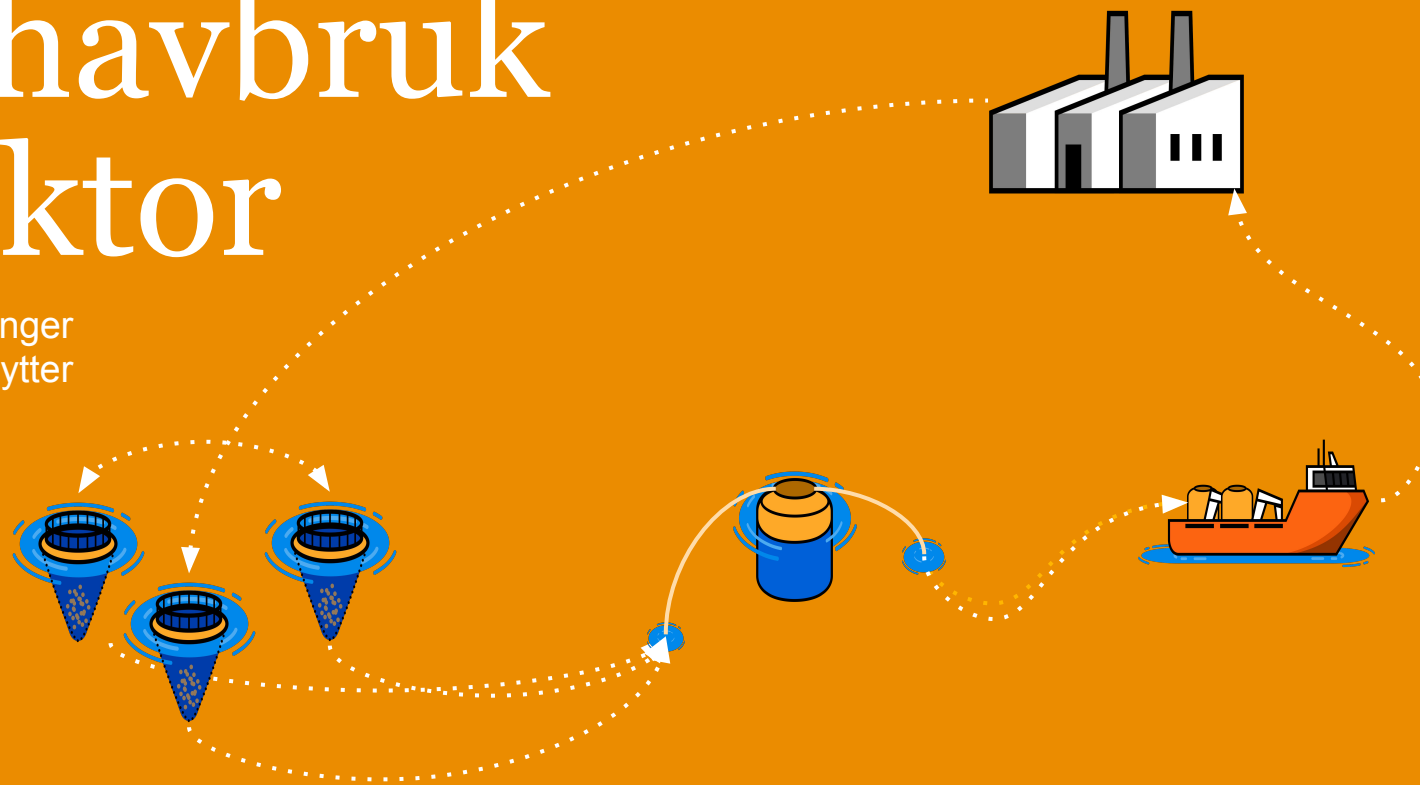


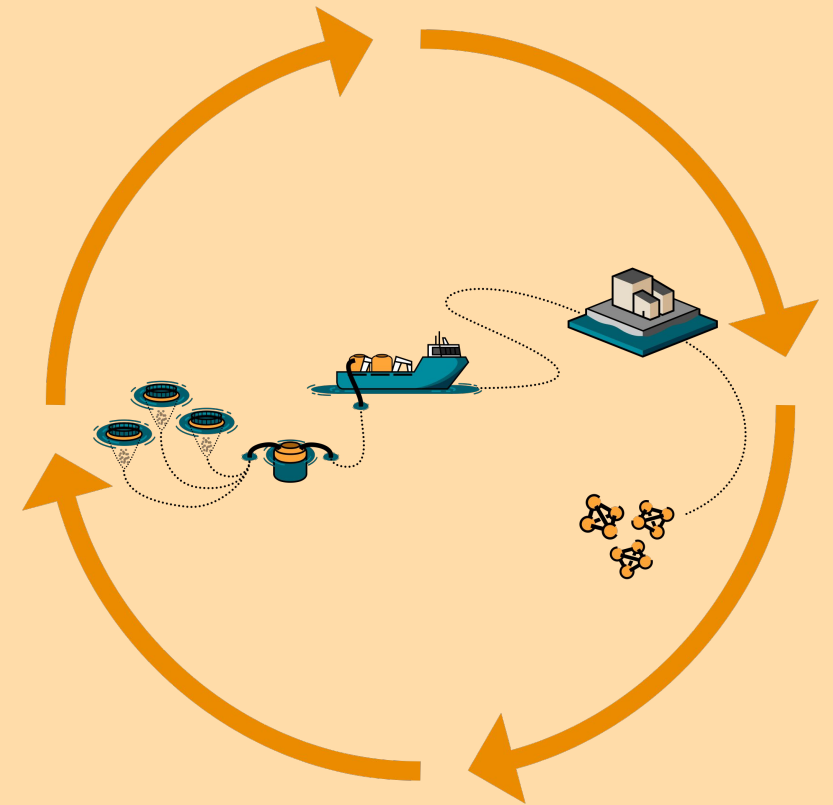
Ny grønn verdikjede med slam fra havbruk som innsatsfaktor

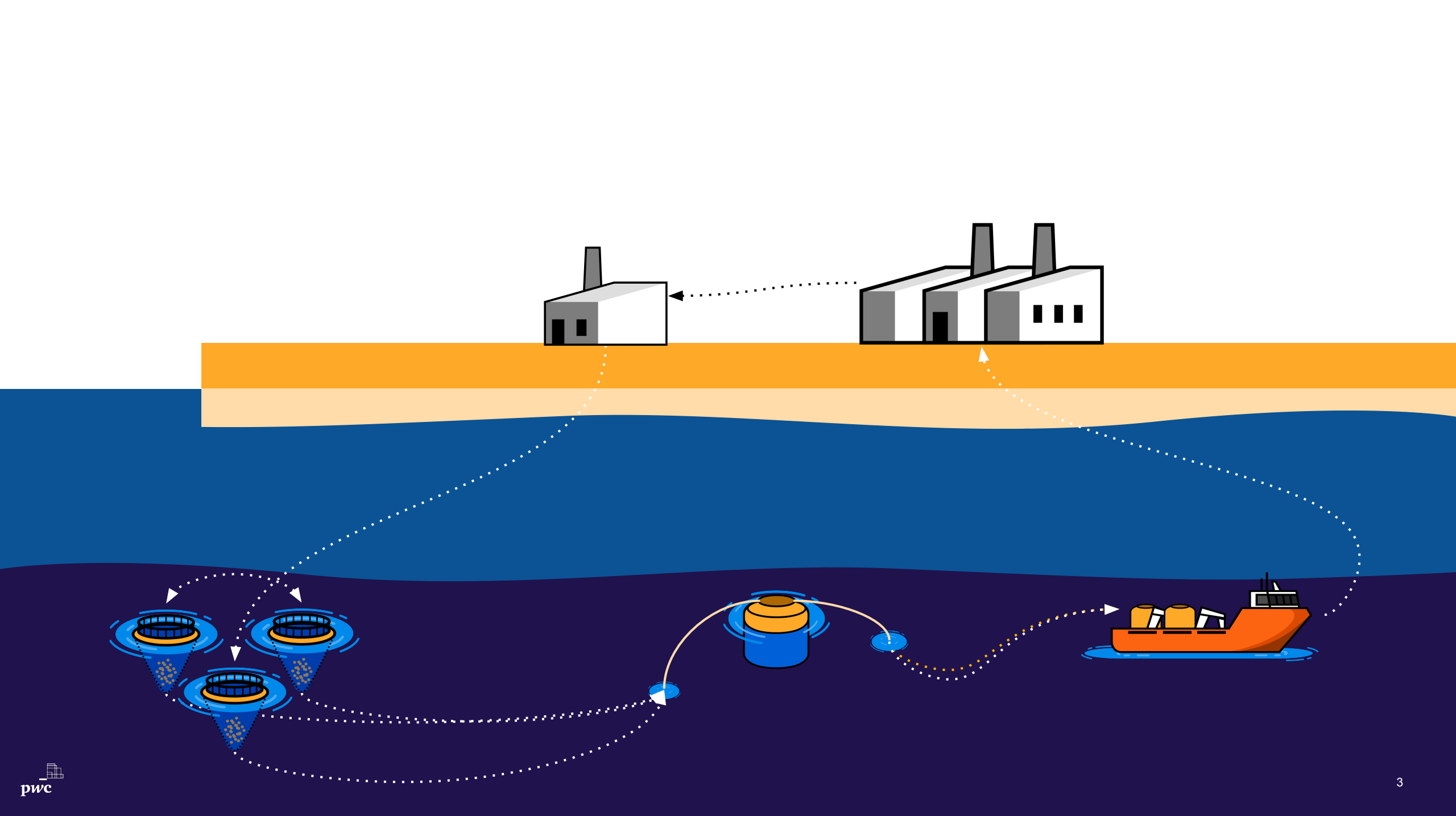
Et kunnskapsgrunnlag som belyser muligheter og utfordringer knyttet til etableringen av en ny grønn verdikjede som utnytter ressurser på avveie i havbruket gjennom oppsamling av fiskeslam.



