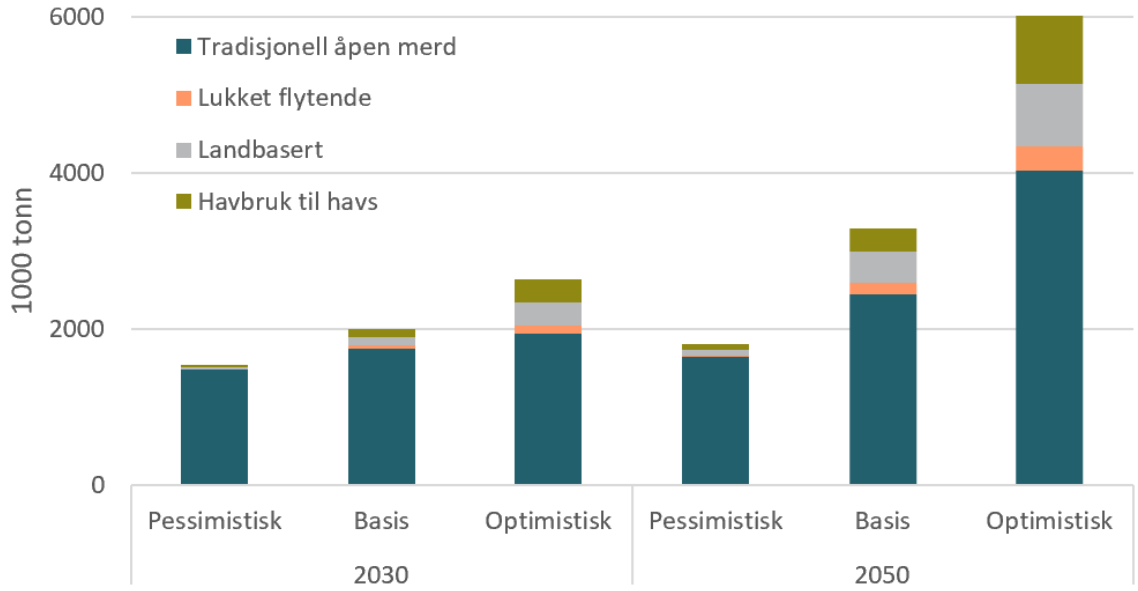
Den pessimistiske banen

- Kun 0,5 prosent gjennomsnittlig vekst i MTB fra trafikklyssystemet og fra tildeling av nye tillatelser, store miljømessige utfordringer
- Utviklingen av oppdrett i flytende anlegg i sjø går sakte
- Havbruk til havs viser seg fortsatt å være forbundet med store utfordringer
- Man har ennå ikke løst utfordringene med oppdrett i landbaserte anlegg

Tabell 12 Produksjon av laks, ørret og regnbueørret i de tre valgte banene mot 2050, tall i 1000 tonn.

Bane	2030	Trafikklys	Lukkede flytende	Havbruk til havs	Landbasert	2050
Basis	2 000	694	100	200	300	3 294
Optimistisk	2 600	2 096	200	600	500	5 996
Pessimistisk	1 500	157	10	50	50	1 767

Figur 18 viser produksjonen frem mot 2030 og 2050 for de ulike banene.



Figur 18 Produksjon av laks og regnbueørret mot 2030 og 2050 i de tre valgte scenario, tall i 1000 tonn.

3.1.5 Vekst mot 2050 oppdrett av andre fiskearter enn laks og regnbueørret

Fremtidig produksjonsvekst vil antakeligvis i stor grad fortsatt være dominert av produksjon av laks. Vi har likevel inkludert noen baner for andre arter og tang og tare for å gi en pekepinn på utfallsrommet for hvordan andre deler av næringen kan utvikle seg fremover.

Andre arter
Vi legger til grunn følgende baner:

- Basis: En årlig vekst på 5 % fra 8 500 tonn i 2030 til 22 000 tonn i 2050
- Optimistisk: En årlig vekst på 10 % fra 22 000 tonn i 2030 til 143 000 tonn i 2050
- Pessimistisk: En årlig vekst på 2 % fra 5 000 tonn i 2030 til 7 000 tonn i 2050

Oppdrett av rensefisk
Vi legger til grunn følgende baner:

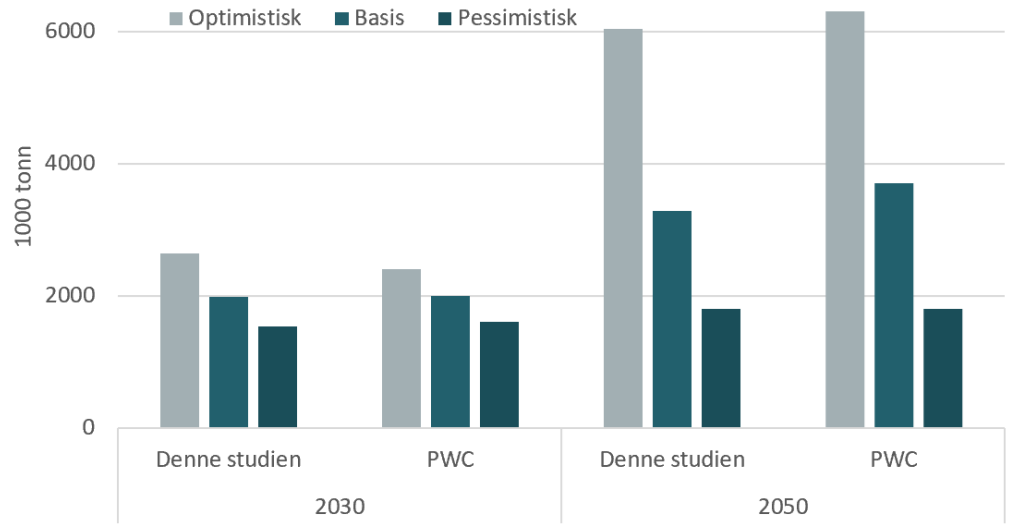
- Basis: En årlig vekst på 3 % fra 54 millioner i 2030 til 98 millioner i 2050
- Optimistisk: En årlig vekst på 5 % fra 111 millioner i 2030 til 295 millioner i 2050
- Pessimistisk: En årlig vekst på 1 % fra 44 millioner i 2030 til 54 millioner i 2050

Dyrking av tang og tare
Høstet mengde tang og tare var under 1 000 tonn i 2019. Vi legger til grunn følgende baner for fremtidig utvikling:

- Basis: En årlig vekst på 10 % fra 20 000 tonn i 2030 til 134 000 tonn i 2050
- Optimistisk: En årlig vekst på 15 % fra 50 000 tonn i 2030 til 820 000 tonn i 2050
- Pessimistisk: En årlig vekst på 5 % fra 5 000 tonn i 2030 til 13 000 tonn i 2050

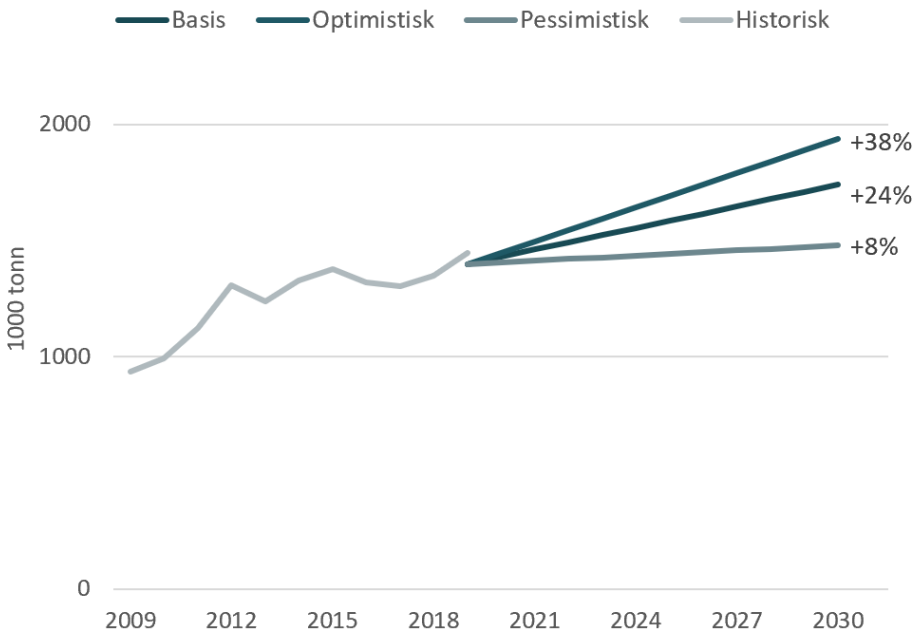
3.1.6 Sammenligning mot andre analyser og tidligere vekst

Figur 19 viser sammenligning av scenario for produksjon utarbeidet i dette prosjektet mot PWCs sjømatbarometer 2021 [39]. Våre baner samsvarer i stor grad med PWCs analyser. Våre baner viser en marginalt høyere produksjon i 2030 for den optimistiske banen, mens PWCs analyser viser marginalt høyere produksjon i 2050 både for basis-banen og den optimistiske banen. Våre baner antar en noe lavere produksjon i åpne merder i sjø, og noe høyere produksjon for havbruk til havs og landbasert produksjon sammenlignet med PWCs scenario. Tatt i betraktning usikkerheten slike scenarioer er befattet med er scenarioene så og si like.



Figur 19 Sammenligning av scenario for fremtidig vekst i produksjon av laks mot 2030 og 2050 mot PWCs sjømatbarometer 2021 [39]

Figur 20 viser produksjon av laks, ørret og regnbueørret fra 2009-2019, samt våre framskrivninger for produksjon i åpne merder mot 2030. Framskrivningene vises her med antatt lineær vekst mellom 2020 og 2030. Historisk økte produksjonen med 55% fra 2009 til 2019, men som vist har det de siste årene vært veldig lav produksjonsvekst. Mengden fisk årlig har ligget rundt 1,3 millioner tonn i perioden fra 2012-2018. Vårt pessimistiske scenario representerer i så måte at de siste årenes trend fortsetter mot 2030 og 2050, med en produksjonsvekst på 6% i perioden fra 2020 til 2030.



Figur 20 Historisk produksjon av laks, ørret og regnbueørret sammenlignet med scenarioer utarbeidet for produksjon i åpne merder frem til 2030.

3.2 Fremtidig energisystem og energibærere

Her gis en kort presentasjon av sentrale trekk i utviklingen av energiforsyning og teknologier og energibærere som vurderes som spesielt relevante for oppdrettsanlegg og fartøy. Dette baserer seg i all hovedsak på NVE rapporten «Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2020-2040» [47]. Kapittel 4.2 gir en mer detaljert presentasjon av energiforsyningsløsninger, og kapittel 4.2.5 gir en presentasjon av utvalgte «nye» energibærere.

Sentrale utviklingstrekk mot energisystemet som norsk oppdrettsnærings skal utvikle seg innenfor:

- Økt kraftforbruk fra elektrifisering og ny kraftkrevende næringsvirksomhet. Det forventes at norsk forbruk og produksjon vokser jevnt frem mot 2040. Energiforbruket i husholdningene går ned, men elektrifisering av sokkelen, industri og transport gjør at det forventes en netto økning i forbruk. Med elektrifisering og mer energikrevende teknologier som landbasert/lukket oppdrett vil havbruksnæringen bli en del av mange som vil konkurrere om nye kraft og nye energibærere.

- Med en jevn vekst i både forbruk og produksjon vil Norge fortsatt ha en positiv kraftbalanse (mer produksjon enn forbruk). Dette viser at det er rom for at havbruksnæringen øker sitt forbruk. Utvekslingskapasiteten mellom Norden og resten av Europa vil dobles fra 2020 til 2030, og det forventes betydelig eksport. Dette vil også påvirke priser og tilgang på elkraft og det vil være interessant å vurdere hva som er mest lønnsomt og klimavennlig av å eksportere grønn elektrisitet eller oppdrettsfisk.

- Andelen regulerbar kraftproduksjon reduseres fra 80 til 50% og verdien av fleksibilitet økes. Det blir dermed viktig for havbruksnæringen å se på hvordan de kan øke fleksibiliteten i energiforbruket og eventuelt bidra til energibalansen. I og med at næringen er direkte koblet til biologi og naturlige miljø kan det være utfordrende å finne hvor de kan være fleksible. Batterier og hydrogen er eksempler på energibærere som vil benyttes til å lagre energi når kraftprisene er lave (eller det er overskudd) og for å sikre kapasitet når det er mer etterspørsel enn produksjon.

- Prisen på CO_2-kvoter går opp. Mesteparten av utslippene i klimasporet til den norske oppdrettsnæringen er utenfor kvotepliktig sektor per i dag, men hvilke sektorer som er kvotepliktige kan endre seg, og økt pris på CO_2-kvoter kan øke kraftprisene (kraftproduksjon er kvotepliktig). Dette viser noe av den omstillingsrisikoen havbruk står ovenfor, der hvor de er knyttet til kvotepliktig sektor kan kostnadene for økte CO_2-kvotepriser forplante seg til økte utgifter.

- Andelen fornybar energi øker. Innen 2040 skal 50% av europeisk kraftproduksjon være sol og vind, en økning på 200%. Klimasporet til elektrisitet vil da reduseres såfremt fossil energi reduseres eller får karbonfangst. Innen 2030 skal kullkraft være faset ut i de fleste land, mens en del gasskraft beholdes for å sikre forsyning og stabilitet. I Norge blir det pekt på et stort potensial for vindkraft til havs, men teknologien forventes å være dyrere enn vindkraft på land i lang tid. Det forventes også at solkraftproduksjonen øker, hovedsakelig på tak og integrert i bygninger.

- Kraftprisene øker, og med en større andel av fornybar (ikke regulerbar) forsyning blir kraftprisene svært væravhengig. Når vannutskifting med havstrømmer erstattes med pumper og vannbehandling, som for eksempel i landbaserte oppdrettsanlegg for matfisk, så blir utgifter til elkraft betydelig og det kan forventes at denne utgiften varierer mye og kan bli vanskelig å forutse.

Ut over det elektriske energisystemet vil utviklingen av nye energibærere som hydrogen og ammoniakk i samspill med karbonfangst og lagring (CCS) kunne spille en rolle for oppdrettsnæringens muligheter til å redusere klimapåvirkning. Norge har ambisjoner om å spille en ledende rolle på utviklingen av CCS. Når netto klimaeffekt skal vurderes blir det viktig å vurdere hele systemet fra fangst til lagring av karbonet, inkludert både kapital og operasjonelle utgifter.

Om hydrogen sier regjeringen i sin strategi [48] at de skal styrke satsing på hydrogenrelatert forskning, teknologiutvikling og vurdere å bruke virkemiddelapparatet til å fremme bruk av hydrogen.

3.3 Energibruk for nye produksjonsteknologier

Andre driftsformer og produksjonsteknologier frem mot 2030 og 2050 vil medføre endringer i fremtidig energibehov i næringen. På nåværende tidspunkt har få startet opp produksjon i off-shore merder (havbruk til havs), landbaserte anlegg og lukkede merder. Erfaringstall for reelt energibruk er dermed ikke tilgjengelig. Vi har innhentet estimat fra konsepter under utarbeiding for å gi et grunnlag for vurdering av energibehov for de aktuelle produksjonsformene i tiltaksanalysen i delleveranse 3.

3.3.1 Energiforbruk for landbasert produksjon av matfisk

En rekke tillatelser for produksjon av matfisk på land er utdelt, og flere av disse konseptene er under prosjektering og/eller bygging. Flere ulike konsepter er utarbeidet, både gjennomstrømningsteknologi, RAS-teknologi og nye utviklede teknologier. En tidligere studie ledet av SINTEF Ocean [19] estimerte at energiforbruket for matfisk-produksjon på land vil ligge rundt 6-9 kWh/kg levende fisk produsert. Vi oppsummerer her noen av de største prosjektene for matfiskproduksjon på land for å vurdere energiforbruket som kan forventes i utnyttelsen av nye teknologier.

Landbasert oppdrett vil ha en del likhetstrekk uavhengig av geografisk lokasjon og vi har derfor forsøkt å skaffe data på energiforbruk i landbaserte oppdrettsanlegg for matfisk (laks) i Europa og USA. Det er svært vanskelig å få tak i slik informasjon, både fra anlegg som er i drift og anlegg som er under bygging. Slike data vurderes som svært sensitive og flere av selskapene er børsnoterte.

Tabell 13 Teknologi og energiforbruk for store prosjekter for matfiskproduksjon på land.

Andfjord Salmon	Salmon Evolution	Fredrikstad Seafood
Andfjord Salmon sin teknologi er et rent gjennomstrømningsanlegg hvor oppdrettskarene er senket til havnivå på land, noe som gjør at tidevannet utnyttes og reduserer energikostnadene. Forventet energiforbruk per kg fisk produsert er 1,96 kWh [49], og anlegget skal produsere ca. 10 000 tonn laks årlig.	Salmon Evolution skal produsere 36 000 tonn laks på Indre Harøy. Anlegget skal benytte gjennomstrømningsteknologi med resirkulering (FTS-R) og vil ha et maksimalt effektbehov på 32-36 MW [22]. Av dette brukes mesteparten for pumping av sjøvann og oppvarming og kjøling av inntaksvann [22].	Fredrikstad Seafood sitt anlegg er det eneste i drift i dag for produksjon av matfisk på land. Anlegget benytter RAS-teknologi. Forventet energibruk er 3-4 kWh per kg fisk produsert [50].

Energibehovet vil dekkes av elektrisitet for landbaserte anlegg. I tillegg vil det være behov for back-up systemer, og nødstrøm vil i de fleste tilfeller leveres av dieselaggregat.

3.3.2 Energiforbruk for nye produksjonsformer i sjø

Nye konsepter for produksjon av laks i sjø enten i lukkede merder eller lengre til havs er i utprøvingsfasen. Per nå er noen få prosjekter for lukkede merder i gang, mens ingen har startet opp havbruk til havs. Riktignok er flere konsepter under utprøving på eksponerte lokaliteter og vil senere flyttes lengre til havs. Vi har her sett på noen av konseptene under utvikling for å gi et anslag på energiforbruk ved alternative produksjonsteknologier. Det vil antakeligvis være store variasjoner i energibruk avhengig av design, behovet for posisjonering av installasjonene og i hvilken grad operasjoner gjennomføres av utstyr på installasjonen eller av fartøy.

Tabell 14 Forventet energiforbruk for produksjon i offshore-merd.

Ocean Farm 1	Spidercage	Arctic offshore farming
Salmar sin Ocean Farm 1 har snart gjennomført to produksjonssykluser. MTB for lokaliteten er 6 240 tonn. Gjennomsnittlig daglig effektforbruk for første del av produksjonssyklusen hvor smolten ble satt ut våren 2019 viser et forbuk på omtrent 100 kW, og resulterer i et årlig energiforbruk på 0,9 GWh [51].	Spidercage-konseptet er en semi-lukket merd for bruk på eksponerte lokaliteter utarbeidet av ViewpointAqua. Lokaliteten har en kapasitet på 3120 tonn MTB. Det er forventet et årlig gjennomsnittlig effektforbruk på 130 kW på høst og vinter, og 110 kW sommer og vår. Årlig energiforbruk for lokaliteten er estimert til 1 GWh.	NRS har utviklet et konsept for en merd for bruk i åpent hav, som også har muligheten for senking for å unngå lus. Lokaliteten vil ha en kapasitet på 6000 tonn MTB. Estimert energiforbruk over en produksjonsyklus er 0,9 GWh, og den gjennomsnittlige effektbruken er antatt å ligge rundt 100 kW (pers. kommunikasjon NRS)

Flere ulike konsepter for lukkede merder er under utbygging eller i testfasen. Anleggene som er bygget eller som er under utviklingen inkluderer et stort spekter av ulike tekniske løsninger og materialer. Dette gjør at forventet energibruk for lokaliteter med lukkede merder vil variere stort.

Det vil dermed være behov for å i større detalj kartlegge energibruk for ulike konsepter, samt vurdere i hvilken grad energibruken for fartøy knyttet til disse lokalitetene vil kunne endres.

Energiforbrukstall er innhentet fra ett prosjekt under prosjektering/bygging. 5 lukkede merder à 15 000 m^3, med en kapasitet på 827 tonn MTB, er forventet å ha et energiforbruk på rundt 1,8 GWh årlig og en installert effekt på 1,5 MW. En tidligere studie av miljøpåvirkningen av produksjon i lukkede merder versus åpne merder [52] oppgir at energiforbruket i lukkede merder ligger rundt 0,83 kWh/kg fisk produsert. Dette inkluderer energiforbruket for fôrflåten og energibehovet for pumping av vann.

Energibehovet for off-shore merder under planlegging vil i stor grad dekkes av dieselaggregat, strøm fra land eller fornybar egenprodusert kraft. Back-up kraftforsyning vil i tillegg være nødvendig da forsyningssikkerhet er ekstremt viktig. For flytende merder i sjø er det forventet at de fleste av disse vil være forsynt med kraft fra land.

3.3.3 Fremtidig energibruk for fartøy

For fartøy er det i større grad vanskelig å anslå fremtidige endringer i energibruk da en rekke forventede endringer i produksjonen vil kunne påvirke aktiviteten. Dette gjelder både nye driftsformer og produksjonsteknologier (post-smolt, havbruk til havs, landbasert) og nye krav til næringen. Vi nevner her noen av faktorene som har betydning for energibruk på fartøysiden fremover.

Nye krav i transportforskriften fra 1.januar 2021 medfører at all transport av fisk skal skje lukket eller med vannbehandling som sikrer at det ikke utveksles smittestoff med omgivelsene [53]. Kystrederiene spår at Mattilsynets nye krav vil føre til et generasjonsskifte i flåten, på grunn av behov for ombygging som ikke vil være hensiktsmessig for eldre og små brønnbåter. Det forventes dermed en betydelig vekst i fartøy for havbruksnæringen over de neste tiårene [26]. Lukket transport av fisk krever oksygenering og god vannsirkulasjon ved bruk av pumper og støttesystemer og det forventes at dette vil øke det totale energibehovet fra brønnbåtflåten.

Bruk av dedikerte smoltbåter for transport av smolt er et aktuelt tiltak for å bedre biosikkerheten i næringen [53]. Sammen med et økt behov for frakt av større smoltlaster blant annet som en konsekvens av produksjon av post-smolt vil båtene også måtte være større. Det vil dermed være et behov for større og flere spesialiserte brønnbåter for smolttransport.
Større produksjon i off-shore merder og merder med lukket teknologi vil også kreve fartøy med andre installasjoner enn i dag. Erfaringene fra Ocean Farm 1 peker på at det kreves en ytterligere utvikling i lossesystemer og større fartøy for å gjennomføre operasjoner ved eksponerte lokaliteter [33]. Mer krevende operasjoner på lokalitet og lengre transportavstander vil antakeligvis øke energiforbruket knyttet til større fartøy ved eksponerte lokaliteter. På den andre siden vil lukket teknologi redusere behovet for operasjoner knyttet parasittbehandling. Netto effekt av disse endringene for energibruk for fartøy i fremtidens næring er vanskelig å anslå. Videre planlegger også aktører for andre løsninger enn fartøy. Ved Nordlaks sin havfarm skal eksempelvis fartøy erstattes med skinnegående servicevogner som drives av elektrisitet fra land [54].

En annen viktig trend på fartøysiden den siste tiden er større investeringer i slakte- og bløggebåter. Dette er fartøy som har godkjenning for å slakte (bedøve og avlive) oppdrettet fisk til konsum. Disse fartøyene sammen med fôrfartøy er ikke dekket i denne studien, men er fartøyskategorier hvor man også forventer vekst fremover.

3.4 Forretningsmodeller i skjæringspunktet energi og oppdrett

Både for dagens «tradisjonelle» lakseoppdrett og for fremtidens nye konsepter for produksjon vil omstillingen til en mer klimavennlig produksjon kreve nye energiløsninger fremover. Krav knyttet til biologi, fiskevelferd, økonomi og myndighetskrav har størst innvirkning på oppdretters beslutninger, og energi kommer ofte langt bak i rekken av hensyn som må tas. For alle er likevel det absolutt viktigste kravet at energiforsyningsløsninger er svært driftssikre og har høy pålitelighet. Lavutslipp energiforsyningsløsninger krever også i større grad et samspill mellom ulike teknologier, noe som øker kompleksiteten og krav til kompetanse både i prosjekterings- og driftsfasen.

Erfaringer fra de siste årenes elektrifisering av fôrflåter tilsier at det er behov for nye forretningsmodeller i skjæringen mellom oppdretts- og energibransjen [15], [16]. Flere oppdrettere opplever at de sliter med å finne aktører som har kompetanse på elektrifisering av havbruksnæringen, og kraftbransjen oppleves vanskelig å forstå med ulike aktører og roller [15]. Erfaringene oppdrettere har gjort seg avhenger derimot mye av hvor i landet de befinner seg og det lokale nettselskapet. Enkelte opplever at jo mindre det lokale nettselskapet er jo enklere blir prosessen, noe som gjenspeiler at det er enklere i de tilfellene færre aktører er inkludert.

Avhengig av hvor produksjonen skjer vil det være behov for ulike energiløsninger. For kystnære lokaliteter vil dette hovedsakelig innebære elektrifisering med landstrøm, mens for havbruk til havs vil egenproduksjon av kraft også være aktuelt. For landbasert produksjon vil et høyt effektbehov og kapasitet i nettet i stor grad være en utfordring. Videre vil infrastruktur og produksjon av nye energibærere være vesentlig for å ta i bruk lav- og nullutslippsteknologi på fartøy. Forretningsmodellene det er behov for har likevel i stor grad de samme fellestrekkene og omfatter mellom annet:

Leasing og «leie til eie»

Leasing og forretningsmodeller som gir mulighet for leie av utstyr (energiforsyning og produksjon, fartøy etc.) kan legge til rette for at ny teknologi kan innføres med lavere risiko for oppdretter. Ved leasing kan energiløsninger prosjekteres, installeres og driftes optimalt, samtidig som utleier tar risiko og kunden får mulighet til å ta enkle beslutninger rundt investeringen. Dette legger til rette for at oppdrettere kan ha driftssikre, pålitelige energiforsyningsløsninger og forutsigbare kostnader. Flere selskaper ser på muligheten for dette, blant annet energiselskapene BKK og NTE som tilbyr leasing av landstrøm og andre aktører som ser for seg leasing av eksempelvis bølgekraft for havbruk til havs. Slike forretningsmodeller kan også gjøre seg gjeldende i større grad på fartøysiden. Grovfjord Mekaniske Verksted leide eksempelvis ut sin første el-båt til Trollvika Drift det første året for prøvedrift. Moen Marin legger også til rette for at kunder kan leie i kortere eller lengre perioder, og tilbyr i tillegg service i leieperioden [55]. Forretningsmodeller som legger til rette for at oppdretter eller serviceselskap kan gå fra å leie til eventuelt å eie hvis ønskelig er med på å redusere risikoen ved investering i ny teknologi.

Delingsøkonomiens inntreden kan også være fordelaktig for oppdrettsnæringen. Leasing av utstyr til oppdrett har alt vært tilgjengelig noen år for enkelte oppdrettere. En elektrifisering av båter vil kunne aktualisere dette sterkere i regioner hvor det er store forskjeller i avstander mellom lokalitetene. Eksempelvis når en oppdretter bytter fra en eksponert lokalitet til en mindre eksponert lokalitet eller fra en lokalitet med lang reisevei til en lokalitet som ligger nærmere kan behovet for båttype endre seg fra dieseldrift til elektrisk fartøy. En felles regional båtpool vil kunne være

fordelaktig da oppdretteren kun trenger ha i bruk de båtene som er relevante for driften til det spesifikke selskapet på det aktuelle tidspunktet.