Innholdsfortegnelse

00 SAMMENDRAG	s. 04
01 INTRODUKSJON OG BAKGRUNN	s. 06
02 FORMÅL OG METODE	s. 17
03 EN NY SIRKULÆR VERDIKJEDE	s. 22
04 ANBEFALINGER FOR VIDERE ARBEID	s. 40
05 KILDER & DISCLAIMER	s. 43
06 VEDLEGG	s. 48





00

Sammendrag

Sammendrag

Havbruksnæringen skal vokse betydelig frem mot 2050 og for å ivareta Norge sitt konkurransefortrinn må vi utvikle sirkulære verdikjeder som utnytter ressurser lokalt.

For å lykkes krever det høy grad av samarbeid og involvering på tvers av næring, noe kunnskapsgrunnlaget bærer preg av.

Målet med kunnskapsgrunnlaget er å bidra til å øke farten på den grønne omstillingen på Vestlandet. Ved å løfte og videreformidle kunnskap er det et mål å få oppdrettsnæringen til å se verdien i fiskeslammet gjennom en sirkulær verdikjede. Den sirkulære verdikjeden utnytter fiskeslam som en ressurs til bl.a. produksjon av ny energi i form av biogass, samt resirkulert fosfor som igjen kan brukes til fiskefôr.

Gjennom prosjektet er det identifisert fire hovedmuligheter (illustrert til høyre), i tillegg til noen øvrige muligheter som det er verdt å utforske videre. Beregninger gjennomført i prosjektet viser bl.a. at dersom det skal produseres 5 millioner tonn biomasse per år (MTPA) innen 2050 er det mulig å oppnå en høstbar mengde slam på omtrent 1 MTPA, noe som igjen kan bidra med 3 500 GWh til 9 500 GWh i form av biogass. Dette kan være med på å tette energigapet vi ser ut til å møte fremover. I tillegg kan verdikjeden bidra til å redusere etterspørselsoverskuddet etter fosfor med et estimert volum på 33 500 tonn per år (TPA) i 2050 (høstbar fosfor), samt høstbart nitrogen på 57 000 TPA.

Kunnskapsgrunnlaget viser at det er et betydelig potensiale for å realisere den sirkulære verdikjeden, men at det er noen gap som må tettes fremover for å kunne realisere verdikjeden. Den aller viktigste faktoren er tilstrekkelig tilgang på fiskeslam - for uten fiskeslam eksisterer ikke den sirkulære verdikjeden.

IDENTIFISERTE HOVEDMULIGHETER



Oppsamling av slam kan forhindre forurensing av fjorder, muliggjøre høyere lokalitets-MTB og unngå forlenget brakklegging



Fiskeslam er godt egnet som substrat for biogassproduksjon. Gjennom produksjon av ny energi samt uthenting av viktige ressurser fra bioresten, vil oppdretternes fotavtrykk bedres og bidra med fornybar energi fremover



Hele 70% av fosforet som er i fiskefôr tas ikke opp av fisken, men blir en del av fiskeslammet. Opptak av fiskeslam og resirkulering av fosfor vil være mer miljøvennlig, og med tilgjengelig teknologi også renere enn fosforen som utvinnes i gruvene i dag.



Til tross for stor etterspørsel fra gjødselprodusenter og landbruket, finnes det få resirkulerte nitrogenprodukter tilgjengelig på markedet.

Fiskeslam er en god kilde til nitrogen og den høstbare mengden hele 18 700 tonn i 2022.

01

Introduksjon og bakgrunn

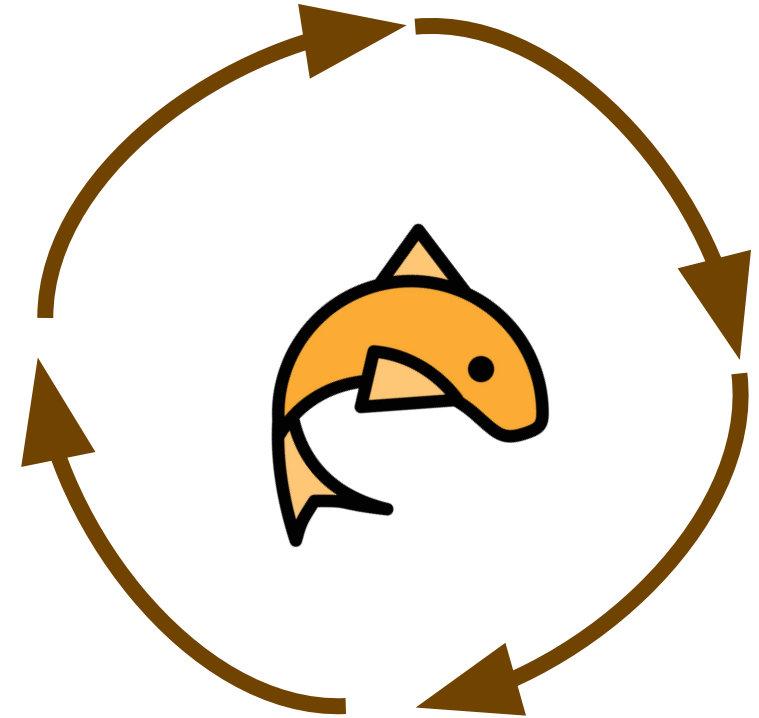
Havbruksnæringen må tenke nytt og utnytte ressurser lokalt

Havbruksnæringen skal vokse betydelig frem mot 2050 og for å lykkes må næringen tenke nytt og utnytte ressurser lokalt. Næringen må sikre bærekraftig modernisering av eksisterende produksjon og ikke minst sikre bærekraftig vekst. For å ivareta Norge sitt konkurransefortrinn må vi utvikle sirkulære verdikjeder som utnytter ressurser lokalt.

I dag klarer ikke Vestlandet å utnytte de verdifulle ressursene som finnes i fiskeslam og -ensilasje, hvor ressurser blir solgt til Danmark eller sluppet ut på havbunnen under oppdrettsmerdene og forringer vannkvaliteten.

For grønn omstilling, bærekraftige fjorder, og lokal verdiskapning er det et stort potensiale i å bruke reststoffet som innsatsfaktor til produksjon av fornybar energi og videreforedling av bioresten der bla. fosfor er en viktig ressurs.

Med bakgrunn i dette ble prosjektet satt i gang for å utarbeide et kunnskapsgrunnlag som skal tydeliggjøre insentivene med å ta del i en helt ny grønn verdikjeden som bruker fiskeslam og -ensilasje som innsatsfaktor og dermed bidra til nullutslipp i 2030.



Arbeidet med å utnytte slam som en verdifull ressurs begynte flere år tilbake...