BKK er den aktøren som har gjort seg mest erfaring med leasing av landstrøm i dag. De har satset på å gå inn mellom nettselskapet og havbruksaktører for å redusere kompleksitet og risiko ved etablering av landstrøm. En utfordring ved tilknytning til landstrøm er at prosessen tar lang tid, spesielt beregningen av anleggsbidrag. De har dermed forsøkt å redusere usikkerheten i prosjektene med tanke på tid og kostnader. Dette gjør de ved å ta seg av prosjektering og søknader, samt kontakt med nettselskap og grunneiere. Et estimat for anleggsbidrag beregnes også tidlig, og innkjøp av materiell og utbygging kan starte opp før endelig anleggsbidrag er klart. Basert på BKK sine erfaringer har kundene i havbruksnæringen ulike ønsker når det kommer til energiselskapenes rolle som link mellom nettselskap og oppdretter. Enkelte aktører ønsker kun bistand til prosjektering og utbygging av landstrøm. Andre ønsker at energiselskapet drifter og eier landstrømanlegget, hvor oppdrettsselskapet betaler enten en dags- eller månedsrate for levert energi. Dette tilbys over en gitt avtaleperiode, typisk 10 år, og fungerer dermed som en leasing-avtale.

Samarbeid på tvers av aktører for å sikre hele verdikjeden
For introduksjon av nye energibærere for fartøy (hydrogen, ammoniakk og landstrøm) er tilgjengelighet på drivstoff og infrastruktur en vesentlig barriere. Samarbeid og utvikling av ny teknologi som inkluderer hele verdikjeden, fra produksjon til sluttbruker, vil kunne redusere disse barrierene. Tilsvarende samhandling og forretningsmodeller vil være aktuelt for avhending og utnyttelse av slam fra landbaserte anlegg.

Systemer for energiledelse og utveksling av informasjon av energibruk på tvers av aktører
Løsninger som legger til rette for fjernkontroll og driftsoptimalisering av energisystemer gjør at oppdretter kan ha fokus på biologiske faktorer, samtidig som energiforsyningen driftes optimalt. Systemer for energiledelse og systematisering av energidata vil også kunne bedre oppdrettsselskap sin oversikt over energibruk og effekten av ulike tiltak. Dette svarer på oppdretters behov knyttet til vurdering av utslippsbesparelser ved investering i ny teknologi og økende krav til rapportering av klimagassutslipp.

Intervju med ulike aktører i bransjen i dag avdekker et behov for systemer som gjør det lettere å rapportere og dele informasjon på tvers av aktører. Dette gjelder også for energibruk og klimagassutslipp. Forretningsmodeller som integrerer løsninger som legger til rette for digital overvåkning av energibruk og letter rapporteringen av energibruk både internt og på tvers av aktører vil være viktige. Dette vil i økende grad være relevant på tvers av aktører i bransjen i forbindelse med rapportering av Scope 3 klimagassutslipp (for eksempel energiforbruk for service- og brønnbåtselskaper)

Styring av last og sluttbrukerfleksibilitet
Flere utfordringer knyttet til energiforsyning vil oppstå med økt produksjon på land og på mer eksponerte lokaliteter/til havs. Landbaserte anlegg, spesielt RAS-anlegg, har store effektbehov. Man ser allerede flere eksempler på at disse etableringene kan være utfordrende med tanke på kapasiteten i strømnettet, spesielt i tilfeller med matfiskproduksjon på land. Ved begrenset kapasitet i nettet vil utfordringer knyttet til nettilkobling, både i form av tid og kostnad melde seg.

Lokalisering av landbaserte anlegg vil være viktig, og det vil være hensiktsmessig å plassere nye anlegg i områder med kraftoverskudd og begrenset transmisjonskapasitet for å utnytte

overskuddskraft. Områder med planlagte vindkraftanlegg og samlokalisering med mindre vannkraftverk er tidligere trukket frem som aktuelle områder. En rekke av dagens settefiskanlegg ligger nært småkraftverk, som forsyner både vann og kraft. Videre er samlokalisering av hydrogenproduksjon og landbasert produksjon tidligere vurdert å være gunstig da det gir mulighet for bruk av oksygenet og varmen fra elektrolysøren direkte i anlegget, mens hydrogen kan anvendes i brenselcelle som back-up strømforsyning eller som drivstoff [56]. Kraftproduksjon fra vindparker med begrenset transmisjonsnett kan være en relevant energiressurs i slike tilfeller. Et større EU-prosjekt ser blant annet på muligheten for dette i Raggovidda vindpark [57].

Egenproduksjon av kraft ved landbaserte anlegg, for eksempel ved vind, sol eller utnyttelse av slam til biogass, er andre eksempler på løsninger som vil gi økt kompleksitet fremover og drive frem behovet for nye forretningsmodeller for energi.

Økt elektrifisering av havbruksnæringen og økning i landbasert produksjon vil kreve større effektbehov enn dagens næring. Både lokaliteter i sjø og landbasert oppdrett ligger ofte i grisgrendte strøk der det er svakt strømnett med begrenset kapasitet. Ved elektrifisering i disse områdene må man ofte forsterke nettet eller bygge nytt nett, der kunden må dekke merkostnadene for nytt nett gjennom anleggsbidrag. Dette er en barriere både for elektrifisering av fôrflåter, fartøy og bygging av landbaserte anlegg. I en nylig rapport fra Energi Norge [15] anbefales det å starte prosessen med nettselskapet så tidlig som mulig i et elektrifiseringsprosjekt. Dersom man involverer nettselskapet tidlig, ville man kunne ta med tilgjengelig kapasitet i nettet og eventuelle kostnader ved anleggsbidrag med i vurderingen av lokasjon. Tjenester og verktøy fra nettselskapenes side som gjør det lettere å identifisere områder med kraftoverskudd og kapasitetsbegrensninger ville tydeliggjort hvor og når levering av kraft er en reell barriere.

I noen tilfeller kan lokal produksjon, utnyttelse av sluttbrukerfleksibilitet og energilager være alternativer til å bygge nytt nett. I Enovas program storskala demonstrasjon av fremtidens energisystem testes det ut ulike varianter av dette. Et eksempel er prosjektet Smart Senja [58] der det testes ut smart infrastruktur for å styrke forsyningssikkerheten lokalt i sårbare distribusjonsnett. Utgangspunktet for prosjektet var økt kraftbehov for fiske- og oppdrettsnæringen. Her testes det ut om utjevning av effekt ved hjelp av lastforflytting og sluttbrukerfleksibilitet kan utsette behovet for bygging av nytt nett, samtidig som forsyningssikkerheten ivaretas. I prosjektet har strømleverandøren rollen som «integrert aggregator» gjennom å tilby et lokalt fleksibilitetsmarked [59]. Forbruksfleksibilitet og lastforflytning kan til en viss grad også være aktuelt i oppdrettsnæringen, selv om det generelt er behov for kontinuerlig forsyning og stabil spenningskvalitet. For landbaserte anlegg kan eksempelvis effekt for oppvarming av vann eller tørking av slam kobles ut noen timer, noe som kan frigjøre betydelig effekt avhengig av størrelsen på anlegget [22]. Ved større grad av elektrifisering av båter vil lastforflytning i tid også være aktuelt. Her kan man se for seg at fleksibel lading av båter vil kunne være en forretningsmodell, på lik linje med smart elbillading levert av eksempelvis Tibber.

3.5 Klimarisiko for norsk oppdrettsnæring

Klimaendringer og klimapolitikk vil påvirke havbruksnæringen fremover. Totalen av disse påvirkningene og fremtidige usikkerhetene omtales som klimarisiko. Ekspertgruppen Task Force on Climate-Related Disclosures (TFCD) utarbeidet i 2017 retningslinjer for hvordan selskaper bør

analysere klimarisiko og etablerte et begrepsapparat [60]. Det skilles mellom tre hovedkomponenter som har innvirkning på klimarisiko.

- Fysisk risiko: Kostnader knyttet til fysisk skade som følge av klimaendringer. Den fysiske risikoen kan være akutt, som ved ekstremværhendelser, eller kronisk, som ved økte temperaturer.

- Overgangsrisiko: Økonomisk risiko knyttet til overgang til lavutslippsamfunnet. Delelementer som påvirker overgangsrisikoen er politikk og reguleringer, teknologi, marked og omdømme.

- Ansvarsrisiko: Erstatningskrav på grunn av beslutninger eller manglende beslutninger som kan knyttes til klimapolitikk eller klimaendringer.

Vi vil her omtale relevante aspekter knyttet til fysisk risiko og overgangsrisiko for næringen.

Tabell 15 Oversikt klimarisiko

Risikofaktor	**Konsekvens**
Fysisk risiko	
Ekstremvær i form av sterk vind, bølger og kraftig nedbør [61]	Fare for materielle skader på lokaliteter blant annet på grunn av at fortøyninger ryker. Rømning av fisk [62], [63] og risiko for arbeidere kan være direkte konsekvenser, og lede til tap både økonomisk og av omdømme. Lokaliteter skal være dimensjonert for å tåle en 50- årsstorm, men dimensjoneringskrav vil måtte endres ved økt ekstremvær [64] og resulterer i økte kostnader. Kraftig nedbør øker innblanding av ferskvann og påvirker spredningen av parasitter. Dette kan bedre lakselus-situasjonen, som slipper laks ved for mye ferskvann, men kan f.eks. øke spredningen av parasitten Gyrodactylus [65]. Kraftig snøvær og vinterstormer på land kan påvirke landtransport av laks og føre til forsinkelser i leveringer [66].
Varmere sjøtemperaturer, økt havforsuring og reduksjon i oksygeninnhold [61], [67]	Temperaturer over 15 grader vil gi suboptimale forhold for laks og ørret som kan resultere i raskere modning, dårligere og mer ustabil kvalitet [60]. Varmere sjø fører til dårligere leve- og vekstvilkår, spesielt om sommeren [65]. Enkelte lokaliteter sør i Norge opplever allerede sommertemperaturer høyere enn toleranseverdier for laks [68] og kan gi et skift i produksjon nordover [69]. Samtidige endringer i parametere vil kunne øke påvirkningen på laksen [70]. Biologisk risiko i form av risiko for sykdom og parasitter, samt algeoppblomstring vil også øke. Lakselus formerer og spres raskere ved høyere temperaturer [71]. Dette kan igjen føre til nye krav mtp. biosikkerhet i næringen. En indirekte konsekvens vil være tilgangen på fiskemel for fôr hvis fiskebestander forflyttes nordover pga. varmere sjøtemperaturer. Dette kan gi økte fôrkostnader og behov for nye marine fôringredienser.
Sommertørke og manglende ferskvannsressurser	Perioder med sommertørke kan føre til begrenset tilgang på ferskvann for settefiskproduksjon. RAS-teknologi og andre teknologier som reduserer ferskvannsbehovet vil antakeligvis dominere fremover både som følge av økt produksjon og begrensede vannressurser.

Klimaendringer i landbruket, internasjonalt	Klimaendringer kan føre til redusert produksjon av vegetabilske fôringredienser, dette gjelder spesielt soya [72]. Dette forsterker behovet for nye fôringredienser og kan øke produksjonskostnadene [71].
Overgangsrisiko	
Politikk og reguleringer	Oppdrettsnæringen vil på lik linje med andre næringer møte økende reguleringer knyttet til reduksjon av klimagassutslipp [60]. Det forventes at dette vil ramme annen matproduksjon hardere, da lakseproduksjon har et lavere klimaspor. Likevel vil det antakeligvis komme CO2-reguleringer og skatt og eventuelle forbud på bruk av fossile drivstoff og energi. I et mulighetsperspektiv vil det kunne gi en positiv effekt ved at havbasert og elektrifisert drift kan få skattemessige fordeler [64]. Økte avgifter på transport, spesielt fly, og krav til nullutslippskjøretøy og fartøy er eksempler på reguleringer næringen kan møte. Senest tidlig i desember 2020 kom stortingsmeldingen «Grønnere og smartere – morgendagens maritime næring», hvor regjeringen *tar sikte på en trinnvis innfasing av krav om lavutslipps- og nullutslippsløsninger for servicefartøy fra 2024, der forholdene ligger til rette for det* [25]. Dyrere flyfrakt og krav kan føre til at transport i større grad må skje ved tog og skip. Færøyske Hiddenfjord kunngjorde nylig at de ikke vil frakte laks med fly ut i markedet lenger [73]. Med fokus på produkters klimapåvirkning blir rapportering og produktmerking viktigere. Hvor godt en produsent kan dokumentere klimasporet sitt og hvor lavt de kan holde det blir etter hvert en viktig konkurranseparameter i markedet og en viktig parameter for investorer. Såkalt «grønn finans» som handler om å allokere kapitalen dit den støtter opp under miljømål er en bevegelse som har blitt svært sterk i det siste, spesielt med innføringen av EUs bærekraftstaksonomi. Bærekraftstaksonomien er et system der hvor bedrifter blir klassifisert mht. hvordan de presterer på en rekke bærekraftsmål, dette inkluderer blant annet klima og ressurs/energibruk. Inndelingen brukes til å skille ut de som bør få grønne investeringer, som ofte kommer med gode betingelser. Grønn finsnas har allerede gitt store effekter i norsk oppdrett og vil nok bli en enda viktigere faktor frem mot 2050 når mat og akvakultur får en mer tydelig rolle i taksonomien. Foreløpig er det ikke utarbeidet en kravspesifikasjon for havbruksnæringen. Krav stilt til landbruket kan gi en pekepinn på hva som kan kreves ovenfor havbruksnæringen. Det viktigste kravet innen husdyrproduksjon er dokumenterte reduksjoner i klimagassutslipp frem mot 2050. Utslipp må reduseres med 20% innen 2030, 30% innen 2040 og 40% innen 2050.
Teknologi	Flere av elementene knyttet til politikk og reguleringer er førende for teknologien som kreves. Eventuelle krav om nullutslipp av klimagasser eller bruk av fornybart bærekraftig drivstoff vil gi behov for utvikling av ny teknologi, mtp. energiforsyning for lokaliteter og spesielt fartøy. Krav til transport vil kunne gi behov for bedring av kjøleteknologi, men kan også gi en driv for utvikling av landbasert oppdrett nært markedene. Dette kan svekke den norske næringens konkurransekraft, men også gi muligheter for større eksport av teknologi. Fremtidige fysiske forhold vil indirekte påvirke teknologikrav i næringen. Som nevnt tidligere vil mer ekstremvær øke kravene til dimensjonering av lokaliteter. Biologisk risiko er allerede i dag førende for utviklingen av nye teknologier. Økt biologisk risiko fremover som en konsekvens av blant annet varmere temperaturer vil i enda større grad stille nye krav til teknologi, med offshore havbruk, landbaserte og lukkede merder som de mest fremtredende løsningene.

Marked	Havbruksnæringen i Norge har store vekstmuligheter i markedet i møte med fremtidige klimaendringer, og det forventes økt etterspørsel. Mer moderat temperaturøkning i norske farvann enn andre steder kan føre til et norsk konkurransefortrinn sammenlignet med andre oppdrettsnasjoner. Dersom klimaendringer fører til reduksjon i global matproduksjon, kan etterspørsel etter og pris på sjømat øke [69]. Dette, sammen med et lavere klimaspor, areal- og energibruk [64] sammenlignet med kjøttproduksjon av storfe, lam og svin vil kunne gi en høyere etterspørsel. Usikkerhet rundt tilgangen på fôr, reguleringer og forbrukeraksept knyttet til flytransport vil være viktige usikkerhetsfaktorer som spiller inn [69]. Utvikling av alternative fôrkilder og alternative løsninger for transport vil være viktige elementer for å håndtere denne risikoen. På den andre siden kan økte krav spesielt knyttet til flyfrakt i større grad gi et marked for landbasert produksjon nært de store markedene.
Omdømme	Markedsundersøkelser viser at oppdrettsnæringen er møtt med økt skepsis fra norske forbrukere de siste årene, knyttet til åpenhet og miljøansvar [74]. Også internasjonalt er forbrukerne opptatt av opphav og bærekraft [75]. Krav og forventninger fra forbrukere både knyttet til klimatiltak og bredere bærekraftsutfordringer vil være vesentlig for næringen fremover. Økt grad av sertifiseringsordninger og rapportering vil være en konsekvens. Samtidig kan oppdrettsnæringen oppleve en oppside ved at forbrukere velger laks fremfor andre proteinkilder med et høyere klimaspor, men dette vil antakeligvis avhenge av hvordan andre forbrukerkrav blir møtt.

4 DELLEVERANSE 3: TILTAKSANALYSE

Tiltaksanalysen viser hvordan energibruk og klimagassutslipp kan utvikle seg for ulike utviklingsbaner for produksjon (mengde og hvordan fisken produseres) under ulike klimatiltak. Analysen er satt opp som scenario frem mot 2030 og videre til 2050.

Som spesifisert av Enova skal analysen ta for seg klimatiltak som kan iverksettes samtidig som produksjonen øker. Det er også lagt vekt på å se tiltakene i lys av tidspunkt for innfasing da dette er vesentlig for oppnåelse av nasjonale klimamål. Metodisk følger dette dermed i stor grad arbeidet som ble gjort i forbindelse med Klimakur 2030, som tok for seg reduksjonspotensialet for norsk oppdrettsnæring mot 2030.

Fremgangsmåte og metode for tiltaksanalysen er først kort beskrevet sammen med de viktigste inndata (Kap 4.1.). Deretter tar vi for oss tiltak for reduksjon i energibruk og klimagassutslipp (Kap 4.2). Potensialet for utslippskutt for de mest relevante klimatiltakene frem mot 2030 og 2050 vurderes i Kap 4.3. Avslutningsvis diskuteres barrierer, kostnader og påvirkning på kraftnettet for de aktuelle tiltakene (Kap 4.4).

4.1 Fremgangsmåte og metode for tiltaksanalyse

Et scenario for mulig utvikling i klimagassutslipp er bygget av følgende komponenter:

- **En bane for energibehov**
  Dette er beregnet basert på energiintensitet for ulike teknologier (delleveranse 1) og bane for fremtidig produksjonsvekst og hvilke teknologier som benyttes i produksjonen (delleveranse 2).

- **En bane for klimatiltak**
  Tiltakene omfatter energiforsyningsløsninger, energibærere og energieffektivisering. Se Tabell 16.

I tiltaksanalysen brukes vi altså et begrepsapparat der hvor de ulike komponentene av hvert scenario omtales som «baner» selv om de i seg selv også kan kalles et scenario.

Tiltaksanalysen begrenser seg til direkte klimagassutslipp, det vil si klimagassutslipp fra bruksfasen. Grunnen til at vi kun bruker direkte utslipp som referanse er at dette er et ønske fra Enova og i tråd med den metodikken som Enova og andre norske myndigheter og organ jobber innenfor. Som vi har vist til og viser til videre vil indirekte utslipp kunne spille en svært stor rolle for mange nye energibærere. Effekten av indirekte utslipp på totale utslippsreduksjoner er dermed synliggjort og illustrert i Kap. 4.3.6.

Utfallsrommet for fremtidig produksjon, hvordan den gjennomføres og hvilke teknologier som vil benyttes, er stort og følgelig er også utfallsrommet av tiltaksanalysen stort, men det vil peke ut ytterpunktene og hva som kan oppnås. Det vil også peke på hva som kan skje dersom man ikke gjør store og omfattende tiltak.

4.1.1 Energibehovsbaner

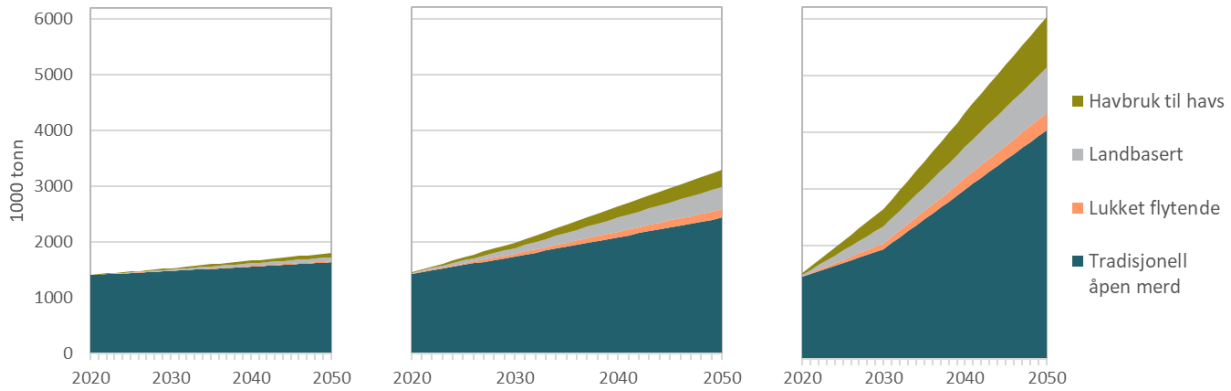
Fremtidig energibehov for næringen er en kombinasjon av energiintensiteten (energibruk per produksjon) for de ulike teknologiene som benyttes/aktivitetene og produksjonsvolum.

Energiintensitet er anslått basert på data innhentet for energibruk i næringen i dag. For fremtidige teknologier der det er lite/ingen data tilgjengelig på energibruk har vi gjort estimater. Dette gjelder for eksempel storstilt landbasert matfiskproduksjon. Fremtidig endring i produksjon vil også medføre endring i omfanget av aktiviteter og her har vi også gjort estimater. Eksempelvis vil økt produksjon i offshore-merder lede til lengre transportdistanser for brønnbåter og mulig mindre behov for avlusning. Vi har her gjort antakelser for behovet for ulike fartøystyper og energibruk ved produksjon i lukkede og offshore-merder (se Vedlegg 2: Inndata for tiltaksanalyse).

I tiltaksanalysen er de tre banene for fremtidig produksjon av laks beskrevet i delleveranse 2 lagt til grunn: pessimistisk, basis og optimistisk vekst. Tiltaksanalysen er begrenset til produksjon av laks, da dette er den delen av næringen som står for de betydelige produksjonsvolumene. For tiltaksanalysen er det antatt en lineær vekst i produksjon for alle teknologier i periodene 2020-2030 og 2030-2050.

Banene utarbeidet representerer produksjon i rundvekt, mens energiforbrukstall innsamlet gir energiforbruk for en gitt produksjon levende vekt. En omregningsfaktor på 1,067 er benyttet for å regne om fra rundvekt til produksjon i levende vekt [76].

Som vist av Figur 21 representerer banene for fremtidig vekst et stort utfallsrom. Den pessimistiske beskriver en svært begrenset vekst, mens det i den optimistiske beskrives en femdobling i produksjon frem mot 2050. Produksjon i åpne merder er forventet å dominere produksjonen også fremover, men både havbruk til havs og landbasert produksjon er forventet å ha betydelig vekst både i basis og den optimistiske banen.



Figur 21 Baner for vekst frem mot 2030 og 2050 lagt til grunn for tiltaksanalysen. Pessimistisk bane til venstre, basis-bane i midten og optimistisk bane til høyre.

4.1.2 Klimatiltaksbaner

Klimatiltak som er inkludert kvantitativt i tiltaksanalysen og potensielle utslippsreduksjoner er oppsummert i Tabell 16. Kapittel 4.2 presenterer også andre relevante tiltak. De ulike tiltakene er satt sammen og utgjør en bane for tiltak. I kombinasjonen av tiltak er det tatt hensyn til at tiltakene kan være gjensidig utelukkende, rent teknisk. Det er derimot ikke tatt hensyn til at innføring av ett tiltak kan gjøre ett annet tiltak mindre lønnsomt. Eksempelvis vil installasjon av vannbåren fôring,

som reduserer energiforbruket betraktelig, kunne gjøre det mindre økonomisk attraktivt å installere landstrøm.

Vurdering av teknisk egnethet og grad av innfasing av alternative teknologier er utarbeidet basert på vurdering av en rekke ulike kilder, både teknologisk modenhet, annonserte krav til næringen, tidligere rapporter og dialog med næringen.

4.1.3 Utslippsfaktorer

Tiltaksanalysen er begrenset til direkte klimagassutslipp, som vil si at kun klimagassutslipp fra forbrenning av fossile energibærere er inkludert. Utslippsfaktorer benyttet er presentert i Tabell 18.

For alternative energibærere og ved omfattende elektrifisering blir derimot indirekte klimagassutslipp knyttet til produksjon viktigere. For en rekke energibærere vil dermed en avgrensning til kun direkte (scope 1) utslipp gi feil informasjon. Indirekte klimagassutslipp (klimaspor per energienhet) for produksjon av strøm og andre energibærere og effekten av disse er vurdert i Kap. 4.3.6. Utslippsfaktorer er presentert i Tabell 18.

4.2 Klimatiltak

Vi beskriver her aktuelle klimatiltak for oppdrettsnæringen. Klimatiltak som er inkludert kvantitativt i tiltaksanalysen og potensielle utslippsreduksjoner er oppsummert i Tabell 16. Tiltak vil i ulik grad være aktuelle for ulike deler av verdikjeden og ulike fartøygrupper. Sammen med fremtidig energibruk og utslipp i næringen er potensialet for de mest aktuelle tiltakene kvantifisert på sektornivå i Kap. 4.3. Tiltakene som presenteres her er de som er vurdert som mest aktuelle basert på en samlet vurdering av effekt, teknologisk modenhet, intensiver og lønnsomhet, relevans og vår dialog med næringen.

Tabell 16 Oppsummering av aktuelle klimatiltak og potensialet for utslippskutt.

Klimatiltak og del av systemet	Reduksjon i klimagassutslipp lagt til grunn for tiltaksanalyse	Kommentar
Energieffektivisering på fôrflåter, landbasert produksjon og for fartøy	50-60% reduksjon ved vannbåren fôring, 20-30% ved fôring ved lavere trykk, 10% for energiledelse og varmepumpeinstallasjon. Forutsetter 25% reduksjon i tiltaksanalysen. 20-40% reduksjon oppnåelig ved driftsoptimalisering og design av energieffektive landbaserte anlegg. 30% forutsettes for tiltaksanalysen. Usikkert potensial for fartøy. 10% reduksjon forutsatt for tiltaksanalysen.	Betydelig potensial for energieffektivisering fremhevet av næringsaktører. Effekten på klimagassutslipp er svært avhengig av den reelle effekt av tiltak og menneskelige faktorer.
Hybride løsninger på lokaliteter	50% reduksjon	

	Aktuelt for åpne merder, havbruk til havs og lukkede merder, men kun vurdert for åpne merder i tiltaksanalysen.	
Elektrifisering av lokaliteter (landstrøm eller egenproduksjon av kraft)	Klimagassutslipp reduseres til null for driftsfasen. Aktuelt tiltak for fôrflåter, lukkede merder og havbruk til havs.	Reduksjonspotensialet reduseres noe hvis utslipp fra energiproduksjon inkluderes. I tiltaksanalysen vurderes kun landstrømtilkobling, men da utslipp er null i driftsfasen for fornybar kraft vil effekten være ekvivalent, uavhengig av om kraften kommer fra land eller lokal produsert kraft
El-hybrid og plug-in hybrid - fartøy	25-60% for mindre fartøy, 20-35% for service- og brønnbåt Aktuelt for alle fartøygrupper.	Noe mindre reduksjon hvis utslipp fra strøm for lading av batteri inkluderes.
Batterielektrisk fremdrift - fartøy	Klimagassutslipp reduseres til null for driftsfasen. Aktuelt for fartøy for personaltransport, arbeidsbåter, servicefartøy med liten operasjonsradius.	Noe mindre reduksjon hvis utslipp fra strøm for lading av batteri inkluderes (85-90% reduksjon).
Ammoniakk og brenselcelle - fartøy	Klimagassutslipp reduseres til null for driftsfasen. Tiltaket vurderes mest aktuelt for større servicefartøy og brønnbåt, og er inkludert for disse fartøyene i tiltaksanalysen.	Hvis produksjonsutslipp tas med vil utslippsreduksjonen være på hhv. 95% eller 65% for grønn ammoniakk avhengig av om norsk eller nordisk strømmiks benyttes for beregninger.
Hydrogen og brenselcelle - fartøy	Klimagassutslipp reduseres til null for driftsfasen. Tiltaket vurderes mest aktuelt for servicefartøy, og er inkludert for disse fartøyene i tiltaksanalysen.	Hvis produksjonsutslipp tas med vil utslippsreduksjonen være på hhv. 90% eller 60% for grønt hydrogen avhengig av om norsk eller nordisk strømmiks benyttes for beregninger.