...hvor resultatet ble opprettelsen av ARAL-nettverket i 2020



ARAL

AQUAPRO



RAGN SELLS



ARAL-nettverket består av fire aktører som har gått sammen om en oppsamlingsløsning av fiskeslam og -ensilasje:

En "kombihatt" samler både dødfisk og slam fra samme enhet og pumper biomassen gjennom separate rørsystemer til fôrflåten. En filtermodul på fôrflåten øker tørrstoffinnholdet fra ca. 0,2 % til 10 %.

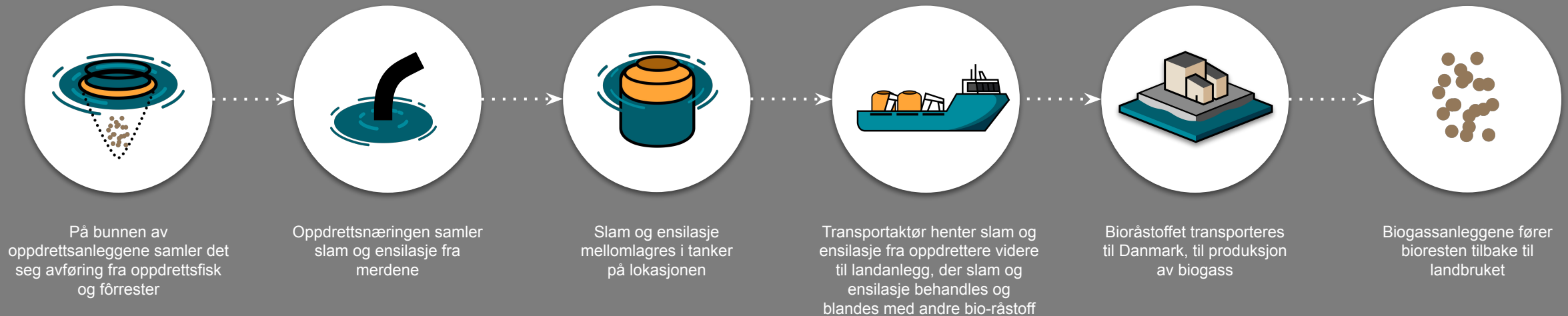
Slammet pumpes deretter automatisk inn i en 100-200 kubikkmeter flytende tank for luktfri lagring og effektiv logistikk med spesialfartøy.

Videre prosessering av massen bidrar til blant annet:

- Produksjon av biogass
- Produksjon av fosfor (P)
- Uttak av nitrogen (N)
- Ernæring i insekt- eller algeproduksjon

ARAL-nettverkets verdikjede bruker i dag fiskeslam og -ensilasje som innsatsfaktor

Det eksisterer en verdikjede i dag hvor slam og ensilasje samles opp, blandes med andre bioråstoff, før det eksporteres til Danmark for produksjon av biogass og bioresten tilføres landbruket som gjødsel. Verdikjeden er imidlertid ikke sirkulær og utnytter ikke ressurser på avveie på en optimal måte. I tillegg er det liten skala på dagens oppsamling av fiskeslam. Det er ønskelig å videreutvikle dagens verdikjede, slik at volumene som samles opp bidrar til å bedre miljøavtrykket i havbruksnæringen, slik at substrat som fosfor og nitrogen kan brukes som fiskefôr og til gjødsel i landbruket.



Det er flere trender som rører seg lokalt og globalt som verdikjeden påvirker og vil påvirkes av



Havbruksnæringen skal vokse betydelig de neste 30 årene, men er presset til å vokse på en bærekraftig måte for å sikre norsk eksport og den globale matsikkerheten.



Nok mat til dagens og fremtidig befolkning er en av nåtidens største uløste utfordringer, og det er viktig å finne bærekraftige løsninger som sikrer global matsikkerhet.



I takt med veksten innen havbruk vil også produksjonen av fiskefôr måtte vokse, men det må komme fra bærekraftige kilder.



For å lykkes med en grønn omstilling både lokalt på Vestlandet og globalt, er det stort behov for fornybar energi.