4.2.1 Reduksjon i energibehov gjennom ny teknologi og energiledelse

Reduksjon i energibehovet, gjennom energiledelse og energieffektiviseringstiltak, er et vesentlig tiltak i alle ledd av verdikjeden for å redusere utslipp. Reduksjon i energibruken er også essensielt i

samspill med økt elektrifisering. Som demonstrert i tidligere analyser [13], [16] er energieffektivisering og energiledelse eksempelvis et essensielt tiltak for å tilknytte en større andel av fôrflåtene til landstrøm. Dette behovet vil være tydelig også ved elektrifisering av fartøy. Tilsvarende vil reduksjon i energibruk i mange tilfeller være helt nødvendig for store anlegg på land hvor effektbehovet er høyt og kapasiteten i kraftnettet i mange områder er presset.

Gjennom intervju med en rekke næringsaktører gjennom prosjektet har flere utrykt et betydelig potensial for bedre energiledelse og oversikt over energibruk. Flere av de vi har intervjuet i dette prosjektet mener at de har stort potensial for å kutte forbruk og utslipp innenfor de teknologiene de allerede har og antyder at ENØK og energiledelse noen ganger kommer i skyggen av fokuset på endring via nye teknologier. Elementære ting som det å være forsiktig på gasspedalen er viktig mens man venter på nye energibærere og fremdriftssystemer. Videre trekker flere frem at god oversikt over eget forbruk er vesentlig, og at dette i dag er særlig manglende for fartøy. Systemer som legger til rette for at de som gjennomfører daglig drift har tilgang til forbruksdata kontinuerlig kan intensivere ENØK-arbeidet i bedriften.

De siste årenes elektrifisering av mange lokaliteter har til en viss grad lagt til rette for bedre oversikt over energibruk gjennom kontinuerlig logging av effekt og energibruk. For fartøy er dette derimot utfordrende. Generelt sett vurderes energiledelse å ha et potensial for 2-10% reduksjon i energibruk, men hvor vellykket dette er vil variere i stor grad.

Aktuelle energieffektiviseringstiltak er i størst grad tidligere beskrevet for fôrflåter [13], [16], [77] og for landbaserte anlegg [21], [78]. Vi er ikke kjent med tilsvarende studier for fartøy i næringen, og beskriver her aktuelle energieffektiviseringstiltak på et mer generelt nivå.

4.2.1.1 Fôrflåte

En rekke energieffektiviseringstiltak er fremhevet som aktuelle for fôrflåter [77], deriblant:

- Energiledelse og energioppfølgingssystem
- Optimal drift av fôrblåseanlegg, deriblant fôring ved lavere trykk
- Alternativ utfôringsteknologi
- LED-belysning
- Optimalisering av oppvarmingsløsning ved utnyttelse av overskuddsvarme fra dieselaggregat eller installasjon av varmepumpe

Energiledelse, vannbåren fôring og energitiltak for «hotell-drift» vurderes som tiltak med størst potensial for å redusere energibruken på fôrflåten [16]. For å inkludere disse tiltakene i tiltaksanalysen er reduksjon i energibruk beregnet (Tabell 17). Ny fôringsteknologi basert på vann istedenfor luft kan redusere energibehovet med 70-90% basert på tester utført av teknologileverandører [16], men krever relativt store investeringer i ny utfôringsteknologi. Energiledelse og installasjon av varmepumpe kan i så måte regnes som mer «klassiske» energieffektiviseringstiltak, og vil samlet ha et reduksjonspotensial på 7-15%. Som et alternativ til vannbåren fôring er fôring med lavere trykk en mulighet, noe som vil kunne redusere energibruken for fôring med 30-40%.

Tabell 17 Besparelse ved energieffektiviseringstiltak ved fôrflåten. Fordelingen av årlig energiforbruk vist i Figur 7 er forutsatt.

Tiltak	Besparelse av tiltak	Total besparelse på fôrflåten	Kilde
Vannbåren fôring	70-90%	49-63%	[16]
Fôring med lavere trykk	30-40%	21%-28%	[77], næringsaktører
Varmepumpe for oppholdsrom	50%	5%	[77]
Energiledelse	2-10%	5%	[77]

4.2.1.2 Fartøy

Driftsoptimalisering av fartøy ved farts- og ruteoptimalisering har betydelig effekt på drivstofforbruk og klimagassutslipp fra fartøy. Effekten og i hvilken grad tiltakene kan implementeres på ulike fartøy i havbruksnæringen har vært utenfor rammene av denne studien, men tiltakene inkluderes for å illustrere potensialet. Farts- og ruteoptimalisering samt andre tiltak for driftsoptimalisering og effekten på klimagassutslipp er oppsummert i en litteraturstudie av Bouman et al. (2017) [79]. Fartsreduksjon har en estimert effekt på 20% reduksjon i drivstofforbruk og klimagassutslipp [27], [79]. I hvilken grad fartsreduksjon er mulig for fartøy i næringen varierer naturligvis i stor grad. Mange praktiske og regulatoriske krav i næringen avgjør i hvilken grad dette er mulig. Ruteoptimalisering og annen driftsoptimalisering har en estimert effekt på klimagassutslipp på hhv. 8% og 5% basert på tidligere studier [79]. Vi antar for tiltaksanalysen at disse tiltakene er aktuelle for en rekke fartøy i næringer, i alle segment.

Den internasjonale sjøfartsorganiasjonen IMO har sterkt fokus på reduksjon av klimapåvirkning og forurensing fra sjøfart. Konsekvensene har dette er stadig strengere krav til båtmotorer (Engine International Air Pollution Prevention -EIAPP Certificate), men også skipsdesign. EEDI (Energy Efficiency Design Index) er et pålegg for design av stadig mer energieffektive fartøy, ble innført 1. juli 2015 for alle norske skip over 400 bruttotonn, altså de aller fleste brønnbåtfartøy som har blitt kjølstrekt/bygget etter denne datoen. I tillegg ble forskrift nr. 488 om miljømessig sikkerhet for skip og flyttbare innretninger endret for også å pålegge alle eksisterende fartøy å ha en SEEMP-manual (Ship Energy Efficiency Management Plan) for å redusere energiforbruket også i fartøy som ble bygget før 1. juli 2015. Disse forskriftene blir stadig strammet inn i forhold til ulike miljøparametere og sørger for at den norske skipsflåten fornyes med moderne teknologi for energiproduksjon om bord.

4.2.1.3 Landbasert produksjon

Landbaserte anlegg for produksjon av settefisk og matfisk har høyt energibehov. Når produksjonsfasen på land utvides øker energibehovet, og reduksjon av energibruk blir en viktig faktor for å kunne forsvare produksjonskostnadene. Som en konsekvens er det sett på mange ulike konsepter som kan gi redusert energibruk for matfiskproduksjon på land sammenlignet med produksjon i dagens RAS-anlegg. Utnyttelse av tidevann som Andfjord Salmon legger opp til er et

eksempel. Dette konseptet er forventet å kunne redusere energibehovet med 75% sammenlignet med dagens typiske RAS-anlegg. For et RAS-anlegg eller gjennomstrømningsanlegg med resirkulering som driftes optimalt er det tidligere estimert et energiforbruk på 6-9 kWh/kg levende fisk produsert [19].

Utnyttelse av tilgjengelig produksjonskapasitet og optimalt design av RAS-anlegg er andre viktige faktorer for å redusere energibruken. Her kan design av energianlegg utgjøre store forskjeller både i forhold til maksimaleffektbehov og årlig energibehov til oppvarming/kjøling av produksjonsvann. Direktedrevne varme- og kjølekretser ha opptil 40 % bedre varmeoverføringseffekt enn anlegg med sekundærkretser. Det vil i tillegg være et lavere energibehov for sirkulering av væsker. Lufting av prosessvann uten varmegjenvinning er også en stor kilde til varmetap om vinteren og tilførsel av varme om sommeren. Varmebalanse bør være et viktig designkriterium under planlegging av RAS-anlegg da det ofte er mye mindre kostnadskrevende å bygge et energieffektivt RAS-anlegg fra grunnen av enn det er å gjøre endringer på et som allerede er bygget.

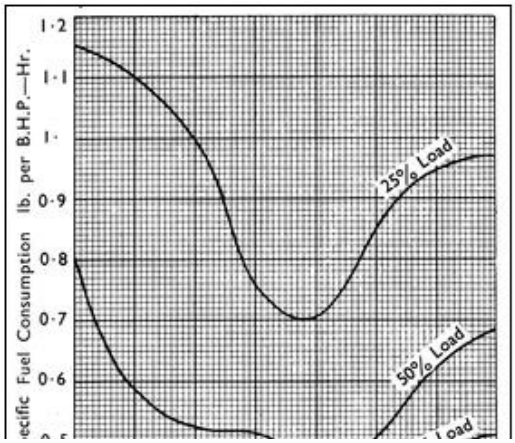
Det er også et betydelig potensial for reduksjon i energibruk i settefiskanlegg gjennom driftsoptimalisering. Flere av dagens settefiskanlegg bruker betydelig mer energi enn estimat fra leverandører av RAS-anlegg og litteraturen [21]. En energieffektiv produksjon er anslått å resultere i et energiforbruk på 3-5 kWh/kg levende fisk for produksjon av post-smolt i RAS-anlegg [19]. Til sammenligning har kartlegging av energibruk i settefiskanlegg gjennom dette prosjektet vist at gjennomsnittlig energibruk i dag er rundt 8 kWh/kg. Optimalisering av energianlegget, frekvensstyring av teknisk utstyr, utnyttelse av spillvarme fra slambehandling og optimal utnyttelse av produksjonsvolumet er vesentlig for å redusere energibehovet [21].

4.2.2 Hybride løsninger for stasjonære applikasjoner

Hybride løsninger er et relevant tiltak for reduksjon i klimagassutslipp både for stasjonære og mobile installasjoner. Det er to hovedformer for hybride løsninger:

1. Batteri lades med strøm fra nettet
2. Batteri regenerer energi fra generator

Den siste løsningen oppnår først og fremst reduksjon i energibruk og minsket klimapåvirkninga ved at gangtiden reduseres for dieselaggregatet og at det opererer på gunstigere driftsforhold.



Figur 22 Spesifikk energiforbruk ved ulike laster og turtall for forbrenningsmotor. Kilde: International Journal of Soft Computing and Engineering (researchgate.net)

Forbrenningsmotorer er av grunndesign slik at de har best effektivitet ved et bestemt turtallsområde og ved høy belastning. Aggregater slike som vi ser på oppdrettsflåter har tradisjonelt en dieselmotor som går på et fast turtall som driver en elektrisk generator som produserer strøm. Ved lave motorlaster (lave effektbehov fra oppdrettsanlegget) blir effektiviteten drastisk mye dårligere som følge av at en stor andel av den tilført energien går med til å overvinne intern motstand i motor og generator. Det er derfor meget fordelaktig å la forbrenningsmotoren produsere energi inn på et batteri med en jevn høy last helt til batteriet er fullt for deretter å stanse helt opp til neste gang batteriet har behov for lading.

Batteri vil bidra til å ta av effekttoppene og hele systemet kan optimaliseres bedre med et aggregat med mindre kapasitet. Den første løsningen hvor batteriet også lades av nettstrøm, slik ladbare hybride personbiler er tenkt å brukes, er avhengig av nettilkobling og følgelig delvis begrenset på samme måte som en ren elektrisk løsning som kun er basert på lading. Installasjon av batteri på lokaliteter gjør dermed at man enten kan benytte landstrøm til lading av batteriet eller kan oppnå reduksjon i gangtid og optimal drift av dieselaggregatet. Førstnevnte løsning kan også legge til rette for at batteriet lades med lokal produsert fornybar kraft. Det vanligste i dag er likevel løsninger med dieselaggregat og batteri i kombinasjon på lokaliteter hvor landstrøm ikke er en mulig løsning.

En viktig egenskap ved hybride systemer er at de kan lages modulære slik at de kan tilpasses fremtidige endringer, for eksempel kan et system som per i dag må basere deg på lading av diesel drevet generator i fremtiden byttes med lading på landstrøm og ny og bedre/billigere batteriteknologi kan gjøre at den elektriske delen av systemet tar mer og mer av arbeidet.

Leverandører av batteripakker angir en potensiell reduksjon i dieselforbruk opptil 60%. Intervju med aktører i dette prosjektet har anslått en noe lavere reduksjon, mens Enova oppgir et reduksjonspotensial på 20-50% av totalt dieselforbruk. 50% reduksjon i totalt dieselforbruk er benyttet i tiltaksanalysen.

Installasjon av batterihybrid drift kan også være et godt tiltak for energiledelse og EOS. Bildet endres fra at man forsøker drifte generatoren på optimal last, noe som er vanskelig når behovet varierer, til at fokuset er å redusere effekt om mulig. Dette kan være en positiv bi-effekt og potensielt redusere forbruket ytterligere med 20% (pers. kommunikasjon Fjord Maritime)

4.2.3 Landstrøm

Landstrøm er et aktuelt klimatiltak både for fôrflåter og enkelte fartøy. For fôrflåter innebærer dette at en sjøkabel legges fra lokaliteten og inn til land slik at strømmen hentes fra strømnettet. I dag har 55% av lokalitetene i sjø landstrømtilkobling. Landstrømtilkobling til lokalitet er det mest effektive tiltaket for å redusere energibruk og klimagassutslipp fra fôrflåten [77]. Bedret virkningsgrad ved elektrisk kraft gir reduksjon i totalt energiforbruk på 60-70%. Basert på innsamlet data for energiforbruk ved flåter med hhv. dieselgenerator og landstrøm i dette prosjektet er energiforbruket i snitt 67% lavere ved elektrifiserte fôrflåter.

Hvis landstrømtilkoblingen har stor nok kapasitet kan også båter lade ved lokaliteten eller være tilkoblet landstrøm ved arbeid. Landstrøm ut til merdkanten har tidligere blitt vektlagt som et vesentlig tiltak for å oppnå helelektriske lokaliteter.

Det er usikkert hvor stor andel av lokalitetene som kan tilknyttes landstrøm uten å utløse store nettinvesteringer og anleggsbidrag. I tillegg er en rekke andre faktorer avgjørende for om oppdretter velger investere i landstrømtilkobling. Tidligere analyser av DNV-GL har vist at landstrømtilkobling er lønnsomt for lokaliteter av en viss størrelse som ligger relativt nært land, og at dette gjelder inntil 80% av lokalitetene [12].

4.2.4 Egenproduksjon av kraft

For lokaliteter som ligger langt fra nærmeste tilkoblingspunkt i strømnettet kan egenproduksjon av kraft være en mulighet for elektrifisering. Dette kan muligens være aktuelt for noen av dagens lokaliteter, men vil i større grad være attraktivt på mer eksponerte lokaliteter eller ved havbruk til havs. Egenproduksjon av kraft kan også være aktuelt ved større landbaserte anlegg hvor

kraftbehovet vil være såpass stort at egenproduksjon av kraft vil være fornuftig både med tanke på kapasitetsutfordringer i nettet og økonomi.

En rekke ulike pilotprosjektet er igangsatt de siste årene både til sjøs og på land. Flytende sol og vind samt bølgekraft har vært testet av flere oppdrettsselskap og leverandører [80]–[82], uten at kommersiell drift er i gang per nå. Fluktuerende energiproduksjon gjør likevel at back-up energiforsyning er nødvendig.

Ved større landbaserte anlegg er vind, sol og biogass av slam aktuelle teknologier for lokal produksjon. Flere settefiskanlegg utnytter i dag også mindre vannkraftverk i tilknytning til nærliggende ferskvannskilde for elektrisitetsproduksjon og til dels noe oppvarming av inntaksvannet.

4.2.5 Nye energibærere og fremdriftssystem for fartøy

En rekke ulike tekniske løsninger og alternative drivstoff gir mulighet for å redusere utslipp fra fartøy.

Basert på tidligere analyser av DNV-GL er følgende drivstoffalternativ vurdert som aktuelle for bruk i skipsfart i Norge frem mot 2030 [27]:

- LNG
- Batteri-elektrisk
- Plug-in hybrid/hybridisering
- Hydrogen
- Ammoniakk
- Biodiesel/biogass

Batteri (fullelektrisk), hydrogen og ammoniakk er de alternativene som kan gi lavest klimagassutslipp, hvor alle vil gi nullutslipp fra selve fartøyet (null direkteutslipp). Plug-in hybrid og hybridisering er lavutslippsløsninger som i større eller mindre grad vil gi utslippskutt. Vi har begrenset vurderingen av klimatiltak for fartøy til: el-hybrid/plug-in hybrid, batteri-elektrisk, hydrogen, ammoniakk og biogass[10].

4.2.5.1 Klimagassutslipp og egenskaper ved ulike energibærere

En oppsummering av egenskaper, fordeler og ulemper ved ulike energibærere er inkludert i Vedlegg 4: Energibærere for fartøy.

Såkalte «nullutslippsdrivstoff» kjennetegnes av at de ikke slipper ut klimagasser ved forbrenning/bruk eller ved at det slippes ut biogent CO_2 (biodrivstoff). De kan likevel ha betydelige utslipp i produksjon og distribusjon. For fossile drivstoff som diesel vil utslippene fra bruk av drivstoffet dominere det samlede klimasporet, typisk under 20% av det samlede klimasporet for å brenne en liter diesel komme fra produksjonen av drivstoffet, men det forholdet er på ingen måte gyldig for alle energibærere. Enhver vurdering av klimatiltak med nye energibærere må ta hensyn til livløpsutslippet, det vil si hele veien fra utvinning av råvarer og frem til bruk (cradle-to-grave).

[10] LNG er ikke tatt med i vurderingen av klimatiltak, se Vedlegg 4: Energibærere for fartøy for detaljer.

Begreper som ofte benyttes i slike analyser er:

- Well-to-Tank (WTT): Klimasporet for energibæreren frem til tanken. Altså før bruk.
- Well-to-wheel (WTW): Klimasporet for veien fra råvare til tank og bruk av energibæreren.

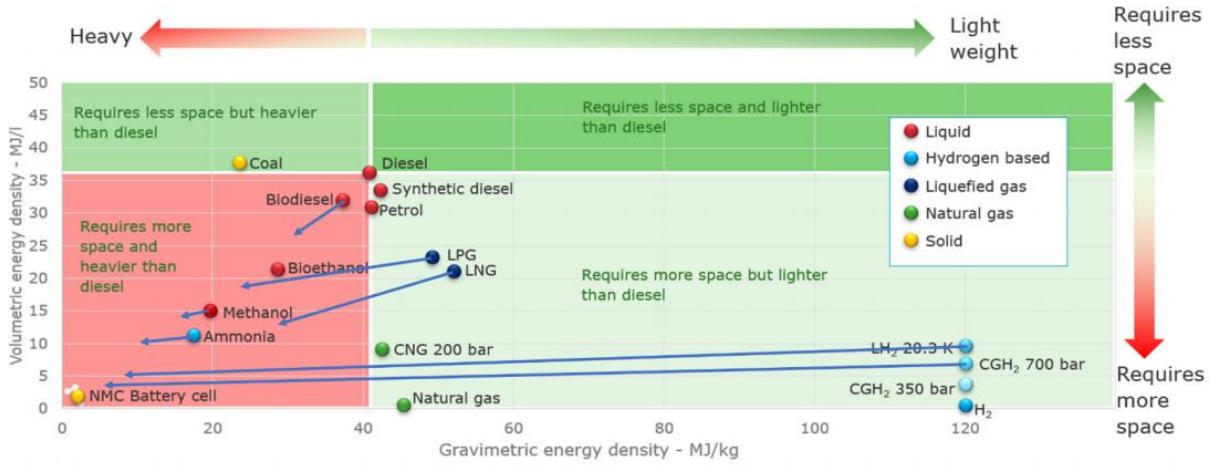
Tabell 18 viser klimasporet til et utvalg energibærere. Vi benytter kun utslippsfaktorer fra bruk i tiltaksanalysen da kun direkte klimagassutslipp vurderes. Som nevnt illustreres effekten av indirekte klimagassutslipp (WTW) i Kap. 4.3.6. Datagrunnlag og beregningsmetoder for utslippsfaktorer er inkludert i Vedlegg 3: Utslippsfaktorer.

Tabell 18 Utslippsfaktorer for energibærere og elektrisitet. Kg CO2e/kWh energi. Utslippsfaktorer for ulike typer energibærere basert på både oppstrøms og nedstrøms akkumulasjon. Utslipp fra ammoniakk (norsk og nordisk) er baserte på at også nitrogenandelen er produsert vha. elektrisitet. WTT betegner oppstrøms utslippsfaktorer, mens bruk betegner direkteutslipp under bruk. Kilde: NCE Maritime Cleantech 2020 [83].

Drivstoff og energibærer	Bruk	Produksjon (Well-to-tank)	Total (Well-to-wheel)
Grønn ammoniakk (norsk)		0,042	0,042
Grønn ammoniakk (nordisk)		0,217	0,217
Blå ammoniakk		0,283	0,283
Grå ammoniakk		0,375	0,375
Grønn hydrogen (norsk)		0,041	0,041
Grønn hydrogen (nordisk)		0,208	0,208
Blå hydrogen		0,201	0,201
Grå hydrogen		0,478	0,478
MGO	0,268	0,043	0,311
Diesel	0,262	0,049	0,311
Biodiesel	0,251	0,07	0,323
HVO (med ILUC)		0,150	0,150
LNG	0,248	0,07	0,318
Elektrisitet (norsk miks)		0,046	0,046
Elektrisitet (nordisk miks)		0,147	0,147
Lokal produksjon (snitt av bølgekraft, sol, vindkraft)		0,025	0,025

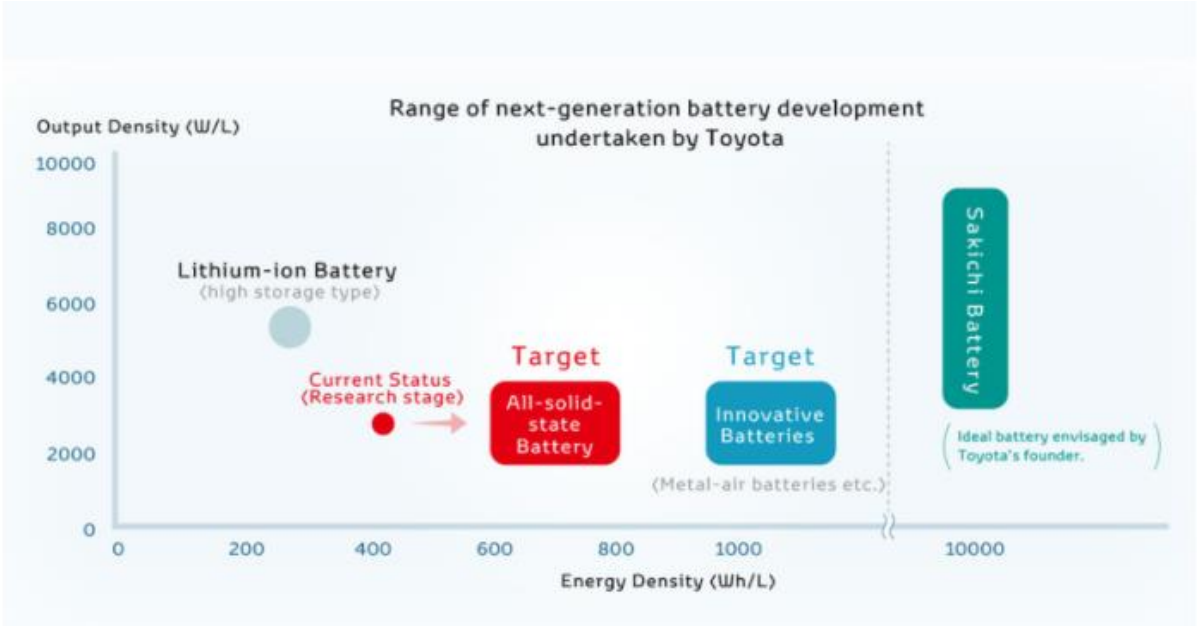
Et viktig aspekt ved bruk av energibærere er energitetthet som forteller hvor mye energilagring en oppnår per vekt- eller volumenhet (gravimetrisk eller volumetrisk energitetthet). Energitettheten er spesielt viktig for mobile applikasjoner siden disse som regel har en begrenset evne til å bære den ekstra vekten/volumet. Figur 23 viser en oversikt over energitettheten til et utvalg energibærere. For marine applikasjoner er ofte volum en større utfordring enn vekt og med diesel som referanse ser vi at alle kandidater som kan ha et lavere klimaspor også krever betydelig mer plass og noen er også tyngre. Noen energibærere har høy gravimetrisk energitetthet, men de nødvendige komponentene

forbundet med bruk og lagring for energisystemet er plasskrevende og tunge. Spesielt når energimengden som skal oppbevares er stor, slik det er med fartøy med lange transportruter. Flytende hydrogen er et eksempel på dette hvor behovet for kryogenisk tank senker den totale gravimetriske tettheten for energisystemet (Blå kuler til nederst til høyre. Pilene viser hvordan energibæreren i satt inn i et energisystem beveger seg fra meget høy gravimetrisk energitetthet til lavere enn diesel). Fartøy med kortere ruter og behov for mindre energilagring vil havne lenger til høyre i figuren siden tyngden av fuelsystemet er mindre ved lavere energibehov.



Figur 23 *Volumetrisk og gravimetrisk energitetthet for ulike energibærere. Hentet fra* [84].

Figur 24 viser eksempler på utviklingen i energitettheten til batterier, dette eksemplet antyder at energitettheten i batterier kan dobles mot 2025. Siden batterier kan og må byttes vil overgang til batteridrift i dag dra nytte av fremtidig utvikling.



Figur 24 *Utviklingsløp for batterier for Toyota Corp. Hentet fra* [85].

4.2.5.2 Aktuelle fremdriftssystem og energibærere for ulike fartøygrupper

En rekke ulike fartøy med ulik operasjonsradius og driftsmønster er i bruk i næringen, og påvirker hvilke teknologier som er aktuelle. For mindre fartøy som går kortere distanser med mulighet for lading er helelektrisk eller hybride fremdriftsløsninger i stor grad teknologisk tilfredsstillende og aktuelt for nybygg de neste tre til fem årene [18], [86]. Dette gjelder også hybrid-hydrogen løsninger på litt lengre sikt [86], [87].

Kystrederiene vurderer at for de større fartøyene som går over store avstander, gjerne uten faste ruter, er hybridløsninger med batteri og diesel, batteri og LNG, samt moderne dieselmotorer med ny avgassrensingsteknologi realistisk innen en 10 års periode. For servicefartøy trekkes også hydrogen frem som mulig. Ammoniakk, hydrogen og fullelektrisk drift er ikke mulig for servicefartøy og brønnbåt i dag. Teknisk modenhet og implementering for større servicefartøy og brønnbåt frem mot 2050 er vurdert i Tabell 20, basert på tidligere studie av DNV-GL [30].

Tabell 19 Aktuelle fremdriftssystem 2021-2030 basert på Kystrederiene (2019).