I det følgende vil vi gå inn på relevante trender som er relevante for verdikjeden

Oppdrettsnæringen står overfor store utfordringer - næringen har en ambisjon om å øke produksjon av fisk med 3,4 mill. tonn innen 2050 samtidig som de må etterleve strenge miljøkrav

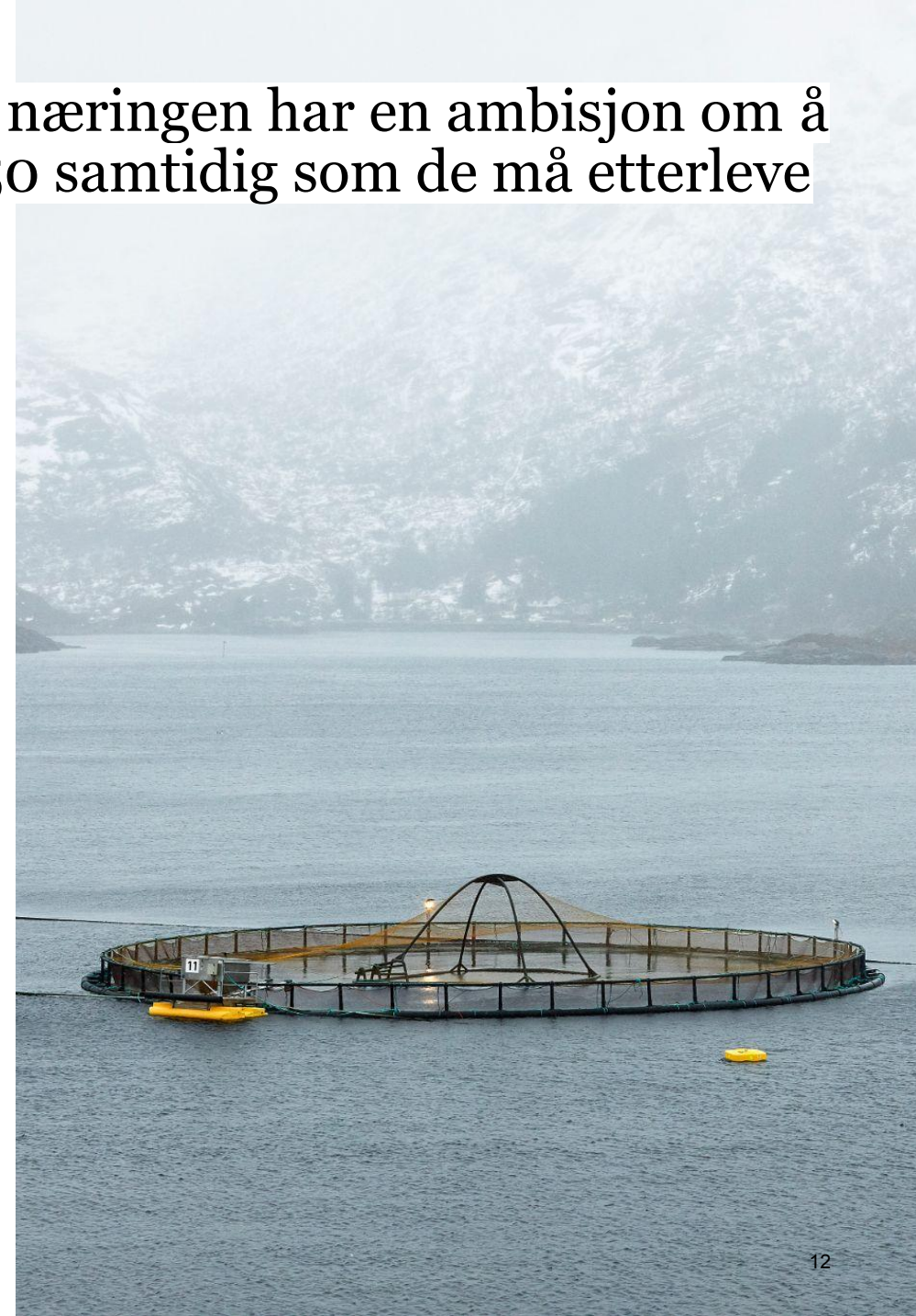
Det er en uttalt ambisjon i Norge om å øke produksjonen av oppdrettsfisk fra dagens 1,6 millioner tonn til 5 millioner tonn innen 2050. For å vokse må havbruksnæringen bli mer bærekraftig og sirkulær, samt ivareta god fiskehelse og -velferd, ettersom gjeldende regelverk og strategier stiller krav til bærekraftig vekst.