	Aktuelle fremdriftssystem 2021-2030	
Brønnbåt	Batteri+diesel, batteri +LNG, Diesel med avgassrensing	Ombygging og nybygg
Servicefartøy	Diesel+batteri, Hydrogen+batteri, LNG+batteri, Batteri	Nybygg
Mindre fartøy	Helelektrisk, hybrid (batteri+diesel)	Ombygging og nybygg

Tabell 20 Modenhet og aktualitet for ulike energibærere. Hentet fra Martinsen (2018) [30]*. Prikker angir grad av implementering fra liten grad (*) implementert til generelt implementert (***). Farge angir teknologisk modenhet fra grønt (teknisk godt egnet) til rødt (teknisk ikke egnet).*

	Biodrivstoff	**Ammoniakk/hydrogen**	**Fullelektrisk**	**El-hybrid**
Brønnbåt og servicefartøy < 70 m				
2025	*	*	*	*
2035	**	**	**	***
2050	**	**	**	***
Brønnbåt og servicefartøy 70-150 m				
2025	*	*	*	*
2035	**	**	**	***
2050	**	**	**	***

4.2.5.3 El-hybrid og plug-in hybrid

Hybriddrift har i dag små driftsbegrensninger sammenlignet med båter med dieseldrift. En rekke av fartøyene i havbruksnæringen har i dag en form for hybriddrift, men både form og grad av hybridisering varierer i stor grad. Som en del av Stortingsmeldingen for grønn skipsfart (desember 2020) og klimameldingen (januar 2021) er regjeringens mål:

> *«Regjeringa tek òg sikte på å innføre krav om låg- og nullutsleppsløysingar for servicefartøy i havbruksnæringa»*

Nofima utredet muligheten for innføring av krav om lav- og nullutslippsløsninger for fartøy i næringen juni 2020. Konklusjonen er at kravet til lavutslippsløsninger (hybriddrift) for fartøy i næringen er mulig å innføre på kort sikt. For fartøy med mindre operasjonsradius, som lokalitetsbåter og arbeidsbåter med mindre operasjonsradius kan man oppnå en relativt høy grad av hybridisering. For arbeids-/servicefartøy med større operasjonsradius er en lettere hybridisering realistisk på nåværende tidspunkt.

Rapporten fra Nofima konkluderer med at besparelsene i praktisk bruk synes foreløpig å være mindre enn man hadde forventet. Mens kalkulasjoner har pekt på 70–80 % reduksjon i forbruk, har erfaringene lagt på 25–60 % reduksjon for lokalitetsbåter og arbeidsbåter/servicefartøy med mindre operasjonsradius. For større servicefartøy med videre operasjonsradius vil lettere hybridisering kunne gi besparelser i drivstofforbruk på rundt 18-34% [18]. Aktører som eier servicefartøy med store operasjonsområder anslår 25-32% besparelse i drivstofforbruk basert på en typisk operasjonsprofil for denne typen båter.

For brønnbåt og større havbruksskip er installasjon av landstrøm et tiltak som kan redusere havneutslipp, for eksempel ved lossing på slakteri eller merd gitt at ladestruktur på land er tilgengelig. Tilkobling til landstrøm vil være mest aktuelt ved slakterier og settefiskanlegg hvor båtene ligger lengre perioder. DNV-GLs analyse for klimagassreduksjoner i innenriks skipsfart [27] rapporterer 13% reduksjon i klimagassutslipp ved innføring av landstrøm på alle større havbruksskip/brønnbåt (nye og eksisterende). Disse beregningene baserer seg på en vurdering av klimagassutslipp for utslipp i havn basert på AIS, samt en tilgjengelighetsfaktor for landstrøm som er avhengig av fartøytype.

4.2.5.4 Batterielektrisk

Batterielektrisk er den mest brukte energibæreren i de ulike nullutslippsprosjektene per i dag. Samtidig blir det pekt på at vekten av batteriet er en utfordring, særlig på båter som skal opp i stor fart over lengre havstrekk: *«Energibehovet som beregnes per overfart er signifikant høyere for båter med batterier om bord enn for båter som utelukkende har konvensjonelt dieselmaskineri. Dette skyldes hovedsakelig vekten av batteriene og tilhørende systemer, samt en økning i skrogvekten (båten blir større).»* [88] Og i «Trafikkplan båt» skriv Skyss (2017) [89] at *«Ein reknar med at batterivekta ikkje bør overskride meir enn 30 prosent av båten si vekt. Strekningar under 20 km kan vere relevante for elektrifisering»*

Det er flere konsepter for lading av batterier. Noen systemer baserer seg på kontaktløs overføring av strøm (induktiv lading) ved hjelp av elektromagnetisme gjennom et bestemt sted på skutesida. Dette forkorter tilkoblingstida og lar fartøyet ha flest mulig anløp.

En annen løsning er at batteriet fysisk blir byttet («swapping») ved ankomst, slik som f.eks. skissert i konseptet til Transportutvikling AS m.fl (2019) [90] i klimasatsprosjektet «Utviklingskontrakt for hurtigbåt». Andre konsepter involverer kraner, heiser, tromler og lignende innretninger som kopler til ladestrøm delvis eller helt automatisert. De fleste av disse har en del lengre tilkoblingstid enn ved induktiv lading.

I tilfeller der det er dårlig effektkapasitet i strømnettet kan en likevel få til lading av batterier ved at det blir etablert en batteribank på stedet, som lader seg opp til båten kommer, gjerne over natta dersom det kun er ett daglig anløp. Da vil en kunne dele ladestrømmen over et lengre tidsrom inn på det landfaste batteriet, mens overføringa fra landfast batteri til båt skjer med mye større effekt og hastighet når båten ankommer. Utviding av den elektriske nettkapasiteten i området kan dermed unngås.

Hyppige havnebesøk med mulighet for nok tid til lading er et krav for ren batteridrift og er dermed aktuelt for de mindre fartøyene [91]. For fartøy i havbruksnæringen er ren elektrisk drift aktuelt for mindre fartøy på lokalitet og arbeidsbåter/servicefartøy med liten operasjonsradius. Disse er i drift på dagtid og har mulighet til å lade gjennom natten. Batteridrift omtales som en nullutslippsteknologi, med null utslipp i drift. Hvis man inkluderer utslipp knyttet til strømbehovet for lading varierer utslippskutt avhengig av strømmiksen lagt til grunn. Med en norsk strømmiks reduseres utslipp med 95%, men utslippsreduksjonen er ca. 85% hvis nordisk strømmiks legges til grunn. Høyere energieffektivitet gir samtidig reduksjon i energiforbruket sammenlignet med konvensjonell fremdrift.

Flere prosjekter har den siste tiden demonstrert at ren elektrisk drift av arbeidsbåter er mulig. «MB Astrid Helene» var næringens første rene elektriske arbeidsbåt med en batteripakke på 180 kWh og opererer på lokaliteter 6 nautiske mil fra kysten [92]. Etter første års bruk rapporterer mannskapet at gjenværende batterikapasitet etter endt dag ofte var rundt 50% [18]. ElFrida er eksempel på en plug-in batterihybrid båt, noe som gir mulighet for lading ved arbeid på lokaliteter tilknyttet landstrøm. Dette resulterer i at denne også i praksis driftes helelektrisk. Nova Sea har nylig investert i arbeidsbåter med 330 kWh batteripakke, noe som sikrer god kapasitet til daglig drift [93].

4.2.5.5 Ammoniakk og hydrogen

Ammoniakk og hydrogen er her omtalt under samme bolk fordi at de har noen viktige likehetstrekk (og også mange viktige ulikheter) i et klimatiltaksperspektiv, og det er dessuten hydrogen som er energibærer også i ammoniakk De er begge drivstoffer som kan ha null utslipp i bruk, men som kan produseres på høyst ulikt vis og har derfor stor variasjon i sitt WTT (well-to-tank) klimaspor. Både hydrogen og ammoniakk deles ofte inn i:

- Grønn: produksjon basert på elektrisitet
- Blå: produksjon på fossil energi/råvare med karbonfangst og lagring
- Grå: produksjon på fossil energi/råvare uten karbonfangst og lagring

Denne inndelingen blir ofte benyttet slik at grønt hydrogen/ammoniakk per definisjon er netto null utslipp, men det avhenger helt og holdent av hvordan man bokfører elektrisiteten som er benyttet og hvordan man tar hensyn til alt arbeidet i distribusjon av energibæreren. For eksempel er energieffektiviteten i en kjede elkraft-vannelektrolyse-flytendegjøring-brenselcelle-motor-propell så lav som 25-30%. Altså når mindre enn 25-30% av energimengden i elkraften frem som bevegelse i

propellen. Dette viser at netto klimaeffekt er helt avhengig av hvordan elektrisiteten bokføres. Dersom det uomtvistelig er energi som ellers hadde forsvunnet er regnskapet ubetinget positivt. Men idet elektrisiteten også kan utnyttes på andre vis blir regnskapet vanskeligere. Det er også rom for å spørre om en energikjede med 80% tap kan defineres som bærekraftig i et langt tidsperspektiv når man ser de miljømessige og sosiale omkostningen av mange fornybare energikilder. Dersom dette tapet føres opp mot nødvendig utvidelse av det elektriske nettverket for å overføre elektrisitet fra et område med stort energioverskudd til forbrukere i et område med etterspørsel, kan likevel periodisk produksjon av hydrogen være bærekraftig.

Flytende ammoniakk er et drivstoffalternativ som har fått økende oppmerksomhet de siste årene som følge av potensialet for null direkteutslipp av klimagasser under komplett forbrenning. For fartøy i havbruksnæringen er ammoniakk aktuelt for de større fartøyene hvor muligheten for elektrifisering er begrenset. Ammoniakk har noe lavere effektivitet enn hydrogen i forbrenningsmotorer, men like god eller bedre effektivitet i brenselcelle, og lavere energitetthet enn flytende fossilt drivstoff. Et interessant moment er at flytende ammoniakk kan benyttes direkte i forbrenningsmotorer; det kan også lagres flytende, men trenger da nedkjøling til -33 C°.

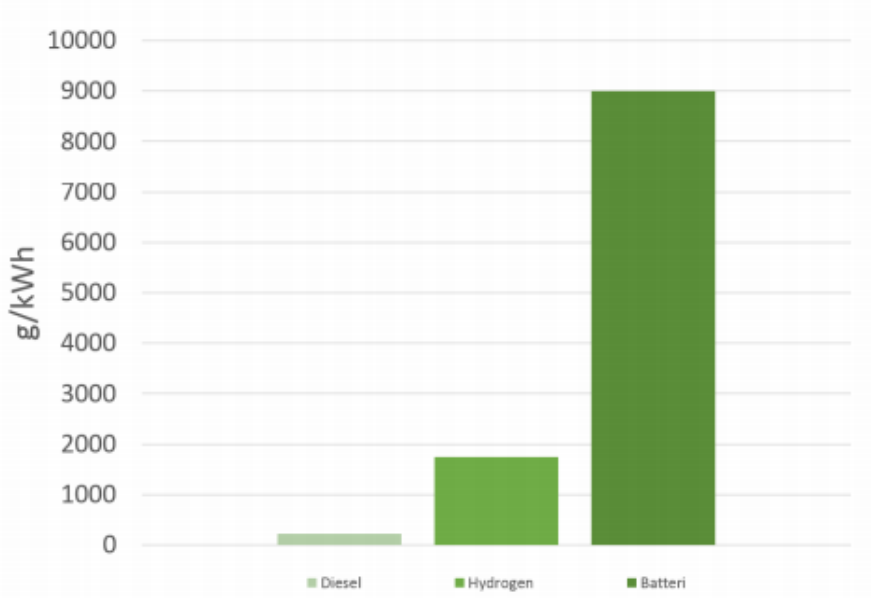
Vi legger til grunn at ammoniakk benyttes i brenselcelle (Solid oxide fuel cell)[11] og fremstilles med elektrisitet som energikilde. Klimagassutslipp reduseres til null for driftsfasen, mens hvis produksjonsutslipp tas med vil utslippsreduksjonen være på hhv. 95% eller 65% avhengig av om norsk eller nordisk strømmiks benyttes for beregninger.

Ammoniakk produsert med naturgass som utgangspunkt vil gi 6-7 ganger høyere utslipp også dersom CCS-teknologien lykkes. Vi har derfor valgt å benytte grønn ammoniakk produsert ved hjelp av elektrolyse i tiltaksanalysen.

Hydrogen benyttet i brenselceller (Proton exchange membrane fuel cell, PEMFC) gjør at man drar fordel av den høyere energieffektiviteten sammenlignet med en forbrenningsmotor (25-30% for forbrenningsmotor mot 60% utnyttelsesgrad av energien i hydrogenet i brenselscelle). Utslippene fra driftsfasen reduseres til null ved overgang til hydrogendrift, men produksjon og distribusjon kan medføre en del klimagassutslipp. Hvis produksjonsutslipp tas med vil utslippsreduksjonen være på hhv. 90% eller 60% avhengig av om norsk eller nordisk strømmiks benyttes for beregninger.

Hydrogen er ikke like energieffektiv som å benytte batteri som energibærer direkte, men hydrogen har en bedre energitetthet per i dag som gir lengre rekkevidde og en kan fylle tanken raskt.

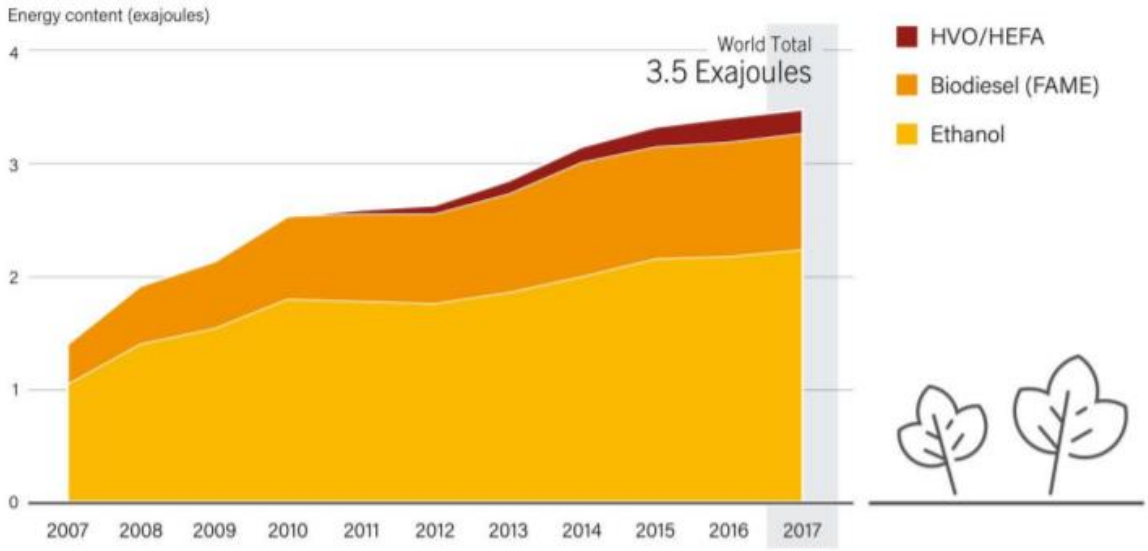
[11] Virkningsgrad SOFC: 70%



Figur 25 Vekt per kWh levert til drivaksel for diesel-, hydrogen- og batteridrift. Kilde: Brødrene Aa m.fl., 2019.

4.2.5.6 Biogass/biodrivstoff

Siden rene biodrivstoff inngår i det korte karbonkretsløpet, blir ikke forbrenning av disse regnet som klimadrivende utslipp. Etterspørselen er stor og økende på verdensmarkedet, mens produksjonen er begrenset.



Figur 26 Global produksjon av biodrivstoff.
Kilde: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1420/m1420.pdf.

Det er også knyttet kontroverser til produksjon og bruk av biodrivstoff både som følge av at det legger beslag på landområder som kunne vært brukt til produksjon av fødevarer (iLUC effects), avskoging av viktig regnskog og fordriving av urfolk. Denne problematikken kan unngås dersom det bare blir brukt avfall fra landbruket til produksjon av biodrivstoff, såkalt 4. generasjons drivstoff.

Biogass er et alternativ til andre biodrivstoff. Oppdrettsnæringen har muligheten for å produsere biogass basert på slam fra settefiskproduksjon, som videre kan benyttes for transport eller oppvarming. Det er hovedsakelig slam fra settefiskproduksjon som i dag har størst potensial for biogassproduksjon da saltinnholdet i slam fra saltvann kan forhindre biogassprosessen [94]. Biogass fra slam er i dag benyttet for oppvarming av produksjonsvann ved enkelte settefiskanlegg, men kan også potensielt erstatte fossile energibærere. En studie fra Biogass Oslofjord anslår et betydelig energipotensial basert på slam fra settefisk om de optimistiske banene for fremtidig vekst i næringen slår til (50-120 GWh med dagens settefiskproduksjon, opptil 600 GWh ved femdobling av produksjon og større smolt) [94].

Potensialet for utslippskutt ved produksjon av biogass fra slam er størst dersom det kan erstatte fossile energibærere, for eksempel på fartøy eller tungtransport, men vurdering av netto klimaeffekt må ta hensyn til innsatsen (transport og prosessering) som må til på veien fra slam og frem til drivstoff. Dette må inkludere eventuelle utslipp av metan og hvordan biorester etc. avhendes. Det er ikke mulig å si at lokal bruk (lukket sløyfe) er best, men eventuelt redusert lagringstid (metanutslipp), inntørking og transportbehov vil være viktige klimaaspekter. Videre vil det være viktig å vurdere utnyttelsen av slam som biogass sammenlignet med andre alternativ (for eksempel som næringssubstrat i dyrking). Med bakgrunn i de kompliserte effektene ved å beregne klimagassutslipp ved biogass basert på slam har vi utelukket biogass (og biodrivstoff) fra tiltaksanalysen.

4.3 Potensialet for utslippsreduksjoner for næringen frem mot 2030 og 2050

Tiltakene beskrevet i Kap 4.2 er i dette delkapittelet satt sammen til ulike baner for klimatiltak, blant annet basert på aktualiteten av hvert tiltak under ulike forutsetninger. Sammen med baner for fremtidig produksjon og utslippsfaktorer gjør dette at utslipp og energibruk kan vurderes på sektornivå i et perspektiv frem mot 2030 og 2050 (se også Kap 4.1). Tre baner for klimatiltak er vurdert:

- **Referansebane.** Dagens status for energibruk og teknologi i næringen fortsetter frem mot 2030 og 2050. Det vil si at energibruk og utslipp vil øke i takt med økning i årlig biomasseproduksjon. Detaljert informasjon om i Vedlegg 2: Inndata for tiltaksanalyse.

- **Elektrifisering og hybridisering**. Siste årenes klimatiltak gjennomført av de mest ambisiøse aktørene i næringen adopteres blant alle aktører i alle ledd av verdikjeden. Dette omfatter elektrifisering av fôrflåter og mindre fartøy, samt hybridisering av større fartøy.

- **Elektrifisering og nye energibærere.** Forutsetter at nye energibærere som hydrogen og ammoniakk blir kommersielt tilgjengelig om 10-15 år for fartøy hvor elektrifisering ikke er mulig. Tiltakene omfatter elektrifisering av fôrflåter (også off-shore) og mindre fartøy, samt hydrogen og ammoniakk for større fartøy.

I tillegg er potensialet for energieffektivisering vurdert.

De tre banene for klimatiltak kan sies å representere ytterpunkter for mulige ambisjonsnivåer for klimatiltak. Referansebanen forutsetter at ingen tiltak gjennomføres. Den andre banen «elektrifisering og hybridisering» forutsetter at tiltak med elektrifisering av fôrflåter og fartøy iverksettes i stor grad for hele næringen. Den siste banen «elektrifisering og nye energibærere»

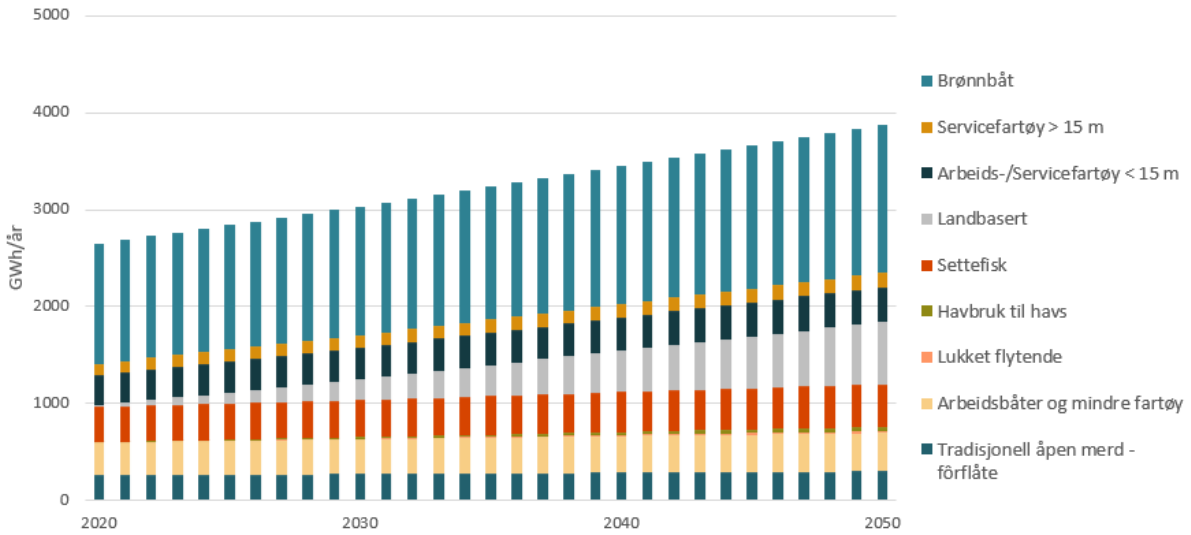
beskriver omfattende tiltak også for større fartøy hvor nye energibærer kreves for å oppnå betydelige utslippskutt.

4.3.1 Scenario 1: Referansescenario

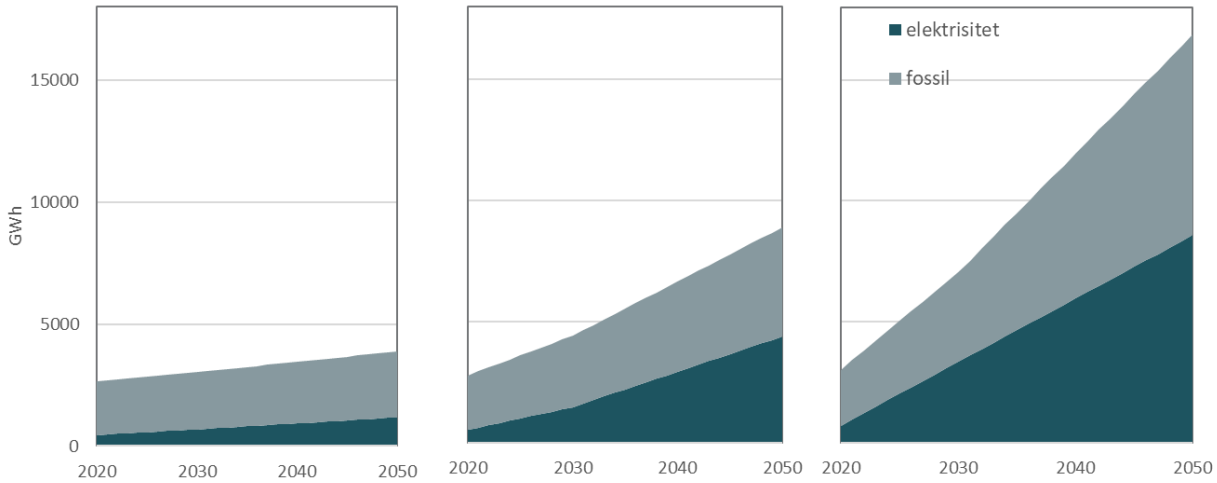
Referansescenarioet legger til grunn at dagens status for næringen fortsetter frem mot 2030, uten ytterligere tiltak. Dette vil si at dagens andel av lokaliteter tilknyttet landstrøm og andelen fartøy med alternative fremdriftsteknologier holdes på dagens nivå.

Figur 27 viser fremskrevet utvikling i energibruk i næringen under basis-banen for fremtidig vekst. Figuren viser sluttbruket av energi, uavhengig av energibærer. Som vist forventes det, under forutsetningene antatt i analysen, at fremtidig energibruk frem mot 2030 vil være dominert av brønnbåtflåten. Økt produksjon av matfisk på land vil påvirke energibruken i sektoren betydelig, tross den relativt lave andelen av total biomasseproduksjon. Dette vil medføre et høyt elektrisitetsbehov. Under basis-banen for fremtidig utvikling i produksjon vil energibruken i landbasert oppdrett av matfisk stå for hhv. 20% og 40% av total energibruk i 2030 og 2050. For det optimistiske banen for fremtidig utvikling i produksjon forutsettes det en større andel landbasert produksjon. Dette vil medføre at elektrisitetsbruken i landbasert oppdrett står for en enda større andel av den totale energibruken med 36% i 2030 og 40% i 2050. Figur 28 viser forbruket av elektrisitet og fossile drivstoff under ulike baner for fremtidig vekst.

Til sammenligning forventes energibruk ved off-shore merder og lukkede flytende merder å bidra relativt sett lite til det totale energiforbruket i næringen. Her må det understrekes at tall for energibruk ved disse teknologiene er basert på estimat for fremtidig energibehov, og kan antakeligvis være en del lavere enn hva man vil se i faktisk produksjon. Samtidig vil produksjon både ved off-shore og lukkede flytende merder ha behov for ulike fartøy. I hvilken grad bruken av fartøy og dermed energibehov endres ved produksjon lengre til havs er høyst usikkert.



Figur 27 Fremskrevet utvikling i forventet energibruk (med dette menes innfyrt energi) fra næringen for basis vekst i perioden 2021-2030.

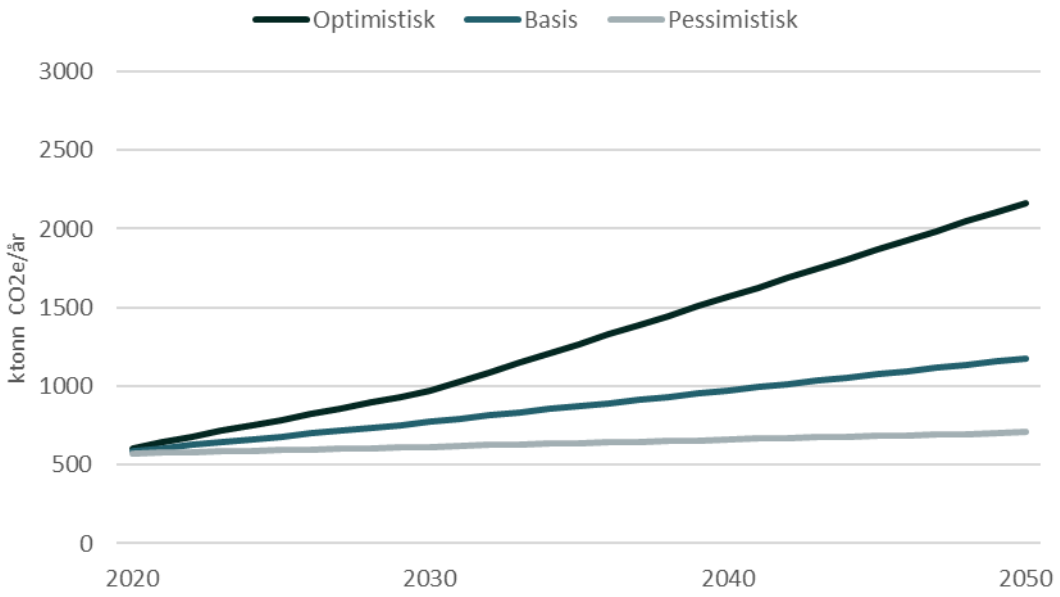


Figur 28 Forbruk av elektrisitet og fossil energi (hovedsakelig diesel og MGO) under referansescenariet for ulike baner for vekst: pessimistisk, basis, optimistisk

Som vist i Figur 28 og Figur 30 er framskrivninger for energibruk og klimagassutslipp svært avhengig av hvilken bane for vekst som legges til grunn. I basis-banen for produksjonsvekst er økningen i klimagassutslipp rundt 30% økning i 2030 og doblet i 2050. I den optimistiske banen for vekst er energibruk doblet i 2030 og femdoblet på grunn av produksjonsvekst. Forventet økning i energibruk er drevet av økt produksjon, og i stor grad produksjon i landbaserte anlegg. Dette gjør at økningen i klimagassutslipp vil være mindre enn økningen i energibruk, da en stor del av energibruken vil være elektrisitet benyttet i landbaserte anlegg. Det pessimistiske scenariet gir en mer beskjeden økning både i energibruk og klimagassutslipp fremover, med 8% økning i 2030 og rundt 30% økning i 2050. Figur 29 viser klimagassutslipp under ulike baner for fremtidig vekst.

Tabell 21 Endringer i energibruk og klimagassutslipp i 2030 og 2050 sammenlignet med dagens status (2021) i referansescenarioet.

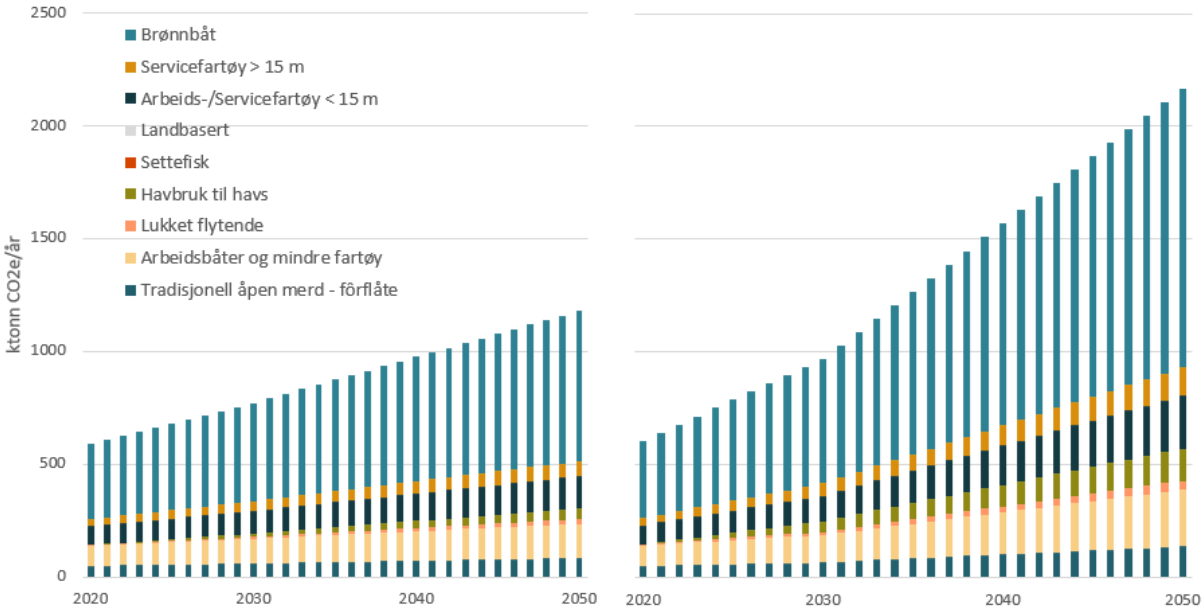
Bane for produksjonsvekst	**Energibruk**		**Klimagassutslipp**	
	2030	2050	2030	2050
Optimistisk	+106%	+394%	+51%	+237%
Basis	+50%	+203%	+27%	+94%
Pessimistisk	+13%	+44%	+6%	+22%



Figur 29 Estimerte klimagassutslipp fra produksjon av laks frem mot 2040 og 2050 under ulike baner for fremtidig produksjon.

Fordelingen av klimagassutslipp for ulike segmenter viser at brønnbåter fortsatt vil dominere klimagassutslipp fra næringen, som vist av Figur 30. Under forutsetningen om at brønnbåtaktiviteten vil ligge på dagens nivå også for fremtidig produksjon, vil brønnbåtflåten stå for den største andelen av klimagassutslipp fra næringen i hele perioden frem mot 2050. DNV-GLs analyse for innenriks skipsfart [27] forutsetter en 21% økning i utslipp fra brønnbåter i perioden 2018-2030. Til sammenligning gir vår referansebane 8% økning i utslipp fra brønnbåter i samme periode.

Tross det høye elektrisitetsbehovet for landbasert oppdrett er klimagassutslippene lave. Dette vil derimot være svært avhengig av utslippsfaktoren som legges til grunn for strømmiksen. Forutsettes en norsk strømmiks vil den landbaserte produksjonen føre til høyere klimagassutslipp fra energibruk enn forventet utslipp for produksjon til havs eller i lukkede flytende merder.



Figur 30 Fremskrevet utvikling i direkte klimagassutslipp i næringen for basis-banen for vekst (venstre) og den optimistiske banen (høyre).

I den optimistiske banen for vekst er det forutsatt en betydelig økning i produksjon både for havbruk til havs, landbasert produksjon og lukkede flytende merder. Dermed vil klimagassutslipp fra nye produksjonsformer utgjøre en økende andel av totale klimagassutslipp frem mot 2050. Utslippene fra brønnbåtflåten vil i 2050 fortsatt utgjøre rundt halvparten av de totale utslippene fra næringen. I det pessimistiske banen er det fremskrevet liten vekst i produksjon, både i åpne merder og for alternative produksjonsteknologier. Fordelingen av klimagassutslipp i næringen vil dermed være relativt lik som i dagens situasjon.

4.3.2 Scenario 2: Elektrifisering og hybridisering

Tiltakene som inkluderes i denne banen for klimatiltak reflekterer i stor grad at de siste årenes klimatiltak gjennomført av de mest ambisiøse aktørene i næringen adopteres blant alle aktører i alle ledd av verdikjeden. Dette inkluderer elektrifisering av fôrflåter og fartøy på lokalitet, samt hybridisering av større servicefartøy og brønnbåter. Dette utelukker blant annet hydrogen, ammoniakk og fullelektrifisering på større brønnbåter og servicefartøy (gitt vurderinger av teknisk modenhet og innfasing i Tabell 20).

Følgende tiltak er vurdert:

- **Tiltak 1**: **Gradvis innfasing av landstrøm og batteripakker på lokaliteter i sjø**. Antar 5% årlig økning i landstrøm og batteripakker (fra 2021). Basert på tidligere analyser [12], [13] antas en maksimal landstrømandel på 80% og 20% hybride batteripakker for lokaliteter.

- **Tiltak 2: Gradvis elektrifisering for fartøy tilknyttet lokaliteter i sjø.** 5% årlig økning i mindre fartøy (mindre båter, personaltransport/transport og arbeidsbåter) med helelektrisk drift (fra 2021).

- **Tiltak 3**: **Gradvis innfasing av hybrid fremdrift for mindre servicefartøy som opererer i et større område.** 10% årlig økning i mindre servicefartøy med hybrid fremdrift (fra 2021).

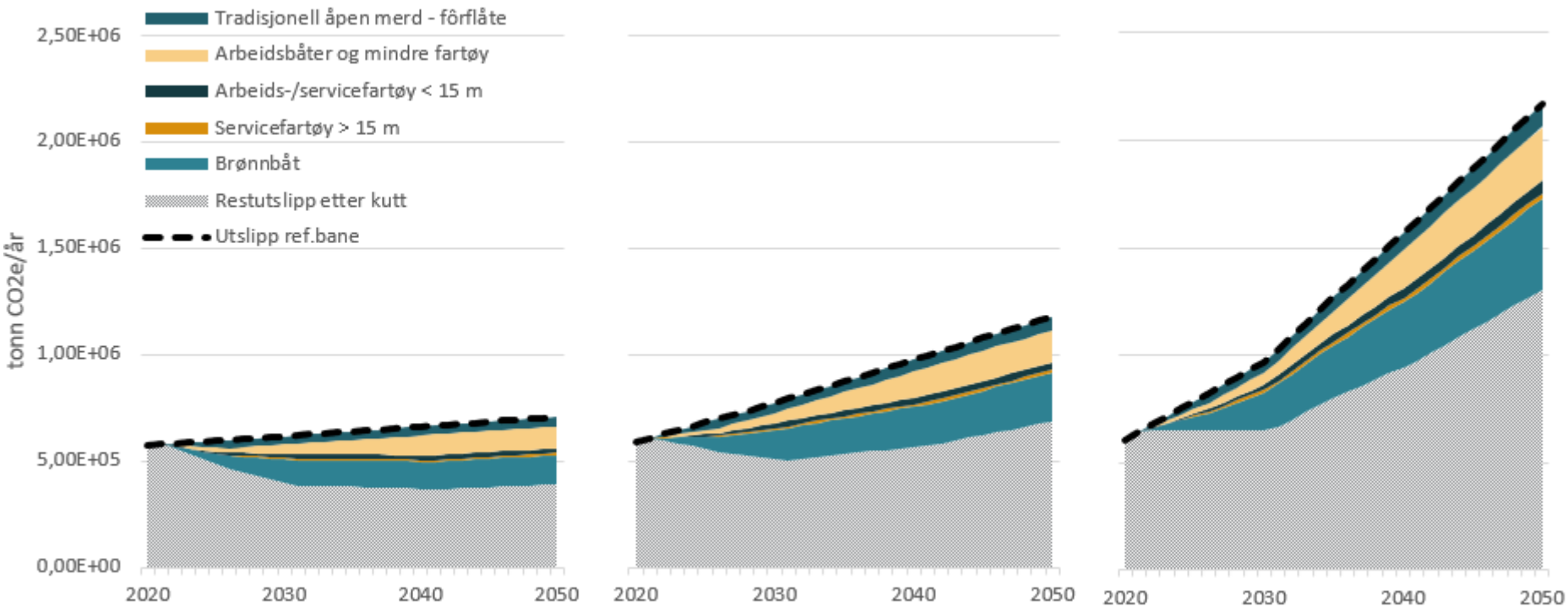
- **Tiltak 4: Gradvis innfasing av hybride fremdriftssystem for større servicefartøy og brønnbåt.** 10% årlig økning i plug-in hybrid /hybride fartøy (fra 2021).

Figur 31 viser klimagassutslipp sammenlignet med referansescenarioet under ulike fremtidige baner for vekst. Summen av tiltakene beskrevet vil gi hhv. 30% og 40% kutt i årlige klimagassutslipp i 2030 og 2050 sammenlignet med referansen. Akkumulert gir dette utslippskutt på 1,4 millioner tonn CO2e. i perioden 2021-2030 og 9,4 millioner tonn CO2e. i perioden 2021-2050 under basis-banen for vekst, noe som ligger 20% og 40% under referansescenarioet i samme perioder.

Som vist av Figur 31 vil mye av potensialet for utslippskutt være hentet ut i perioden frem mot 2030 da det er forutsatt en rask implementering av tiltak som i stor grad er tilgjengelige i dag. Hybridisering (med lademulighet) av brønnbåt og større servicefartøy vil stå for de største utslippskuttene. Det er her lagt til grunn en utslippsreduksjon på i overkant av 30%, noe som innebærer høy batterikapasitet/store batteri [27] med betydelig høyere kapasitet enn hva som er installert i brønnfartøy i dag (i stor grad under 1000 kWh). Elektrifisering av fartøy tilknyttet lokalitet gir de nest høyeste utslippsreduksjonene i perioden.

Tabell 22 Effekt av tiltak vist som summen av utslippskutt i millioner tonn CO2e i perioden 2021-2030 og 2021-2050. Basis-scenario for produksjonsvekst

Tiltak	**Akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2030** Millioner tonn CO2e	**Akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2050** Millioner tonn CO2e
Tiltak 1: Gradvis innfasing av landstrøm og batteripakker på lokaliteter i sjø	0,3	1,4
Tiltak 2: Gradvis elektrifisering for fartøy tilknyttet lokaliteter i sjø	0,2	2,6
Tiltak 3: Gradvis innfasing av hybrid fremdrift for mindre servicefartøy	0,1	0,7
Tiltak 4: Gradvis innfasing hybride fremdriftssystem for større servicefartøy og brønnbåt	0,7	4,7
Alle tiltak	1,4	9,4



Figur 31 Klimagassutslipp og utslippskutt per tiltak for hhv. pessimistisk, basis og optimistisk produksjonsvekst. Stiplet linje viser klimagassutslipp for referansescenarioet, mens grått område viser resterende utslipp etter tiltak.

Bane for vekst	Utslippskutt 2021-2030 sammenlignet med referansebane (%-vis reduksjon i 2030 i parentes)	Utslippskutt 2021-2050 sammenlignet med referansebane (%-vis reduksjon i 2050 i parentes)
Pessimistisk	-19% (-35%)	-36% (-45%)
Basis	-20% (-34%)	-35% (-42%)
Optimistisk	-19% (-33%)	-35% (-40%)

4.3.3 Scenario 3: Elektrifisering og nye energibærere

Tiltakene inkluderer elektrifisering av lokaliteter og fartøy på lokalitet. I tillegg antas det elektrifisering (landstrøm eller egenproduksjon av kraft) av merder for havbruk til havs. Videre forutsettes det at hydrogen og ammoniakk som energibærere blir tilgjengelig for servicefartøy og brønnbåter. Dette gjør at man oppnår høyere utslippskutt enn i scenarioet hvor kun hybridisering er innført for servicefartøy og brønnbåt. I motsetning til i Klimakur 2030 legges det til grunn at ammoniakk ikke vil være tilgjengelig før i 2035.

Følgende tiltak er vurdert:

- **Tiltak 1**: **Gradvis innfasing av landstrøm og batteripakker på lokaliteter i sjø**. Antar 5% årlig økning i landstrøm og batteripakker (fra 2021). Basert på tidligere analyser [12], [13] antas en maksimal landstrømandel på 80% og 20% hybride batteripakker for lokaliteter.

- **Tiltak 2**: **Egenproduksjon av kraft for havbruk til havs.** Antar 5% årlig økning i egenproduksjon og/eller elektrisk kraftforsyning med første år 2021.

- **Tiltak 3: Gradvis elektrifisering for fartøy tilknyttet lokaliteter i sjø.** 5% årlig økning i mindre fartøy (mindre båter, personaltransport/transport og arbeidsbåter) med helelektrisk drift (fra 2021).

- **Tiltak 4: Gradvis innfasing av hybrid fremdriftssystem for mindre servicefartøy som opererer i et større område.** 10% årlig økning i mindre servicefartøy med hybrid fremdrift (fra 2021). Innfasing av hydrogen fra 2028[12], med 5% årlig vekst.

- **Tiltak 5: Gradvis innfasing av plug-in hybrid fremdriftssystem for brønnbåt og større servicefartøy frem mot 2035 og ammoniakk fra 2035.** Forutsetter 10% årlig vekst i hybridisering av fartøy (fra 2021). Deretter 5% årlig vekst i fartøy med ammoniakk og brenselceller på gjenværende fartøy.

Figur 32 viser klimagassutslipp sammenlignet med referansebanen under ulike baner for vekst. Summen av tiltakene gir hhv. nærmere 40% og 90% kutt i årlige klimagassutslipp i 2030 og 2050. Akkumulert gir dette utslippskutt på 1,1 millioner tonn CO2e i perioden 2021-2030 og 14,4 millioner tonn CO2e.i perioden 2021-2050 under basis-scenariet for vekst, noe som ligger 20% og 55% under referansebanen i samme perioder.

Utslipp vil være betydelig redusert sammenlignet med dagens nivå. Gjenstående klimagassutslipp i 2050 avhenger av banen for produksjonsvekst som legges til grunn. Resterende klimagassutslipp vil

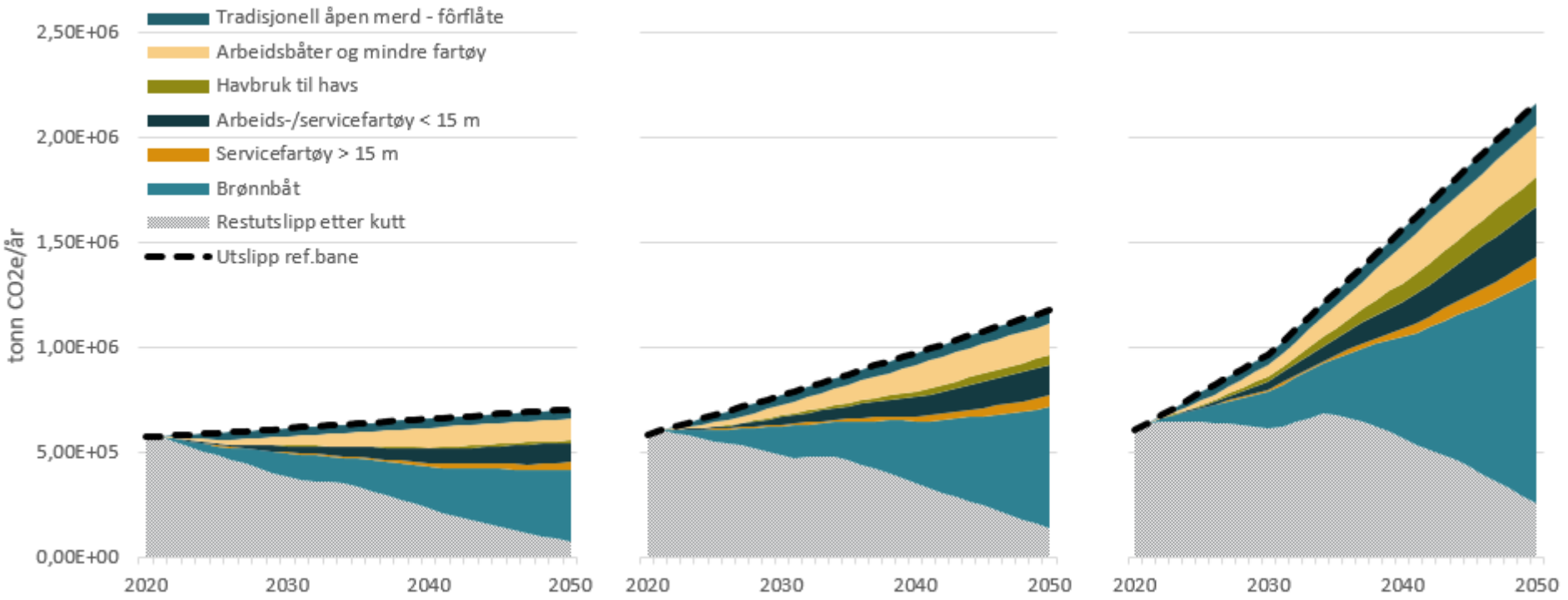
[12] Antakelse basert på at prosjektet på hydrogen-drevet arbeidsbåt støttet av Enova med planlagt sjøsetting 2 2023/2024 lykkes og legger til rette for innfasing av flere.

hovedsakelig skyldes dieselbruk på hybride fôrflåter og noe fossilt drivstoff for større servicefartøy og brønnbåter som ikke har implementert ammoniakk og brenselcelle (gjelder 20% av flåten).

Brønnbåter vil stå for de klart største utslippskuttene. Ammoniakk som drivstoff gjør at klimagassutslippene kan reduseres betydelig i perioden 2035-2050. Resterende utslippskutt vil være likt fordelt, hvor elektrifisering av fartøy på lokalitet og servicefartøy bidrar omtrentlig i like stor grad.

Tabell 23 Effekt av tiltak vist som summen av utslippskutt i perioden 2021-2030 og 2021-2050. Basis-scenario for produksjonsvekst

Tiltak	**Akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2030** Millioner tonn CO2e	**Akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2050** Millioner tonn CO2e
Tiltak 1: Gradvis innfasing av landstrøm og batteripakker på lokaliteter i sjø	0,3	1,4
Tiltak 2: Egenproduksjon av kraft for havbruk til havs	0,03	0,6
Tiltak 3: Gradvis elektrifisering for fartøy tilknyttet lokaliteter i sjø	0,24	2,6
Tiltak 4: Gradvis innfasing av hybrid fremdriftssystem for mindre og større servicefartøy som opererer i et større område. Hydrogen fra 2028	0,14	2,0
Tiltak 5: Gradvis innfasing av plug-in hybrid fremdriftssystem for brønnbåt frem mot 2035 og ammoniakk fra 2035.	0,75	7,8
Sum	1,46	14,44



Figur 32 Klimagassutslipp og utslippskutt per tiltak for hhv. pessimistisk, basis og optimistisk produksjonsvekst. Stiplet linje viser klimagassutslipp for referansescenarioet, mens grått område viser resterende utslipp etter tiltak.

Bane for vekst	Utslippskutt 2021-2030 sammenlignet med referansebane (%-vis reduksjon i 2030 i parentes)	Utslippskutt 2021-2050 sammenlignet med referansebane (%-vis reduksjon i 2050 i parentes)
Pessimistisk	-21% (-38%)	-52% (-90%)
Basis	-21% (-38%)	-54% (-88%)
Optimistisk	-22% (-37%)	-58% (-88%)

4.3.4 Energieffektivisering

Tiltakene som inkluderes omfatter energieffektivisering som gir reduksjon i energibruk. Hvor store reduksjoner i energibruk på sektornivå som er mulig å oppnå som følge av energieffektivisering og energiledelse er svært usikkert og vil variere betydelig, og det understrekes at resultatene vist her kun gir et grovt anslag.

Følgene tiltak er inkludert:

- **Tiltak 1: Energieffektivisering på fôrflåter** ved energiledelse, installasjon av varmepumpe hvis aktuelt, lavere trykk for fôrblåsere eller vannbårenfôring. Forutsetter at energibruk i snitt kan reduseres med 25% hvis alle tiltak implementeres (lavere trykk for fôrblåsere og vannbåren fôring vil være gjensidig utelukkende tiltak).

- **Tiltak 2: Energieffektivisering for landbaserte anlegg** ved driftsoptimalisering og mer energieffektivt design av nye anlegg enn dagens anlegg. Totalt er det vurdert at 30% reduksjon i energibruk er oppnåelig i snitt for både fremtidige settefiskanlegg og landbaserte anlegg for matfisk.

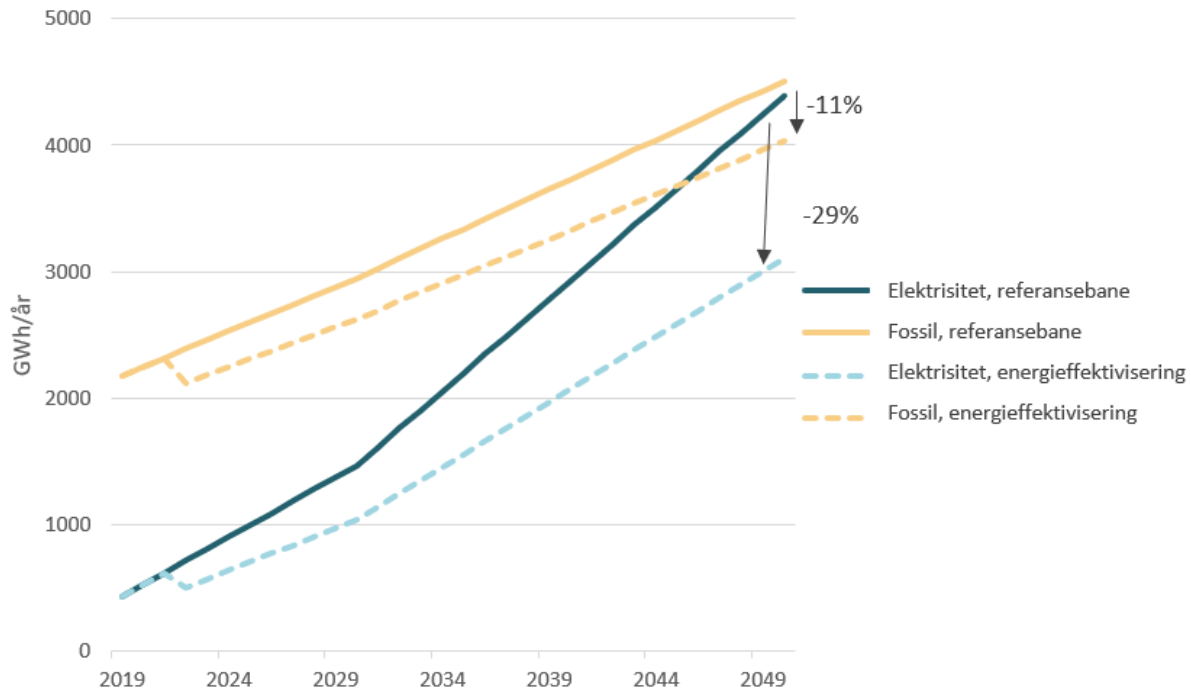
- **Tiltak 3: Energieffektivisering for fartøy** ved energiledelse, fartsreduksjon og ruteoptimalisering der hvor dette er mulig. Svært usikkert potensial, men gjennom intervju med næringsaktører fremhever mange et relativt stort potensial. Legger til grunn 10% reduksjon i energibruk for alle fartøy.

Som vist av Tabell 24 er de akkumulerte utslippskuttene fra energieffektiviseringstiltak relativt lave sammenlignet med tidligere analyserte tiltak. Samlet sett gir likevel energieffektivisering en gevinst i størrelsesorden med tidligere enkelttiltak vurdert (eksempelvis elektrifisering av fôrflåter). Energieffektivisering på fôrflåter og fartøy er beregnet til å gi rundt 10% reduksjon i klimagassutslipp. Hvis man også tar hensyn til strøm ikke er utslippsfritt vil potensialet for utslippskutt gjennom energieffektivisering øke da elektrisitetsbruk i landbasert oppdrett også gir utslipp. Utslippsreduksjonen øker da til 12-14%.

Tabell 24 Effekt av tiltak vist som akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2030 og 2021-2050. Basis-scenario for produksjonsvekst.

Tiltak	**Akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2030** Millioner tonn CO2e	**Akkumulerte utslippskutt i perioden 2021-2050** Millioner tonn CO2e
Tiltak 1: Energieffektivisering på fôrflåter	0,13	0,5
Tiltak 2: Energieffektivisering for landbaserte anlegg	-	-
Tiltak 3: Energieffektivisering for fartøy	0,57	2,3
Sum	0,7	2,8

Reduksjonen i årlig energibruk er vist i Figur 33 for basis-banen for vekst, med 29% reduksjon i elektrisitet behov og 11% reduksjon i fossil energibruk. Effekten av energieffektivisering blir størst i scenariene som legger til grunn betydelig vekst i produksjonsvolum, særlig på land. En stor del av det nye elektrisitetsbehovet vil komme i forbindelse med fremskrevet økning i landbasert produksjon. Dette vil medføre et betydelig kraftbehov på flere TWh årlig. I den optimistiske banen for vekst beregnes samlet energibruk for landbasert oppdrett til 7 TWh. Til sammenligning er det totale kraftbehovet for elektrifisering av fartøy og lokaliteter beregnet til å maksimalt være rundt 0,5-1 TWh. Energieffektivisering og utviklingen av nye teknologier for reduksjon i energibruk ved landbaserte anlegg, både settefisk og matfisk, er dermed en vesentlig faktor for å redusere det totale kraftbehovet fra oppdrettsnæringen fremover.



Figur 33 Årlig energibruk i næringen for referansebanen sammenlignet med scenariet for maksimal energieffektivisering. Basis vekst.

I tillegg til reduksjoner i energiforbruk legger energieffektivisering til rette for at implementering av en rekke andre tiltak vil være lettere. Tidligere analyse av potensialet for elektrifisering av fôrflåter har vist at energieffektivisering er nødvendig for å muliggjøre landstrømtilkobling [29]. Dette vil også være nødvendig for at lokal produksjon av kraft skal være mulig på lokaliteter, og for en rekke landbaserte lokaliteter med stort produksjonsvolum. Tilsvarende vil reduksjon av gangfart og dermed reduksjon i energibruk være hensiktsmessig for elektrifisering av fartøy, hvor rekkevidden kan være utfordrende.

4.3.5 Oppsummering av tiltaksanalysen

Scenarioanalysen viser effekten og tidspunkt for innfasing av ulike klimatiltak på sektornivå. Med tanke på næringens bidrag opp mot nasjonale og internasjonale klimamål er 2030 og 2050 naturlige delmål. Vi oppsummerer i dette kapittelet de viktigste funnene fra scenarioanalysen og utslippskutt i 2030 og 2050 under ulike scenarioer for produksjonsvekst og klimatiltak.

Tabell 25 oppsummerer status for næringen i 2030 og 2050 under de ulike banene for klimatiltak.

Tabell 25 Status for næringen i 2030 og 2050 under ulike scenarioer for elektrifisering og innfasing av nye energibærere.

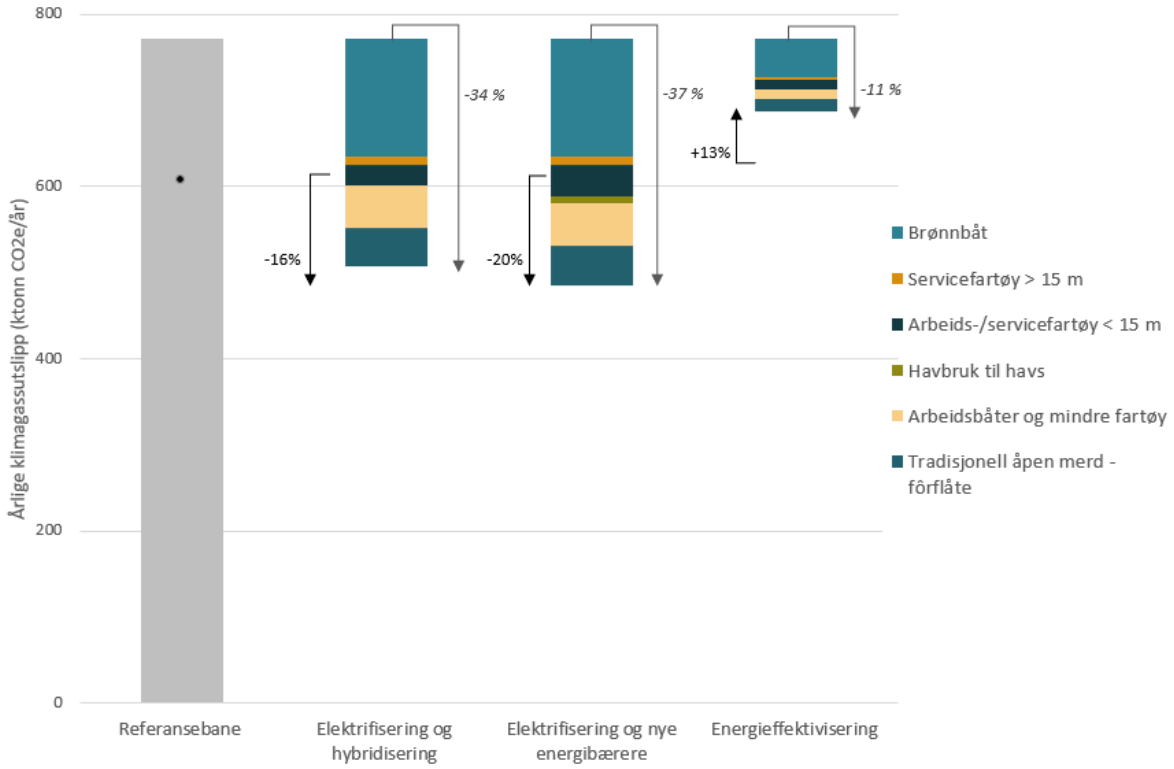
Bane for klimatiltak	Status i 2030	Status i 2050
Referansebane	Dagens situasjon (55% landstrøm for fôrflåter, få hybride og elektriske fartøy)	Dagens situasjon (55% landstrøm for fôrflåter, få hybride og elektriske fartøy)
Elektrifisering og hybridisering	Landstrømtilkobling på 80% av lokaliteter, hybrid løsning på resterende. 45% av fartøy på lokalitet helelektrisk. 90% av brønnbåter og servicefartøy hybrid/plug-in hybrid.	Landstrømtilkobling på 80% av lokaliteter, hybrid løsning på resterende. Alle fartøy på lokalitet helelektrisk, resterende fartøy hybrid/plug-in hybrid.
Elektrifisering og nye energibærere	Landstrømtilkobling på 80% av lokaliteter, hybrid løsning på resterende. Elektrisk forsyning for 45% av off-shore merder. 45% av fartøy på lokalitet helelektrisk. Hybridfremdrift på servicefartøy, samt noen med brenselcelle og hydrogen. 90% av brønnbåter og større servicefartøy hybrid/plug-in hybrid.	Landstrømtilkobling på 80% av lokaliteter, hybrid løsning på resterende. Elektrisk forsyning for alle offshore-merder. Alle fartøy på lokalitet helelektrisk. Brenselcelle og hydrogen for alle servicefartøy Brenselceller og ammoniakk for 80% av brønnbåter og større servicefartøy, hybrid for resterende.

Hvis produksjonen øker fremover som skissert av basis-banen for vekst, samt at dagens status for næringen fortsetter, uten ytterligere klimatiltak, vil klimagassutslipp øke med 30% i 2030 og dobles i 2050 sammenlignet med dagens utslipp. En vesentlig vekst i produksjon, som skissert av den optimistiske banen, vil derimot øke klimagassutslippene med 60% i 2030 og og 260% i 2050 sammenlignet med i dag.

Frem mot 2030 er elektrifisering av fôrflåter og mindre fartøy, samt hybridisering av større fartøy vurdert som aktuelle tiltak. Disse tiltakene er vurdert i begge baner for klimatiltak. Som vist av Figur 34 kan elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy i lag med hybridisering av større fartøy gi 30-40% reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med referansescenarioet. Under basis-banen for fremtidig vekst vil dette si at klimagassutslippene vil reduseres med rundt 20% sammenlignet med dagens utslipp på tross av 20% økning i produksjon. Dette krever en omfattende elektrifisering av

fôrflåter og fartøy. Den raske omstillingen som er lagt til grunn krever at batterier installeres for både nybygg og eksisterende fartøy. Som vist av Figur 34 vil innføring av plug-in hybrid på brønnfartøy stå for de største utslippskuttene frem mot 2030. Videre vil landstrøm til lokaliteter og elektrifisering bidra i omtrent like stor grad til utslippskutt.

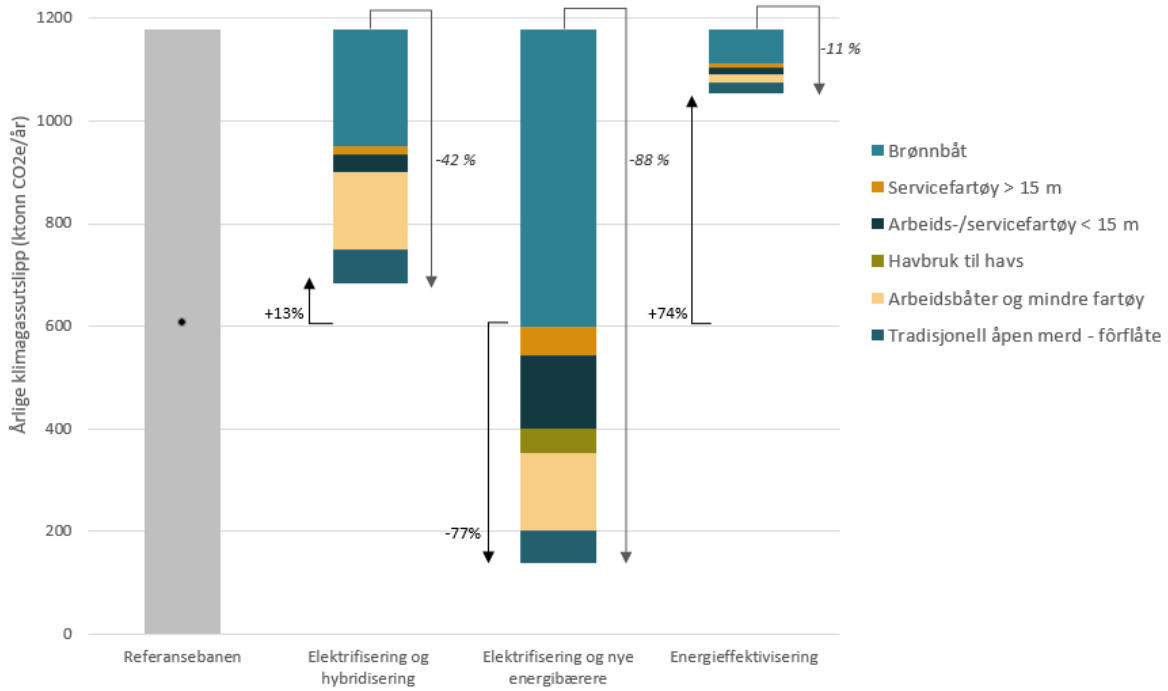
Energieffektivisering i flere ledd av verdikjeden kan gi utslippsreduksjoner på rundt 10% sammenlignet med referansebanen. Totalt er det dermed anslått at de årlige klimagassutslippene i 2030 kan reduseres med rundt 40-50% sammenlignet med referansescenarioet. Det må understrekes at potensialet for energieffektivisering i ulike ledd av verdikjeden er nokså usikkert, spesielt for fartøy. Flere av aktørene i næringen har understreket er stort potensial for ENØK og bedre energiledelse. Videre bør energieffektivisering sees i sammenheng med andre klimatiltak i næringen. Reduksjon i energibruk er eksempelvis nødvendig for landstrømtilknytning i noen tilfeller (for å unngå store anleggsbidrag) og for at lokal produksjon av fornybar kraft skal være en reell mulighet.



Figur 34 Klimagassutslipp i 2030 for referansebanen og utslippskutt for hvert scenario for iverksatte klimatiltak. Sirkelen viser estimerte klimagassutslipp i 2021. Reduksjon er vist prosentvis sammenlignet med referansebanen til høyre og sammenlignet med estimerte klimagassutslipp i 2021 til venstre.

Videre er det knyttet betydelig usikkerhet til om nye energibærere som hydrogen og/eller ammoniakk vil gjøre seg gjeldende for større fartøy i næringen. I Klimakur 2030 ble det antatt at ammoniakk vil være tilgjengelig og moden teknologi for brønnbåter fra 2028. Basert på andre analyser [30], [86] og innspill fra næringen vurderes dette å være ambisiøst. I banen for klimatiltak «elektrifisering og nye energibærere» antas det at ammoniakk kan innfases på brønnbåter og større servicefartøy fra 2035. Det antas også at hydrogen vil kunne være aktuelt for mindre servicefartøy fra 2028. Som vist av Figur 35 gir dette store utslippsreduksjoner sammenlignet med banen hvor kun hybridisering er implementert for større fartøy. Det er estimert at summen av alle klimatiltak vurdert, inkludert nye

energibærere, kan redusere klimagassutslipp med opp mot 90% sammenlignet med referansebanen og 75% sammenlignet med dagens klimagassutslipp. Elektrifisering av fôrflåter og offshore merder vil i dette tilfellet gi begrensede utslippskutt sammenlignet med tiltak på fartøy.



Figur 35 Klimagassutslipp i 2050 for referansebanen og utslippskutt for hver av de analyserte scenariene. Sirkelen viser estimerte klimagassutslipp i 2021. Reduksjon er vist prosentvis sammenlignet med referansebanen til høyre og sammenlignet med estimerte klimagassutslipp i 2021 til venstre.

Analysen understreker at om klimagassutslipp fra næringen ikke skal øke, samtidig som produksjonen øker, er omfattende klimatiltak og redusert energibehov i alle ledd av verdikjeden nødvendig. De siste årenes elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy i næringen er ikke tilstrekkelig til å oppnå betydelige utslippsreduksjoner fra næringen. Videre gir elektrifisering av fôrflåter og offshore merder begrensede utslippskutt sammenlignet med tiltak på fartøy. For å oppnå betydelige utslippsreduksjoner sammenlignet med dagens utslipp er nye energibærere med lave utslipp for større fartøy nødvendig. Dette understreker at *når* ny teknologi tas i bruk for brønnbåter og *i hvilken grad* er svært avgjørende for om klimamål for næringen kan oppnås. Nye energibærere er i scenarioanalysen antatt å introduseres *svært* raskt. Dette krever dermed en rask omstilling av flåten og en omfattende ombygging av eksisterende fartøy.

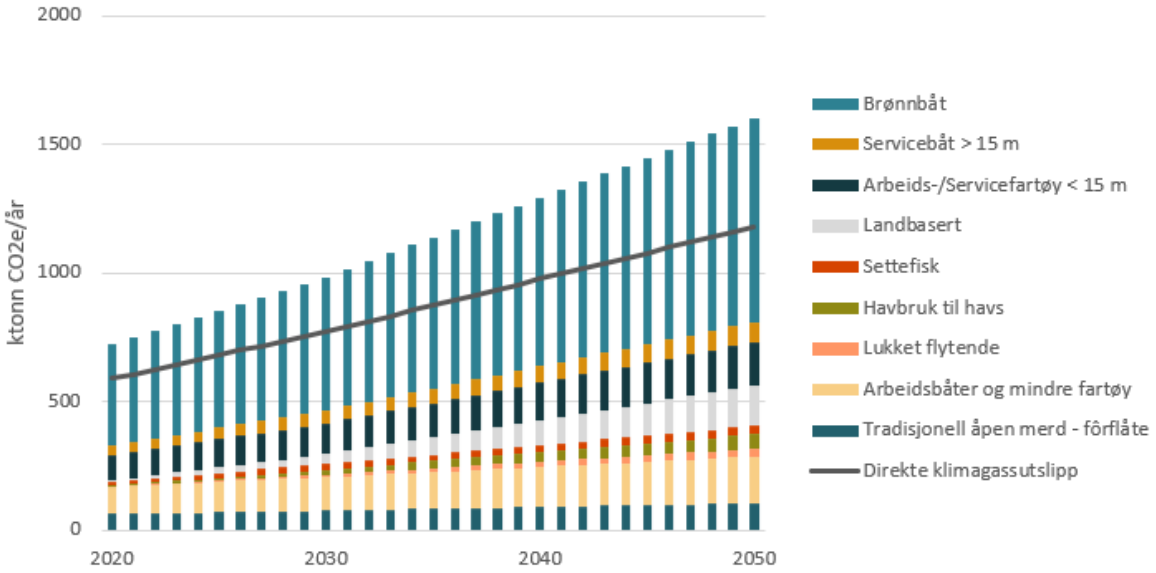
4.3.6 Indirekte klimagassutslipp

Tiltaksanalysen har tatt utgangspunkt i direkte klimagassutslipp. Som nevnt tidligere blir derimot indirekte klimagassutslipp av stor betydning for alternative energibærere og ved omfattende elektrifisering. For en rekke energibærere vil dermed en avgrensning til kun direkte (scope 1) utslipp ikke gi et fullstendig bilde av klimagassutslipp.

Direkte klimagassutslipp for aktivitetene inkludert i studien er beregnet til 570 ktonn CO2e. i 2019. Tas det høyde for de indirekte utslippene (scope 2 og 3) er klimagassutslipp beregnet til 697 ktonn CO2e. med utgangspunkt i norsk elektrisitetsmiks. Figur 36 viser direkte og indirekte

(produksjonsutslipp) klimagassutslipp for energibruk i næringen frem mot 2050 under basis-banen for produksjonsvekst.

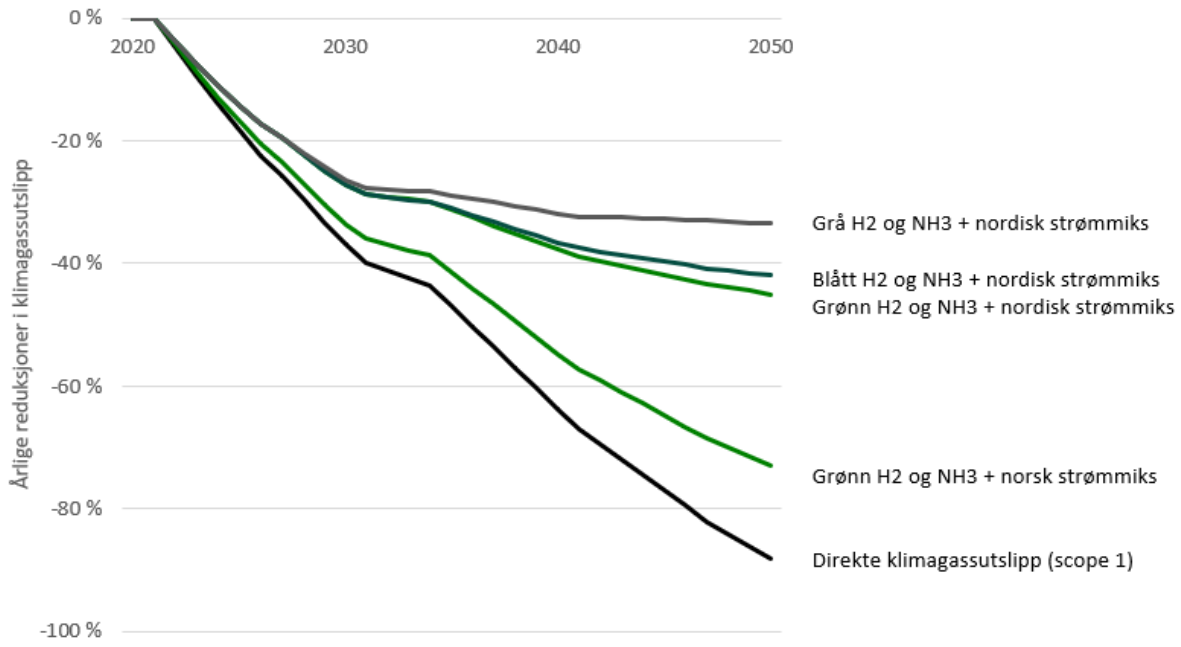
Som vist vil eksempelvis landbasert oppdrett stå for en viktig andel av klimagassutslippene fremover når en tar hensyn til at utslipp knyttet til elektrisitet. I et slikt perspektiv vil klimatiltak også for landbaserte anlegg være relevante, på lik linje som for eksempelvis servicefartøy eller fôrflåter.



Figur 36 Fremskrevet utvikling i direkte (scope 1, grå linje) og totale (scope 1,2 og 3) klimagassutslipp for energibruk i næringen for basis-banen for vekst. Norsk strømmiks er forutsatt for levert elektrisitet.

Enhver vurdering av klimatiltak med nye energibærer (og elektrifisering) bør ta hensyn til livløpsutslippet fra utvinning av råvarer og frem til bruk (cradle-to-grave). For banen for klimatiltak som beskriver elektrifisering og bruk av hydrogen og ammoniakk for fartøy vil produksjonsutslipp (indirekte utslipp) være av stor betydning for den samlede klimaeffekten. Figur 37 viser effekten på årlig reduksjon i klimagassutslipp av ulike antakelser for utslippsintensiteten til strøm og produksjonskjeder for ammoniakk og hydrogen. Som vist varierer potensiell utslippsreduksjon i 2050 stort avhengig av utslippsintensiteten for strøm og nye energibærere. Tar man hensyn til både direkte og indirekte klimagassutslipp reduseres kuttpotensialet sammenlignet med referansebanen fra 88% til 40-70%, avhengig av om norsk eller nordisk strømmiks legges til grunn. Videre vil grå eller grønn ammoniakk og hydrogen redusere de samlede utslippskuttene ytterligere.

Ser man på basis-banen for fremtidig vekst er resterende klimagassutslipp fra bruksfasen (direkte) 138 ktonn CO2e i 2050 etter at klimatiltak er iverksatt. Beregnes klimagassutslipp for produksjon av nye energibærere vil dette medføre utslipp på rundt 300 ktonn CO2e i tilfellet hvor grønn ammoniakk og hydrogen blir produsert. Tilsvarende vil produksjon av blå ammoniakk og hydrogen og kunne medføre utslipp rundt 1100 ktonn CO2e. Dette vil si at kutt sammenlignet med dagens utslipp kun er mulig i tilfellet hvor grønn hydrogen og ammoniakk produsert med fornybar kraft (norsk strømmiks) benyttes.



Figur 37 Årlige reduksjoner i klimagassutslipp sammenlignet med referansebanen for tiltak vurdert i banen «elektrifisering og nye energibærere» under ulike forutsetninger for strømmiks og produksjonskjeder for ammoniakk og hydrogen.

4.4 Barrierer, kostnader og påvirkning på kraftnettet av klimatiltak

Dette delkapittelet tar for seg barrierer, kostnader og påvirkning på kraftnettet av klimatiltakene vurdert i tiltaksanalysen. Kostnader og påvirkning på kraftnettet inngår for de fleste tiltak som viktige barrierer, men er likevel skilt ut i separate delkapittel.

4.4.1 Gradvis innfasing av landstrøm og batteripakker på lokaliteter i sjø

4.4.1.1 Barrierer

Elektrifisering av lokaliteter ved landstrømtilknytning og barrierer knyttet til dette er vurdert av en rekke tidligere rapporter [3], [13]–[16]. Basert på tidligere vurderinger og intervju av ulike aktører (leverandører, oppdrettere og kraftselskap) gjennomført i dette prosjektet er barrierer og utfordringer knyttet til landstrømtilkobling kartlagt. I tillegg er enkelte barrierer knyttet til installasjon av batteripakker på lokaliteter påpekt, men generelt opplever oppdrettere det å være betydelig færre barrierer knyttet til installasjon av batteri. De fleste aktørene vi har vært i kontakt med signaliserer at alle fôrflåter vil driftes med landstrøm eller en hybrid løsning fremover, men for mange vil hybride løsninger antakeligvis være det foretrukne valget på en rekke lokaliteter hvor landstrømtilkobling blir for dyrt og krever for store investeringer. Avstand til nærmeste tilkoblingspunkt, kapasitetsutfordringer i nettet (overføringskapasitet og spenningskvalitet), usikkerhet rundt rammevilkår for biosikkerhet og videre drift, leveringstid og tilbakebetalingstid er trukket frem som de viktigste barrierene for landstrømtilknytning. For hybride systemer med batteri er usikkerhet rundt levetid og krav til sikkerhet og batterirom aktuelle barrierer.

Anleggsbidrag og avstand til nærmeste tilkoblingspunkt
Kostnaden for sjøkabel utgjør en stor andel av kostnaden for landstrøm, og kostnaden øker med avstanden til nærmeste tilkoblingspunkt [12]. For flere av lokalitetene som ikke er elektrifisert i dag er avstanden til land lang, og hybride løsninger vurderes da fremfor landstrøm. Avhengig av utviklingen i næringen fremover vil potensielt avstandene til land bli lengre enn i dag for flere lokaliteter om mer eksponerte lokaliteter tas i bruk. Investeringskostnadene blir i disse tilfellene såpass høye at hybrid drift foretrekkes økonomisk. Avstand alene er riktignok ikke en drivende faktor. Avstanden fra lokalitet til tilkoblingspunkt kan være veldig kort (under 1 km) og anleggsbidragene likevel så høye at landstrømtilkobling ikke vil være økonomisk lønnsomt.

I hvilken grad kapasitet i det lokale strømnettet hindrer videre elektrifisering varierer avhengig av hvem man spør og de erfaringer den enkelte har gjort seg. Det finnes per i dag ingen oversikt over hvor det finnes tilgjengelig kapasitet og dette er informasjon en må etterspørre av hvert enkelt nettselskap. En mer enhetlig oversikt over hvor kapasitet er tilgjengelig og i hvilken grad elektrifisering på områdenivå (av flere lokaliteter) vil påvirke kapasitet og spenningskvalitet ville kunne være et relevant planverktøy for både oppdretter og nettselskap.

Biologiske utfordringer og usikkerhet knyttet til videre drift
En viktig barriere for ytterligere elektrifisering er usikkerhet rundt videre drift av lokaliteter. Arbeidet med styrket biosikkerhet i næringen peker på at det vil være vanskelig å se for seg vekst i næringen med dagens struktur [95], og at det fremover vil være nødvendig å etablere koordinerte utsett og brakklegging av større områder [53]. Dette kan føre til at buffersoner opprettes hvor det vil være forbudt med drift innenfor sonen, noe som gjør videre drift for lokaliteten usikker [16]. Flere aktører har påpekt at for flere lokaliteter har de kun garantert drift i to år fremover og at videre drift på lokaliteten er usikker. Dette gjør det hensiktsmessig å investere i mer fleksible hybride løsninger fremfor landstrøm.

I tillegg kan nye sonestrukturer med koordinert brakklegging føre til lengre perioder uten drift. Brakklegging i lengre perioder eller vekslende drift på lokaliteter i samme fjordarm annen hver generasjon gjør det i mange tilfeller vanskelig å få lønnsomhet i elektrifisering. Arbeidet med sonestrukturer for biosikkerhet har kommet langt i produksjonsområdene i Midt-Norge, og det har spesielt i Nord-Trøndelag vært etablert en sonestruktur med koordinert brakklegging på opptil 6 måneder. Sammenlignet med minste kravet på åtte uker utgjør dette en betydelig redusert kontinuitet i driften, noe som igjen har gjort elektrifisering for flere lokaliteter i dette området mindre økonomisk lønnsomt.

Usikker leveringstid og usikre kostnader
Leveringstid og sikkerhet knyttet til endelige kostnader er en grunn til at hybride løsninger ofte foretrekkes av flere oppdrettere. Mens det ofte kan ta opptil et par år før landstrømtilkobling er på plass, kan batterileverandører levere raskere og med en sikrere leveringsdato. Det er derimot store sprik i oppfatningene av hvor lett og rask prosessen rundt tilkoblingen til landstrøm er, både på tvers av selskap og innad i selskap. Variasjoner i det lokale nettselskapets holdning og innstilling virker i stor grad påvirke oppdretters oppfatning av prosessen. Utfordringer knyttet til elektrifisering og interaksjoner mellom oppdretts- og kraftbransjen er videre omtalt i Kap. 3.4.

Enkelte aktører trekker frem at installasjon av batteri er en overgang til landstrøm på sikt, som gjør at utslipp kuttes umiddelbart samtidig som man reduserer effektbehovet for den senere installerte

sjøkabelen. Andre påpeker derimot at dette vil gjøre det vanskelig å få landstrømprosjekter økonomisk lønnsomme på senere tidspunkt da drivstofforbruket allerede er betydelig redusert.

Tilbakebetalingstid

Tilbakebetalingstiden for installasjon av landstrøm og/eller batteri påvirkes i stor grad av barrierene nevnt ovenfor. I hvilken grad landstrøm foretrekkes økonomisk fremfor batteri avhenger av nedbetalingstiden. Ofte forventer oppdretter en nedbetalingstid på fem år. Det tar generelt lengre tid å tilbakebetale landstrømsanlegg enn hybride løsninger. Den raske nedbetalingstiden som kan oppnås med hybride løsninger (1,5 til 2 år) gjør at denne løsningen velges, spesielt om de andre barrierene nevnt som usikkerhet rundt videre drift på lokalitet, er til stede.

4.4.1.2 Kostnader

Kostnader for tilkobling til landstrøm er svært avhengig av anleggsbidrag og kabelkostnad (distanse). Basert på landstrømprosjekter som har mottatt ENOVA-støtte har total investeringskostnad variert fra 1 til 9 millioner NOK, med et gjennomsnitt på 3 millioner NOK. De fleste av disse prosjektet var støttet for en tid tilbake og reflekterer antakeligvis de lokalitetene det var mest økonomisk lønnsomt å elektrifisere. I tillegg var anleggsbidragene relativt lave. Det må dermed forventes betydelig økning i kostnadene for ytterligere elektrifisering blant annet på grunn av større anleggsbidrag og avstander. Mørk (2020) [14] beregner i sin masteroppgave at gjennomsnittlig kostnad for landstrømtilkobling for lokaliteter i Finnmark ligger på rundt 6 millioner NOK, forutsatt at det er nok kapasitet i nettet og at anleggsbidraget dermed blir relativt lavt (~0,5 millioner NOK).

Investeringskostnader for batteri fra leverandører av hybride løsninger for fôrflåter ligger rundt 2,5 til 3 millioner kroner ([14], pers.kommunikasjon næringsaktører).

4.4.1.3 Påvirkning på kraftnettet

Landstrømtilkobling legges typisk med en kapasitet på kabler på 200-500 kW, hvor de fleste har opptil 300 kW kapasitet. Dette dekker dagens behov på fôrflåter og i tillegg til en viss grad eventuell fremtidig lading av båter. I hvilken grad elektrifiseringen av lokaliteter uten landstrøm i dag kan gjennomføres uten betydelig påvirkning på kraftnettet varierer i stor grad avhengig av lokasjon. Masteroppgaver som har tatt for seg potensialet for elektrifisering av lokaliteter i henholdsvis Midt-Norge [13] og Finnmark [14] har vist at flere lokaliteter kan tilknyttes kraftnettet uten vesentlige oppgraderinger. Derimot er dette svært avhengig av effektbehovet og i hvilken grad flere lokaliteter innenfor samme område elektrifiseres. Hvis alle lokaliteter i et område elektrifiseres simultant blir nettkapasitet i større grad en utfordring [13]. I flere tilfeller er utfordringer med spenningskvalitet større enn «flaskehals»-problematikk. Høy grad av automatisering og avansert utstyr stiller høyere krav til jevn spenningskvalitet enn tidligere.

4.4.2 Elektrifisering av fartøy

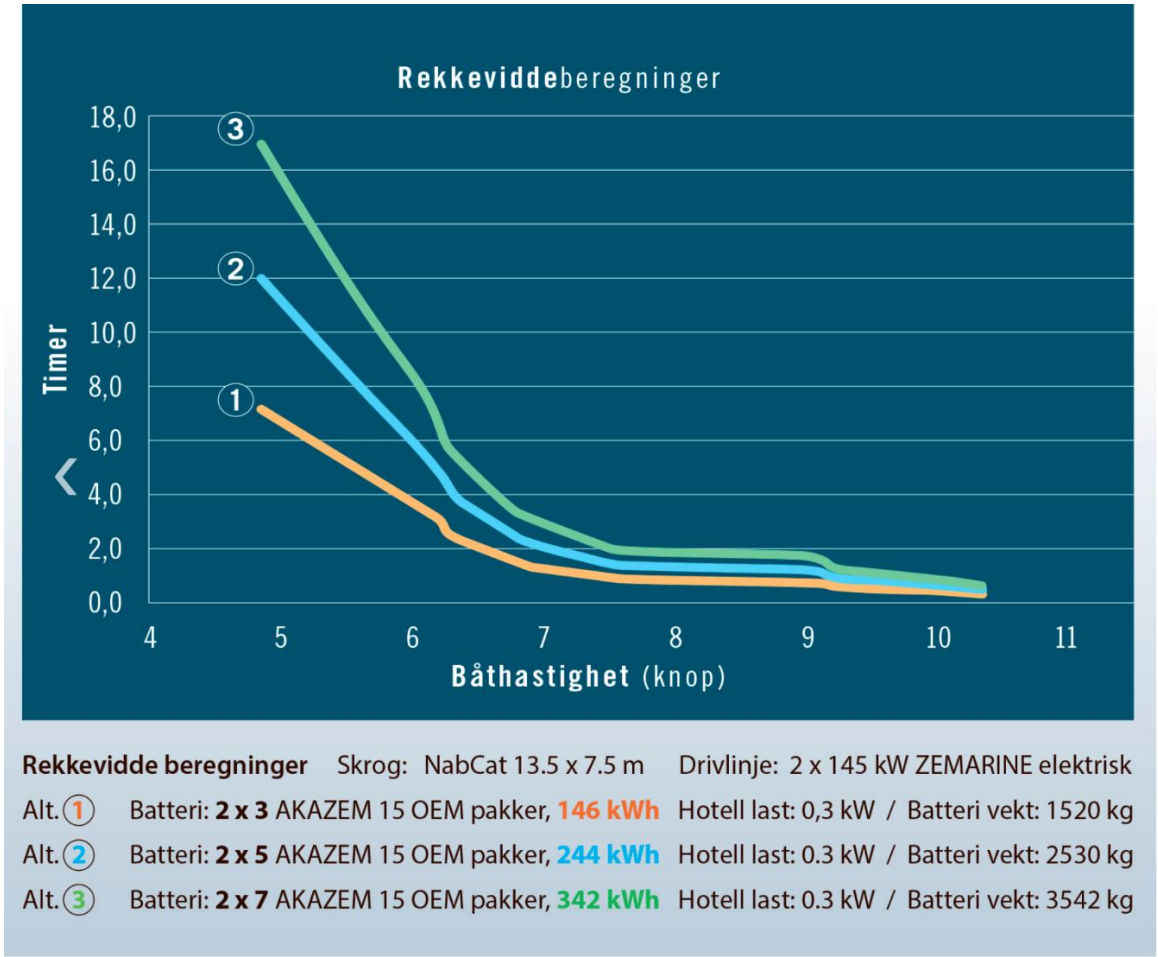
4.4.2.1 Barrierer

Hybrid fremdrift for båter på lokalitet har i dag små begrensninger sammenlignet med konvensjonell fremdrift [18]. De viktigste barrierene for videre elektrifisering av båter på lokalitet (helelektrisk drift) er usikkerhet knyttet til teknologi, ladeinfrastruktur og besparelser. Tilgangen på batterier og

leveringstiden for disse er i andre bransjer en betydelig barriere, og kan potensielt også være et hinder for rask elektrifisering av fartøy i oppdrettsnæringen.

Usikkerhet knyttet til teknologi går i stor grad på usikkerheten rundt den reelle rekkevidden. Arbeidsbåter har svært ulik gangtid til og fra lokalitet og krav til operasjoner som skal gjennomføres. Videre vil enkelte båter være i drift i lange perioder sammenhengende. Sammen med utfordringer med redusert kapasitet i kulde påvirker dette om helelektrifisering er teknisk mulig. Figur 38 viser rekkeviddeberegninger gjennomført av Moen Marin for arbeidsbåter de tilbyr. Som vist er rekkevidden (vist som arealet under grafene) svært avhengig av hastigheten, i tillegg til størrelsen på batteripakken.

I tillegg kommer usikkerhet knyttet til tilgjengelig kapasitet i kraftnettet for lading, spesielt hurtiglading. Nofimas vurdering av utfordringer for helelektrisk drift trekker også frem usikkerhet rundt besparelser som en barriere for helelektrifisering av båter [18]. Dette er også noe som er bekreftet gjennom dette prosjektet. Oversikt over drivstofforbruket for mindre båter er i stor grad manglende for de fleste aktører. Dette kommer av at det bunkres på mange ulike steder og at fôrflåter og båter i mange tilfeller bunkrer diesel på samme sted eller at båter fyller direkte fra flåten. Dette gjør det vanskelig å få oversikt over andelen av drivstoff brukt for båter. Som en konsekvens blir det da utfordrende for mange å ta det neste steget med å investere i elektriske fartøy når de ikke er sikre på hvor stor besparelsen faktisk er.



Figur 38 Rekkeviddebegrensninger for elektriske arbeidsbåter. Hentet fra Moen Marin [96].

4.4.2.2 Kostnader

30-60% høyere investeringskostnader har vært tilfellet for de båtene som har vært bygget med elektrisk drift så langt [13], [18], noe som innebærer ca. 4-6 millioner i ekstrainvestering. Investeringskostnadene riktignok i stor grad avhenge av størrelsen på batteripakken. Investeringskostnadene vil være omtrentlig det samme for en hybridbåt da kostnaden for batteriet er mindre, mens kostnaden for dieselgenerator er høyere [18].

4.4.2.3 Påvirkning på kraftnettet

Som nevnt er usikkerheten for om det er tilgjengelig kapasitet i kraftnettet en betydelig barriere for helelektrisk drift. På lik linje med for elektrifisering av lokaliteter vil dette variere stort avhengig av det lokale strømnettet. Utfordringen for tilgjengelig ladekapasitet vil være ekstra utfordrende i områder hvor nettet er presset og hvor det er planer for elektrifisering av kystfiskeflåten. Avhengig av hvor fort båten skal lades varierer effektbehovet typisk fra 60 til 250 kW. Hvis et stort antall båter i oppdrett og fiskeri skal lades i samme område vil lastforflytning og styring av tidspunkt for lading være avgjørende. Videre kan installasjon av batteripakker i nettet være nødvendig for å håndtere topplaster. Mulighet for lading ved fôrflåten eller merdkant vil gi mer fleksibilitet knyttet til når på dagen det lades, men vil være avhengig av større kapasitet på sjøkabelen.

4.4.3 Hybridisering på større fartøy

4.4.3.1 Barrierer

Hybridisering av større fartøy i næringen, både servicefartøy og brønnbåter er gjennomført til en viss grad allerede i dag. De fleste av disse har en lettere grad av hybridisering og ikke mulighet for lading. Helelektrisk drift vil for de fleste av disse fartøyene ikke være teknisk mulig, men en høyere grad av hybridisering med større batteripakker og mulighet for lading fra strømnettet vil være oppnåelig.

For mindre servicefartøy er oppgavene tyngre og installert utstyr større enn for arbeidsbåter, noe som gjør helelektrisk drift vanskelig. Lading under operasjoner ved merd, tilsvarende som for mindre arbeidsbåter, ville redusert gangtiden på dieselgeneratoren. Dette krever imidlertid at ladeinfrastruktur er på plass. En vesentlig barriere for å oppnå dette er at mange lokaliteter ligger steder hvor røff sjø og værforhold gjør det for risikabelt å være tilknyttet ladeinfrastruktur under arbeid (pers. kommunikasjon, industriaktører). Videre opererer denne gruppen av fartøy døgnkontinuerlig i perioder som kan gjøre lading utfordrende.

Lading ved kai er i dag også aktuelt for brønnbåter, da spesielt når det losses ved slakteri. Barrierer vektlagt av aktører intervjuet er her begrenset liggetid og dermed usikkerhet rundt klimagassbesparelser, mangelen på tilkoblingsmuligheter ved slakteri og standardiserte tilkoblinger og arbeidet med å koble til. Ved lukkede leveranser må brønnbåter ligge lengre ved slakteri, og landstrøm og lading vil da kunne gi større utslippsreduksjoner sammenlignet med i dag.

4.4.3.2 Kostnader

Installasjon av batteri på et middelsstort servicefartøy (~20 m) tilsvarer ca. 8 mill i ekstrainvesteringer [18]. Tiltakskostnaden for installasjon av plug-in hybrid på større fartøy er vurdert å være høy av arbeidet i forkant av Klimakur 2030 og ligger rundt 7100 NOK/tonn CO2 [27].

4.4.4 Nye energibærere på service- og brønnbåter

4.4.4.1 Barrierer

Barrierene for ammoniakk og hydrogen på service- og brønnbåter er i stor grad like. Ingen av teknologiene, selv om brenselsceller for hydrogen i dag er hyllevare, er teknologisk modne. Dette gjør tilgjengelighet på drivstoff og bunkringsinfrastruktur utfordrende, sammen med høye priser på drivstoff [27]. Initiativer som satser på utvikling av hele verdikjeden, fra produksjon til sluttbruker, som det nylig ENOVA-støttede prosjektet «Utslippsfri arbeidsbåt for havbruk» vil kunne redusere disse barrierene. Både de teknologiske og økonomiske barrierene vil være større for ombygging fremfor nybygg.

En vesentlig barriere er energibærere som hydrogen og ammoniakk sine fysiske egenskaper. Plassbegrensning, spesielt for brønnbåter, er en teknisk barriere som er vanskelig å overkomme. Ammoniakk i kombinasjon med brenselcelle vurderes av brønnbåtselskap vi har snakket med som mest aktuelt, da dette kan få plass i skroget på en brønnbåt. Hydrogen vurderes mindre aktuelt, i stor grad på grunn av plassbegrensninger.

En annen barriere for implementering av nye energibærere er mangel på insentiver og etterspørsel på nåværende tidspunkt. Intervjuer med brønnbåt- og serviceselskap gjennom dette prosjektet har avdekket at de i liten grad opplever etterspørsel fra oppdrettere angående energibruk og klimagassutslipp fra disse tjenestene. Dette er antakeligvis et resultat av at energibruk hos underleverandører lenge ikke har vært inkludert i oppdrettsselskapenes klimaspor. Flere selskap er nå i gang med arbeidet med å inkludere “scope 3” klimagassutslipp, noe som kan øke interessen etter brønn- og servicetjenester fra fartøy med nullutslipp i drift.

4.4.4.2 Kostnader

Det er betydelig usikkerhet rundt investeringskostnadene for brenselceller med hydrogen eller ammoniakk. Da teknologien ikke er tatt i bruk på skip i dag er det usikkert hvilken kostnad systemene vil ha. DNV-GLs analyse for Klimakur 2030 angir en samfunnsøkonomisk tiltakskostnad på 1500 NOK / tonn CO2 for ammoniakk på havbruksskip.

4.4.4.3 Energieffektivisering – fôrflåter, landbaserte anlegg, fartøy

Potensialet for energieffektivisering dekker en rekke ulike tiltak for ulike produksjonsteknologier og ledd i verdikjeden. Vi oppsummerer her de viktigste barrierene vedlagt under intervju av ulike aktører.

Fôrflåter

- Vannbåren fôring er det tiltaket som oppnår de største reduksjonene i energibruk ved fôrflåter. En viktig barriere er at teknologien må demonstreres i drift slik at usikkerheten rundt stabilitet og tilvekst for fisken fjernes. Demonstrasjonsprosjekter i kommersiell drift er dermed avgjørende for at oppdrettere i større grad tørr satse på vannbåren fôring fremfor luftbåren [97]. Dyre innvesteringer og få tilbydere er også vesentlige barrierer [16].

- Fokuset på energiledelse og energioptimalisering er svært sprikende blant ulike aktører i bransjen. Gjennom datainnhenting i dette prosjektet og tidligere prosjekt er det betydelig variasjoner i hvilken grad selskap har systematisert tall på energiforbruk. Dette gjelder i størst grad de flåtene som fortsatt benytter diesel; her er det ofte mer krevende å få god oversikt over forbruk sammenlignet med elektrifiserte flåter.

Landbaserte anlegg

- Generelt er det større insentiv til å drive energieffektivt i landbaserte anlegg enn for produksjon i sjø fordi energikostnaden utgjør en vesentlig del av produksjonskostnadene. Likevel viser energiforbrukstall at det reelle forbruket er betydelig høyere enn estimat for energibruk.
- Design av landbaserte anlegg er vesentlig for energieffektivitet. Et problem er at vannbehandlingsenheter, og spesielt pumper, ofte er underdimensjonert av konsulenter og leverandører for å møte krav om lave investeringskostnader ([78], pers. kommunikasjon). Dette gjør at energiforbruket blir høyere enn nødvending.

Fartøy

- Som for fôrflåter er fokuset på energioptimalisering for fartøy også svære sprikende blant ulike aktører i bransjen. Flere aktører påpeker at det er rom for betydelig optimalisering av drift. Generelt har systematisering og oversikt over energiforbruk for fartøy i næringen kommet betydelig kortere enn for flåter. Dette er blant annet på grunn av at det er liten logging av drivstofforbruk for dieseldrevne båter og vanskelig å få fullstendig oversikt basert på fakturainformasjon. Installasjon av kartplottere og utstyr for logging av utslipp og drivstofforbruk vil kunne sørge for bedre oversikt over forbruk. Manglende oversikt over dagens forbruk er også en barriere for investering i nye teknologier, da det blant annet er usikkerhet rundt reelle besparelser og teknologisk modenhet.

- Flere aktører fremhever eksempler hvor manglende bevisstgjøring fører til langt høyere forbruk enn nødvendig. Dette kan eksempelvis være at hjelpemotoren har vært i drift store deler av tiden for lading av mobiltelefoner og drift av kaffetrakter. Installasjon av et lite batteri ville i dette tilfellet spart selskapet for store drivstoffutgifter og klimagassutslipp.

- Fartsreduksjon og ruteoptimalisering er tiltak som kan redusere drivstofforbruk fra fartøy betydelig. Det er imidlertid praktiske hensyn som styrer i hvilken grad dette er mulig. For brønnbåter er spesielt krav om lukket transport et eksempel på et krav som gjør det vanskelig å redusere hastigheten, da fisken kun kan holdes i båten en viss periode. Tilsvarende har flere brønnbåter pålegg om å gå langt ut for å skifte vann noe som gjør at gangtid og drivstofforbruk øker.

4.5 Helelektriske lokaliteter og lavutslipp off-shore

Enova stiller to spørsmål som skal besvares i forbindelse med oppdraget. I delleveranse 3 er disse delvis svart ut, men vi oppsummerer konkret de funn gjennom prosjektet og scenarioanalysen som belyser disse.

Hva skal til for å oppnå helelektriske lokaliteter?

I hvilken grad helelektriske lokaliteter kan oppnås avhenger i stor grad av hva som defineres som en lokalitet. Som nevnt tidligere benyttes en rekke fartøy i dagens oppdrettsnæring. Noen av disse er i drift på lokalitet på daglig basis (arbeidsbåter og båter for personaltransport), mens andre benyttes noen ganger i løpet av en produksjonsyklus (servicefartøy og brønnbåter). Som vist for dagens status for energibruk og klimagassutslipp i Kap 2.4.2 er en stor andel av energibruken og utslipp knyttet til fartøy som ikke er tilknyttet en spesifikk lokalitet. Det er dermed viktig å ikke begrense klimatiltak i næringen mot fôrflåter og båter fast tilknyttet en eller få lokaliteter. Fôrflåter og båter på lokalitet (arbeidsbåter og personaltransport) er likevel der det er størst mulighet for ren elektrisk drift (i tillegg til landbasert produksjon).

Kartleggingen av andelen elektrifiserte fôrflåter viser at 55% er tilkoblet landstrøm, mens 6% har batteri og dieselgenerator. Tidligere analyser har vist at rundt 80% av lokalitetene kan tilkobles landstrøm uten anleggsbidrag [12], [13]. Energieffektivisering av fôrflåten er derimot vesentlig for elektrifisering, og installasjon av batteri i kombinasjon med landstrøm kan øke andelen elektrifiserte lokaliteter. I en del områder vil betydelige anleggsbidrag og avstander til nærmeste tilkoblingspunkt, samt usikkerhet knyttet til videre drift, gjøre det vanskelig å forsvare nedbetalingstiden for noen oppdrettere. Dette gjør at mer fleksible, hybride løsninger vil være å foretrekke for en del lokaliteter. Kombinasjonen av en batteripakke og vannbåren fôring, som vesentlig reduserer energiforbruket, kan være et alternativ til landstrøm som også kan gi svært lave klimagassutslipp.

For båter på lokalitet er helelektrisk eller tilnærmet helelektrisk drift teknisk mulig mange steder. Barrierene knyttet til større grad av elektrifisering i denne fartøygruppen er usikkerhet knyttet til rekkevidde og ladeinfrastruktur. Kombinasjonen av batteri og dieselgenerator foretrekkes av mange oppdrettere da dette sikrer at man har en back-up-løsning tilgjengelig. Med mulighet for lading vil likevel batteriet dekke en stor andel av energibruken og fartøyet driftes tilnærmet helelektrisk. Forretningsmodeller som legger til rette for at oppdretter kan teste i hvilken grad en elektrisk båt dekker deres behov, samt oversikt over tilgjengelighet på kraft for lading, er vesentlig for at elektrifiseringen av de mindre fartøyene kan skyte fart.

For de helelektriske båtene som er i drift i dag er lading ved landbasen tilstrekkelig for den daglige driften. Kapasitet i strømnettet ved hurtiglading er en utfordring i noen områder og er en barriere for helelektrisk drift for enkelte. Tiltak for styring av last i strømnettet og tilkobling av batterier er eksempler på tiltak som kan redusere belastningen og unngå behovet for utbygging. For enkelte båter som har større gangavstand eller tyngre arbeidsoppgaver vil ikke lading ved landbasen være tilstrekkelig for den daglige driften. Lading ved merd eller på fôrflåten vil da være nødvendig for å oppnå helelektrisk drift.

Hva skal til for å oppnå lavutslipp off-shore?

Som vist av de etablerte scenariene for fremtidig produksjon antas det at produksjon i off-shore merder vil utgjøre en relativt liten andel av den totale produksjonskapasitet i 2030 og 2050. Sammen med estimat for energibehov for off-shore merder er energibehovet og utslippene forventet å stå for

en liten andel av de totale utslippene for næringen (Figur 27 og Figur 30). Det har dermed ikke vært lagt stor vekt på tiltak for å oppnå lavutslipp for havbruk til havs i scenarioanalysen. Det må likevel presiseres at estimat for energibehov og behovet for fartøyoperasjoner er inkludert med svært grove antakelser. Eventuelt andre operasjoner utover drift av merden og fartøy har ikke vært inkludert.

I dagens system for utviklingstillatelser er ikke energibruk, -forsyningsløsninger eller utslipp inkludert som et tellende kriterium i evalueringen av prosjekter. Krav til energibruk og klimagassutslipp som en del av kriteriene vil kunne være et viktig steg på veien mot å oppnå lavutslipps lokaliteter til havs. Det vil være vesentlig at klimatiltak og eventuelle krav ikke begrenses til å omfavne kun energiforsyningsløsninger for fôring og drift av lokalitet, men også inkluderer fartøy. Utslipp knyttet til servicefartøy og brønnbåter vil stå for en vesentlig andel av utslipp for lokaliteter, spesielt siden det kreves tyngre arbeidsoperasjoner og lengre seilingsdistanser for havbruk til havs. Det er betydelig usikkerhet knyttet til endring i energibruk for fartøy for lokaliteter lengre til havs sammenlignet med dagens lokaliteter. Likevel er det klart at lavutslippsteknologi for service- og brønnbåter vil være vesentlig for å oppnå produksjon til havs med lave utslipp. Videre bør det videreutvikles alternative løsninger som kan gjøre det lettere å elektrifisere operasjoner som i dag gjennomføres ved hjelp av fartøy. Nordlaks sin havfarm har eksempelvis planlagt for skinnegående elektrisk drevne servicevogner som skal benyttes fremfor fartøy for en del operasjoner. Fra tidligere søknader er det tydelig at det først og fremst er egenproduksjon av kraft på lokaliteten for drift av merden som har vært i fokus. Erfaringer fra intervjuer med aktører som er i prosjekteringsfasen av off-shore merder indikerer derimot at få har konkrete planer for tilkobling til landstrøm eller forsyning med fornybar kraft umiddelbart. For å få til dette på lengre sikt må fokuset ligge på å oppnå et lavt energibehov for fôring og drift av merden, og vannbåren fôring blir her vektlagt som et viktig tiltak.

5 KONKLUSJON

Denne studien har omfattet en kartlegging av dagens status for energibruk og klimagassutslipp, en fremskriving av mulige alternativer for produksjon samt en analyse av aktuelle klimatiltak og potensielle utslippskutt mot 2030 og 2050 for den norske oppdrettsnæringen. En rekke tidligere publiserte studier har tatt for seg klimagassutslipp og energibruk i deler av næringen eller vurdert klimasporet til produksjon av laks. Det finnes derimot ingen tidligere studier som har vurdert klimagassutslipp fra hele verdikjeden på sektornivå i dag og fremover mot 2050, under ulike alternativer for vekst. Sammenlignet med tidligere publiserte studier gir denne studien dermed en bedre oversikt over klimagassutslipp fra hele verdikjeden på sektornivå, noe som er vesentlig for å vurdere hvilke klimatiltak som må iverksettes i næringen for å bidra til nasjonale og internasjonale klimamål.

Studien har vært avgrenset til klimagassutslipp som følge av energibruk i: produksjonsfasen på land, produksjon på matfisklokaliteter i vannet og fartøybruk i tilknytning til service- og arbeidsoperasjoner. Det har likevel vært pekt på klimagassutslipp fra andre deler av verdikjeden og indirekte klimagassutslipp for å illustrere de totale klimagassutslippene fra næringen og netto effekten av ulike klimatiltak.

Kartleggingen av dagens energibruk viser stor variasjon i forbruk i alle leddene av næringen (fôrflåter, landbasert, fartøy). Størst usikkerhet er knyttet til energibruk for fartøy, spesielt arbeidsbåter og brønnbåter. Til tross for begrenset tilgjengelig kunnskap kan vi slå fast at fartøyene står for en betydelig andel av næringens klimagassutslipp, og brønnbåter dominerer både energibruk og klimagassutslipp fra næringen i dag. Den totale energibruken i dagens næring er beregnet til 2 610 GWh og direkte klimagassutslipp fra denne energibruken er 570 ktonn CO_2e. Fossile energibærere er i stor grad benyttet for fartøy og fôrflåter, mens elektrisitet forbrukes i settefiskanlegg og ved fôrflåter tilknyttet landstrøm. I dag er 55% av lokalitetene i sjø tilknyttet landstrøm og 6% har hybride løsninger.

En analyse av sektorens samlede klimaspor, hele veien fra produksjon av fôrråvarer og frem til fisk levert til forhandler, viser at det samlede klimasporet til norsk oppdrett av laks og ørret er i størrelsesorden 8,5 millioner tonn CO_2e. Klimasporet viser at næringens direkte utslipp i Norge utgjør en liten del av det samlede klimasporet. De aktivitetene som denne studien tar for seg, fartøy og oppdrett, står for 8% av det samlede klimasporet. Det er dermed svært viktig at næringen jobber med å redusere klimagassutslipp andre steder i verdikjeden samtidig som utslippene fra fartøy og fôrflåter reduseres. Reduksjon av tap, fôr med lavere klimaspor og reduksjon i flyeksport blir spesielt viktig for at norsk oppdrettsnærings skal kunne vokse uten å øke sine samlede klimagassutslipp.

Tiltaksanalysen presenterer relevante tiltak, hvor de kan iverksettes og potensialet for reduksjon i klimagassutslipp og energibruk. Spesielt viktige tiltak er energisparing, elektrifisering og nye energibærere. Med tanke på næringens bidrag opp mot nasjonale og internasjonale klimamål er 2030 og 2050 naturlige delmål. Frem mot 2030 er elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy samt hybridisering av større fartøy vurdert som de mest aktuelle klimatiltakene. Fra 2030 og frem mot 2050 *kan* potensielt nye energibærere som ammoniakk og hydrogen være kommersielt tilgjengelig og aktuelt for større fartøy, og dette er dermed vurdert i tiltaksanalysen. I tillegg er energisparing vektlagt av oppdrettere som et viktig tiltak med atskillig urealisert gevinst, og en forutsetning for andre klimatiltak som elektrifisering og nye energibærere.

Hvis produksjonen øker fremover som skissert av basis-banen (1,5% årlig vekst) for vekst og dagens status for næringen fortsetter, uten ytterligere klimatiltak, vil klimagassutslipp øke med 30% i 2030 og dobles i 2050, sammenlignet med dagens utslipp. En vesentlig vekst i produksjon, som skissert av den optimistiske banen, vil derimot øke klimagassutslippene med 60% og 260% i 2030 og 2050 sammenlignet med i dag.

Tiltaksanalysen viser at ved omfattende elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy, samt hybridisering av større fartøy kan klimagassutslipp fra næringen reduseres med 10-20% i 2030 sammenlignet med dagens nivå tross produksjonsvekst.

Frem mot 2050 må klimatiltakene derimot inkludere hydrogen og ammoniakk, eller andre energibærere med lave klimagassutslipp, på de fleste større fartøy i næringen for å oppnå utslippsreduksjoner sammenlignet med dagens klimagassutslipp. Analysen viser at elektrifisering av lokaliteter og mindre fartøy samt nye energibærere tatt i bruk på større fartøy, kan legge til rette for at næringen kan vokse betydelig uten at de direkte klimagassutslippene øker sammenlignet med i dag. Under basis-banen for vekst (1,5% vekst årlig) er potensialet for utslippskutt beregnet til nærmere 75% i 2050 sammenlignet med dagens nivå og 90% sammenlignet med referansescenarioet. Dette forutsetter en svært rask omstilling i næringen, spesielt av fartøy. Ombygging av eksisterende fartøy blir dermed vel så viktig som ny teknologi for nybygg. Videre må produksjonsutslippene fra nye energibærere være svært lave for å oppnå beregnet netto klimaeffekt. Dette vil si at grønn ammoniakk og hydrogen produsert basert på fornybar kraft må benyttes.

En rekke barrierer for aktuelle klimatiltak er identifisert. Biologien setter de absolutte grensene for oppdrett og følgelig må alle klimatiltak innføres med hensyn til dette. I tillegg vil naturen som produksjonen forgår i medføre både grenser og utfordringer som tiltak må skje innenfor. Usikkerhet knyttet til videre drift av en del lokaliteter og nye krav til næringen med tanke på biosikkerhet vil kunne være en barriere for elektrifisering og påvirke energibruk. Videre er kapasitet i en del lokale strømnett, driftssikkerhet og fysiske egenskaper ved nye energibærere viktige barrierer. En siste barriere for klimatiltak er tilgangen på kunnskap om hvordan energi brukes i dag. Dette fører til usikkerhet rundt de reelle besparelsene ved ulike tiltak. I tillegg er driftsprofiler fortsatt en mangelvare noe som begrenser muligheten som teknologiutvikler har til å komme med de beste løsningene.

Referanseliste

[1] U. Johansen, M. M. Stoud, and R. Richardsen, “Nasjonal betydning av sjømatnæringen,” 2020.

[2] Fiskeridirektoratet, “Akvakulturstatistikk,” 2020. .

[3] Apoint, Doxacom, and Kontali, “Bedre datagrunnlag i havbrukssektoren - Miljødirektoratet,” 2020.

[4] Fiskeridirektoratet, “Statistikkbanken,” 2019. .

[5] Veterinærinstituttet, “Fiskehelserapporten 2020 (Veterinærinstituttet rapportserie nr 41a/2021),” 2021.

[6] “Forsiden | Bærekraft i havbruk.” .

[7] Fiskeridirektoratet, “Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret: Matfiskproduksjon.” [Online]. Available: https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Loennsomhetsundersoekelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret. [Accessed: 15-Feb-2019].

[8] U. Winther, S. Jafarzadeh, F. Ziegler, and E. S. Hognes, “Klimaregnskap for norsk sjømatnæring Rapport Klimaregnskap for norsk sjømatnæring,” 2020.

[9] N. W. Ayer and P. H. Tyedmers, “Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada,” *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 3, pp. 362–373, 2009.

[10] N. Pelletier *et al.*, “Not all salmon are created equal: Life cycle assessment (LCA) of global salmon farming systems,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 23, pp. 8730–8736, 2009.

[11] Bellona and ABB, “Grønt skifte i havbruk,” 2018. .

[12] DNV-GL, “Fullelektrisk fiskeoppdrett,” 2018.

[13] S. Møller, “Reduction of CO 2 Emissions in the Salmon Farming Industry: The Potential for Energy Efficiency Measures and Electrification,” NTNU, 2019.

[14] T. Mørk, “Energiomlegging av oppdrettsanlegg i Finnmark,” *76*, 2020.

[15] Energi Norge, “Nettilkobling av oppdrett ved elektrifisering,” 2020.

[16] RENERGY Cluster, “OPTIMAL ENERGIBRUK PÅ OPPDRETTSANLEGG,” 2021.

[17] Miljødirektoratet, “Klimakur 2030,” 2020. .

[18] A. Iversen, “El for alle, alle for el?,” 2020.

[19] Ø. Hilmarsen, E. Holte, H. Brendeløkken, and R. Høyli, “Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks–matfisk og post-smolt,” 2018.

[20] “Find a Farm - Aquaculture Stewardship Council.” .

[21] A. A. Nistad, “Current and Future Energy Use for Atlantic Salmon Farming in Recirculating Aquaculture Systems in Norway,” NTNU, 2020.

[22] H. Øyen, “Salmon Evolution Statnett - Nasjonalt kraftsystemmøte,” 2020.

[23] Fiskeridirektoratet, “Akvakulturregisteret.” [Online]. Available: https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Registre-og-skjema/Akvakulturregisteret. [Accessed: 06-Oct-2020].

[24] BarentsWatch, “Fiskehelse.” .

[25] Stortingsmelding 10, “Grønnere og smartere - morgendagens maritime næring,” 2020.

[26] “UNDERLAG TIL HANDLINGSPLAN FOR GRØNN SKIPSFART Barometer for grønn omstilling av skipsfarten Klima-og miljødepartementet,” 2019.

[27] M. Eide, N. Rivedal, J. H. Leonhardsen, Ø. Sekkesæter, and H. Helgesen, “Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk,” p. 53, 2019.

[28] “EFFEKT: Energinettverk fiskeflåte - energisparende og konkurransefremmende tiltak.” .

[29] S. Møller, “Energy Demand and Electrification Potential of the Atlantic Salmon Farming Industry in Norway. Student report (EPT-P-2018-81,” NTNU, 2018.

[30] K. Martinsen, “Utvikling i fartøystørrelser, motor-og drivstoffteknologi Kystverket,” 2018.

[31] “Norske utslipp av klimagasser - Miljøstatus for Norge.” [Online]. Available: https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/. [Accessed: 13-Mar-2021].

[32] “Oppdrettslaks til heile verda - SSB.” [Online]. Available: https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/oppdrettslaks-til-heile-verda. [Accessed: 11-Mar-2021].

[33] R. Tveterås *et al.*, “Verdiskapingspotensiale og veikart for havbruk til havs.”

[34] N. fiskeridepartementet, “Havbruk til havs,” Jan. 2019.

[35] N. fiskeridepartementet, “Meld. St. 16 (2014-2015),” Mar. 2015.

[36] Finansdepartementet, “NOU 2019: 18,” Nov. 2019.

[37] F. kystdepartementet, “Verdiskaping basert på produktive hav i 2050,” Aug. 2012.

[38] N. fiskeridepartementet, “Forutsigbar og bærekraftig vekst i havbruksnæringen,” Mar. 2015.

[39] PWC, “Sjømatbarometeret 2021,” 2021. .

[40] N. fiskeridepartementet, “Regjeringen skrur på trafikklyset i havbruksnæringen,” Feb. 2020.

[41] “Utviklingstillatelser.” .

[42] “Oversikt over søknader om utviklingstillatelser.” .

[43] Norsk Fiskerinæring, “Laksplosjonen verden kanskje ville ha,” no. 8, 2020.

[44] K. Caldeira *et al.*, “The Ocean as a Solution to Climate Change Five Opportunities for Action Ove Hoegh-Guldberg EXPERT AUTHORS.”

[45] S. for hav og Arktis, “Sameksistens og bærekraft,” 2020. .

[46] “Mowi 4.0 - Mowi Company Website.” .

[47] NVE, “NVE Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2020 – 2040,” 2020.

[48] Olje- og energidepartementet, “Regjeringens hydrogenstrategi.”

[49] Enova, “Klimavennlig avfallsgjenvinning til landbasert lakseoppdrett,” 2018. .

[50] L. Borge, “Tar laksen på land,” *Aftenposten Innsikt*, 2018.

[51] K. Berg, “Bachelor ’ s project Marthe Vågen Electrification of offshore fish farms,” no. May, 2020.

[52] O. J. Nyhus, “Life Cycle Assessment of Farmed Salmon, Comparing a Closed with an Open Sea Cage System,” no. June, 2014.

[53] J. Larsen, L.-C. Ervik, B. Klakegg, M. Sandberg, E. Johansen, and R. Holmøy, “SMITTESIKRING OG BIOSIKKERHET I NORSK LAKSEPRODUKSJON,” 2020.

[54] “Havfarmen Jostein Albert — Nordlaks.” .

[55] “Finansiering - Moen Marin.” .

[56] K. Sundseth, S. Møller-Holst, and K. Midthun, *Hydrogenproduksjon ved småkraftverk Delprosjekt 2: Flerbruk av hydrogen, oksygen og varme ved Smolten settefiskanlegg*. 2017.

[57] Forskningsrådet, “Berlevåg blir sentrum for stort EU-prosjekt.” .

[58] Smart Senja, “Smart Senja.” .

[59] ENOVA, “Storskala demo Smart infrastruktur – Nord-Senja,” 2019. .

[60] A. Bjartnes, L. E. Mangset, and M. Gjølberg, “Hvordan møte klimarisiko?,” no. 06, 2018.

[61] Miljødirektoratet, “Fact sheet: We are changing the oceans,” 2019.

[62] Laksefakta.no, “Hvorfor rømmer laksen?,” 2018. .

[63] Linn Therese Skår Hosteland, “Uværet Nina preger rømmingsbildet 2015 – Tor blir kraftigere - Kyst.no,” *kyst.no*, 2016. .

[64] Salt, “Klimarisiko i sjømatnæringen,” *KBNN*, 2020. .

[65] Miljødirektoratet, “Veileder. Fiske og havbruk. ,” 2019. .

[66] V. H. Tordal and S. Bakka, “Klimarisiko i oppdrettsnæringen,” NMBU, 2020.

[67] IPCC, “Technical Summary — Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate,” 2019. .

[68] L. Falconer, S. S. Hjøllo, T. C. Telfer, B. J. McAdam, Ø. Hermansen, and E. Ytteborg, “The importance of calibrating climate change projections to local conditions at aquaculture sites,” *Aquaculture*, vol. 514, p. 734487, Jan. 2020.

[69] Finansdepartementet, “Klimarisiko og norsk økonomi,” 2018.

[70] G. Sarà, M. C. Mangano, M. Johnson, and A. Mazzola, “Integrating multiple stressors in aquaculture to build the blue growth in a changing sea,” *Hydrobiologia*, vol. 809, no. 1. Springer International Publishing, pp. 5–17, Mar-2018.

[71] N. Prytz, F. S. Nordbø, J. D. . Higham, and H. Thornam, “Utredning om konsekvenser for Norge av klimaendringer i andre land,” 2018.

[72] C. Zhao *et al.*, “Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 114, no. 35, pp. 9326–9331, Aug. 2017.

[73] iLaks.no, “Denne oppdretteren er den første i bransjen som slutter å transportere laks med fly,” 2020. .

[74] Norges sjømatråd, “Flere er blitt mer skeptiske til sjømatnæringen,” 2020. .

[75] Norges sjømatråd, “Hva ble vektlagt i de ulike sjømatmarkedene?,” 2020. .

[76] Fiskeridirektoratet, “Lønnsomhetsundersøkelse for produksjon av laks og regnbueørret - Profitability survey on the production of Atlantic salmon and rainbow trout,” pp. 1–89, 2016.

[77] ENOVA kunnskap, “Oppdrettsanlegg.” .

[78] M. Badiola, O. C. Basurko, R. Piedrahita, P. Hundley, and D. Mendiola, “Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review,” *Aquac. Eng.*, vol. 81, pp. 57–70, May 2018.

[79] E. A. Bouman, E. Lindstad, A. I. Rialland, and A. H. Strømman, “State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review,” *Transp. Res.*

Part D Transp. Environ., vol. 52, Part A, pp. 408–421, 2017.

[80] iLaks.no, “Tester ut bølgekraft ved oppdrettsanlegg,” 2015. .

[81] Kyst.no, “Flytende solcelleanlegg skal gi havbruksnæringen utslippsfri drift - Kyst.no.” .

[82] E. Hjetland, “Bolt Sea Power. Wave conversion technology by Fred. Olsen,” 2019. .

[83] L. Ager-Wick Ellingsen and J. I. Jenssen, “Marine propulsion systems,” 2020. .

[84] J. Anders, “Comparison of Alternative Marine Fuels SEA\LNG Ltd,” 2019.

[85] “Toyota Norge | Slik virker fremtidens superbatteri.” .

[86] Kystrederiene, “Maritim Stortingsmelding - Innspill fra Kystrederiene,” 2020.

[87] Intrafish.no, “Midtnorsk Havbruk skal teste verdens første hydrogenelektriske arbeidsbåt,” 2020. .

[88] DNV-GL, “NULL-OG LAVUTSLIPPSTEKNOLOGI PÅ HURTIGBÅTSAMBAND Mulighetstudie for Askøysambandet og Nordhordlandsambandet,” 2017.

[89] Skyss, “TRAFIKKPLAN BÅT HORDALAND,” 2017.

[90] S. A. Transportutvikling AS, Siv.ing Ola Lilloe Olsen, Profjord AB, Stadt Towing Tank AS, Fosen, Fosen Namsos sjø, “Fremtidens utslippsfrie hurtigbåter. En løsning basert på innovasjonsevne, driftserfaring og faglig kunnskap.” 2019.

[91] DNV-GL, “Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip,” 2017.

[92] “- Miljøet er viktig for Norges fremste merkevare - Skipsrevyen.no.” .

[93] “Oskar, Olafur og Tom hentet hjem sin nye arbeidsplass til Bolga | Intrafish.no.” .

[94] “Klimatiltak: Slam fra smolt-og oppdrettsanlegg til biogass Mer landbasert smolt kan øke biogassproduksjonen.”

[95] L.-C. Ervik, “Områdeorganisering,” 2019.

[96] “Satser for fullt på arbeidsbåter med batteridrift - Kyst.no.” .

[97] “Gjennombrudd for vannbåren fôring.” .

VEDLEGG 1: KLIMASPOR FOR NÆRINGEN

Tabell 26 Klimaregnskap for norsk oppdrettsnæring

Aktivitet	**Klimagassutslipp** tonn CO2e og andel av total	**Kommentar**
Smoltproduksjon	177 177 (2%)	Inkludert med en smolt input på 26,2 kg smolt/tonn slakteklar fisk og et klimaspor på smolten på 4,38 kg CO2e/kg smolt. Norsk elkraft er antatt brukt i produksjon av smolt.
Fôr	5 815 782 (69%)	Økonomisk fôrfaktor 1,28 kg fôr/kg rundvekt og fôrets klimaspor 3,14 kg CO2e/kg fôr
Oppdrettsanlegg - utstyr	222 329 (3%)	Inkluderer plast og metaller benyttet i oppdrettsanlegget og dets fortøyninger. Produksjon av materialer og avfallshåndtering etter endt bruk
Oppdrettsanlegg - energibruk	61 287 (1%)	Inkludert med datainnsamling i dette prosjektet og klimasporet 40 kg CO2e/tonn lv produsert
Arbeidsbåter	72 034 (1%)	Inkludert med datainnsamling i dette prosjektet og klimasporet 47 kg CO2e/tonn lv produsert
Service fartøy >15m	96 046 (1%)	Inkludert med datainnsamling i dette prosjektet og klimasporet 63 kg CO2e/tonn lv produsert
Service fartøy < 15m	38 418 (0%)	Inkludert med datainnsamling i dette prosjektet og klimasporet 25 kg CO2e/tonn lv produsert
Brønnbåt	384 184 (5%)	Inkludert med datainnsamling i dette prosjektet og klimasporet 249 kg CO2e/tonn lv produsert
Slakt, Norge	24 744 (0%)	Inkludert med klimaspor på18 kg CO2e/tonn rundvekt input. All produksjon på 1 447 000 tonn går gjennom slakti Norge
Prosessering Europa	43 178 (1%)	Inkludert med et bidrag på 60 kg CO2e/tonn rundvekt input og antakelsen om at 80% av fisken til Europa (901 053 tonn) går til en prosessering lik slakteri, men med Europeisk elektrisitet
Forpakning	231 520 (3%)	Inkludert med antakelsen om at all fisk inkluderer bruk av en EPS kasse som tar 20 kg fisk/boks og at boksen har et klimaspor på 3,2 kg CO2e/kasse. Dette inkluderer produksjon av kassen og avhending
Transport i Norge	124 444 (1%)	All fisk (1 447 000 tonn produktvekt) er inkludert med en vektet transportavstand på 920 km på vei. Denne avstanden er beregnet basert på data fra Fiskeridirektoratet på norsk oppdrett fordelt på kommuner og avstand fra hver kommune til Oslo (Gardermoen). Lastebiltransportens utslipp er 0,076 kg CO2e/tkm. Total fraktet vekt inkludert emballasje og is er 1 779 810 tonn.
Eksport Europa på vei	143 192 (2%)	Antatt at all laks og ørret eksportert til Europeiske land (901 053 tonn produktvekt) blir transportert 1700 km på lastebil med klimaspor 0,076 kg CO2e/tkm. Total transportert masse inkludert emballasje og is er1 108 295 tonn.
Eksport interkontinentalt fly	953 496 (11%)	Inkludert med antakelsen om 170 000 tonn produktvekt blir eksportert interkontinentalt på lastefly og en flyvning på ~8300 km på fly med klimaspor 4560 kg CO2e/tonn last. Dette inkluderer posisjonering av flyet fra Europa til Gardermoen. Fraktet vekt med emballasje og is: 209 100 tonn
Eksport interkontinental sjø	57 526 (1%)	Inkludert med antakelsen om at eksport til Amerika, Asia, Afrika, Oceania og Midtøsten (276 293 tonn produktvekt) som ikke gikk på fly (170 000 tonn produktvekt) går på skip 20 000 km og med et klimaspor 0,022 kg CO2e/t*km. Fraktet vekt med emballasje og is: 130 740 tonn.
Sum	**8 445 358 tonn CO2e (100%)**	

VEDLEGG 2: INNDATA FOR TILTAKSANALYSE

Tabell 27 Parameter for referansescenarioet/dagens status

Kategori	Beskrivelse parameter	Enhet	Verdi
Tradisjonell åpen merd	Energiintensitet fôrflåte, landstrøm	kWh_el/kg lv produsert	0,09
	Energiintensitet fôrflåte, hybrid	kWh_diesel/kg lv produsert	0,14
	Reduksjon i dieselforbruk, hybrid flåte	n/n	0,50
	Energiintensitet fôrflåte, diesel	kWh_diesel/kg lv produsert	0,29
	Andel landstrøm		55 %
	Andel hybrid		6 %
	Andel hybride, personbåter		0 %
	Energiforbruk	kWh/kg lv produsert	0,07
	Andel hybride, arb.båter		1 %
	Energiforbruk	kWh/kg lv produsert	0,15
Settefisk	Energiintensitet, settefisk	kWh_el/kg lv settefisk produsert	7,70
	Innsatsfaktor smolt	kg/kg	0,03
Nye konsepter	Energibærer		100% elektrisitet
	Energibehov, off-shore merd	kWh_el/kg lv produsert	0,17
	Energibærer, off-shore merd		100% fossilt
	Energiintensitet, landbasert	kWh_el/kg lv produsert	8,00
	Energiintensitet, lukket flytende forflåte	kWh_el/kg lv produsert	0,83
	Energibærer, landbasert og lukket flytende		100% elektrisitet for landbasert; 90% landstrøm for lukket flytende

	Andel båter, hybrid		1%
Servicebåt < 15 m	Energiforbruk	kWh/kg lv produsert	0,2
	Andel båter, hybrid		14%
Servicebåt > 15m	Energiforbruk	kWh/kg lv produsert	0,08
	Andel båter, plug-in hybrid		2%
Brønnbåt	Energiforbruk	kWh/kg lv produsert	0,08

Tabell 28 Oversikt over behov for ulike fartøy og endringer sammenlignet med dagens energibruk. X viser at type fartøy benyttes, - indikerer at type fartøy ikke er relevant.

Fartøy	**Mindre fartøy på lokalitet**	**Arbeidsbåt på lokalitet**	**Arbeids-/Servicefartøy < 15 m**	**Servicefartøy > 15 m**	**Brønnbåt**
Tradisjonell, åpen merd	x	x	x	x	x
Lukket flytende	x	x	x 50% av dagens kWh/kg	x	x 50% av dagens kWh/kg
Havbruk til havs	-	-	-	x 50% høyere enn dagens kWh/kg	x 50% høyere enn dagens kWh/kg
Landbasert	-	-	-	-	-
Settefisk	-	-	-	-	-

VEDLEGG 3: UTSLIPPSFAKTORER

Utslippsfaktorer for elektrisitet og lokal produksjon av fornybar kraft

Utslippsfaktorer for elektrisitet er inkludert for norsk og nordisk elektrisitetsmiks, basert på gjennomsnittlig produksjonsdata og eksport/import i perioden 2016-2020 og data fra databasen Ecoinvent v. 3.6. Tilsvarende er det generert en gjennomsnittlig utslippsfaktor for egenproduksjon av elektrisitet, basert på livsløpsutslipp for bølgekraft, solkraft og vindkraft. Utslippsfaktorer for grønn, blå og grå ammoniakk baserer seg på tidligere arbeid av Asplan Viak og inkluderer utslipp for produksjon og transport [83].

Utslippsfaktorer under produksjon av hydrogen og ammoniakk med ulike metoder

Ved produksjon av hydrogen vha. elektrolyse innenlands kan vi benytte norsk el-miks eller nordisk el-miks. Disse har noe ulikt klimaspor grunnet innblanding av fossile kraftverk i energiproduksjonen til våre nordiske naboland som vi ikke har i Norge.

Tabell 29: CO2-klimasporet til norsk og nordisk el-miks per kwh.

	Utslippsfaktor (kg CO2e/kWh)	**Kilde**
Norsk strøm	0,021	Asplan Viak
Nordisk strøm	0,112	Asplan Viak

Med dette som utgangspunkt beregnes utslippet som følge av energibehov under elektrolyse (norsk og nordisk, grønn), dampreformering (SMR, Grå) og dampreformering med karbonfangst (SMR med CCS, blå). For produksjon av nitrogen til bruk i ammoniakkproduksjon, er også energiforbruket til Haber-Bosh prosessen beregnet.[13]

Utslipp fra transport av flytende medium for distribusjon i Norge er også beregnet med distanser vist i Tabell 30.

Tabell 30: Transportdistanser for hydrogen og ammoniakk ved de ulike produksjonsprosessene. Grønt hydrogen er antatt produsert innenlands, mens SMR-produksjon av hydrogen for det meste foregår i E, og en lengre transportdistanse er dermed antatt.

Distanser	**Transport (**km)
Grønn	500
Grå/blå	4000

Med disse forutsetninger, samt tall fra Yara for nitrogenproduksjon basert på Haber-Bosh metodikk, oppnås utslippsfaktorene som vist i Tabell 18 i Kap. 4.2.5.

[13] JEC - Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (Forthcoming) JEC Alternative Fuels Study, Lasocki, J. (2018) 'Ammonia and conventional engine fuels: Comparative environmental impact assessment', E3S Web of Conferences, 44, pp. 1–8. doi: 10.1051/e3sconf/2018440009, Makhlouf, A., Serradj, T. and Cheniti, H. (2015) 'Life cycle impact assessment of ammonia production in Algeria: A comparison with previous studies', Environmental Impact Assessment Review. Elsevier Inc., 50, pp. 35–41. doi: 10.1016/j.eiar.2014.08.003, Wood, S. and Cowie, A. (2004) A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production., For IEA Bioenergy Task 38, ecoinvent 3.5 LCA database, Al-Breiki, M. and Bicer, Y. (2021) 'Comparative life cycle assessment of sustainable energy carriers including production, storage, overseas transport and utilization', Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd, 279, p. 123481. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123481.

VEDLEGG 4: ENERGIBÆRERE FOR FARTØY

LNG er ikke tatt med i vurderingen av klimatiltak. Bruk av LNG kan føre til en reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med diesel, men potensialet er begrenset av nivået av utslipp av metan i eksosgassen og motorteknologi. Basert på vurderinger fra DNV-GL kan et grovt antatt snitt på 10 % utslippsreduksjon legges til grunn for aktuelle fartøy om en ikke vet akkurat hvilken LNG-løsning som vil tas i bruk [30]. Andre kilder basert på LCA-analyser antyder at LNG gir høyere klimagassutslipp for enkelte motortyper enn vanlig marinegassolje, noe som er viktig når LNG vurderes som energibærer.

Tabell 31 Kilde: NCE Maritime Cleantech 2020 https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2020/11/Presentasjon-LCA-of-marine-propulsion-systems.pdf

Drivstoff og energibærer	**Bruk** kg CO2e/kWh	**WTT (Well-to-tank)** kg CO2e/kWh	**WTW (Well-to-wheel)** kg CO2e/kWh
MGO	0,268	0,043	0,311
LNG i motor med 4-takt DF diesel-syklus	0,203	0,069	0,273
LNG i motor med 4-takt DF Otto-syklus	0,258	0,069	0,329

Viktige egenskaper, fordeler og ulemper ved ulike energibærere er presentert i Tabell 32.

Tabell 32 Egenskaper, fordeler og ulemper ved ulike energibærere.

Energibærer	**Egenskaper, fordeler og ulemper**
Batterielektrisk	- Lav energitetthet (høy vekt), men svært god virkningsgrad. Egner seg for saktegående sjøtransport eller korte distanser for hurtiggående transport. - Selv med batteribytter hvert 10. år vil dette alternativet kunne gi et positivt energiregnskap ved bruk i egnede ruter og på norsk og nordisk energimiks.
Hydrogen (brenselcelle)	- Høy energitetthet i flytende (nedkjølt) form. Egner seg til bruk i de fleste typer fartøy og distanser. Krever spesialtank (kryogenisk) og egne batterier for mellomlagring av strøm. Avgir varme under forbrenning som kan brukes i fartøyet. - Ikke-eksisterende distribusjonsnett per 2021. - Det produseres per i dag veldig lite grønn hydrogen (ved elektrolyse). - Blått hydrogen (fra naturgass med karbonfangst) er ennå ikke på markedet i stor skala. - Grått hydrogen (fra naturgass uten karbonfangst) produseres i større mengder (71 MT på årsbasis i verden), men gir ikke bærekraftsfordeler. - Manglende regelverk for hydrogen i skip - Det er knyttet teknisk og regulatorisk usikkerhet rundt lagring og påfylling av hydrogen i nærheten av folkemengder på grunn av fare for antenning. (Er ventet at dette vil bli løst fremover).

Ammoniakk (brenselcelle)	- Utslippsfritt under forbrenning. Egner seg til bruk i de fleste typer fartøy og distanser. Krever eget batteri for mellomlagring av strøm. - Svært god virkningsgrad (opp mot 70 %) dersom man bruker det i brenselceller - Både hydrogenet og nitrogenet i drivstoffet bør komme fra lavutslippsproduksjon. - Bærekraftig ammoniakk er ikke på markedet i stor skala enda. - Kan lagres i same type tanker som diesel, men nedkjølt til -33 ° C - Kan distribueres på same måte som diesel. - Har lav energitetthet (lavere enn hydrogen, diesel og biodiesel mm.) -Egne sikkerhetsforskrifter for ammoniakk ifm. eksplosive og helsefarlige stoffer må overholdes
Biodrivstoff	- Biodrivstoff som er basert på produksjon av planter som fortrenger jordbruk til fødevarer er ikke sett på som bærekraftig. - Finnes både i gassform (LBM- liquid bio methane) og flytende form (bioolje, HVO – hydrogenated vegetable oils). - Biodrivstoff som er produsert fra restprodukt fra fødevare- og annen produksjon, såkalt 4. generasjons biodrivstoff er bærekraftig, men lite tilgjengelig på markedet. - Kan lagres i samme type tanker og distribueres likt som diesel. - Produktet “Biodiesel b5” eller «b7» er et produkt som består av fra 5 eller 7 % bioolje og resterende del fossil diesel, har større CO2-utslipp enn marinegassolje (MGO) som brukes på de fleste fartøy på grunn av dieselen sin høyere raffineringsgrad og derav økt energibruk. Først når innblandingen av ren bioolje overstiger om lag 11 % vil blandingen ha likt CO2-utslipp som MGO. Det er knyttet kontroverser til produksjon og bruk av biodrivstoff både som følge av at det legger beslag på landområder som kunne vært brukt til produksjon av fødevarer (iLUC effects), avskoging av viktig regnskog og fordriving av urfolk. Denne problematikken kan unngås dersom det bare blir brukt avfall fra landbruket til produksjon av biodrivstoff, såkalt 4. generasjons drivstoff.