En måte å vokse på er gjennom grønn vekst i trafikklyssystemet. Havbruksmeldingen fra 2014 (Meld. St. 16) anbefaler at utslipp av næringssalt* som indikator bør vurderes på sikt dersom produksjonen flerdobles med gjeldende driftsløsninger og lokalitetsstruktur (Meld. St. 16 (2014–2015)).

I regjeringens strategi for sirkulær økonomi anbefales det økte regulatoriske krav som virkemiddel for å samle opp slam (Deloitte/Klima- og miljødepartementet, 2020). Vekst, i tillegg til trafikklyssystemet, tilbys også gjennom miljøteknologitillatelse, noe som er under behandling av myndighetene. Forslaget, som er forventet å bli ferdigstilt i begynnelsen av 2023, stiller strenge miljøkrav og det er blant annet et forslag om krav om minimum 60 % oppsamling av slam (Nærings- og fiskeridepartementet, 2021).

En annen måte å øke produksjonen på er ved å øke eller fullt ut utnytte den maksimale tillatte biomassen på en gitt lokalitet. En forutsetning er at miljøforholdene under lokaliteten er god, noe som kan påvirkes av de naturlige forholdene til lokaliteten (vannkvalitet og utskiftning). Undersøkelser viser at de fleste lokalitetene i Norge har god eller meget god miljøstandard over tid, men rundt 10 % har dårlig eller meget dårlig tilstand (Nofima, SINTEF Ocean og BarentsWatch, 2023). Dette tilsvarer cirka 50 lokaliteter av rundt 500 som blir undersøkt, hvert år. Konsekvensene av uakseptabel miljøtilstand kan være krav om brakklegging og reduksjon av utslippstillatelse.

*Næringsalter omfatter hovedsakelig nitrogen og fosfor i form som skilles ut via gjeller og nyrer.



Global mangel på nok og sikker mat er en økende bekymring hvor Norge bl.a. kan bidra gjennom økt produksjon av norsk bærekraftig oppdrettsfisk

Klimaendringer, pandemi og krig har aktualisert bærekraftig matproduksjon og -sikkerhet.

828 millioner mennesker uten tilgang til nok, trygg og ernæringsriktig mat i 2021 har gjort global matsikkerhet til en av dagens store, uløste utfordringer og det er viktig å sikre befolkningen nok mat, både i dag og i fremtiden. Matsikkerhet innebærer at det er tilstrekkelig mat, men også at maten er produsert på en bærekraftig måte, er trygg, sunn og god. I november 2022 la regjeringen frem sin nye strategi for matsikkerhet «Kraftsamling mot svolt – ein politikk for auka sjølvforsyning», der økt lokal og bærekraftig produksjon trekkes frem som viktig i kampen mot sult (Regjeringen, 2022a).

Atlantisk laks er ikke den største oppdrettsarten globalt basert på volum, men den er best i klassen på å konvertere fôr til biomassevekst med en fôrfaktor på 1,3 (Mowi, 2022). Som verdens største produsent og eksportør av atlantisk laks, må den norske havbruksnæringen ta en viktig rolle i å dekke dagens og fremtidig matbehov. Dette vil kreve økt produksjon av fisk og fiskefôr, i tillegg til økt sirkularitet for å gjenbruke tilknyttede ressurser på avveie.

Ett av tiltakene som regjeringen har iverksatt for å tilrettelegge for bærekraftig vekst er lanseringen av det nye nasjonale samfunnsoppdraget “Bærekraftig fôr”. Gjennom samfunnsoppdraget skal regjeringen bidra til at alt fôr til husdyr og oppdrettsfisk i Norge skal komme fra bærekraftige kilder. Dette skal bidra til å redusere klimagassutslipp i norsk fôrindustri, sikre bedre utnyttelse av ressursene våre og bedre matsikkerheten vår (Regjeringen, 2022b).

For å øke bærekraften i norsk matproduksjon har regjeringen også opprettet Bionova, som skal være en finansieringsmekanisme til støtte for klimatiltak med mål om å redusere klimagassutslipp i landbruket. Bionova skal sikre utvikling av bioøkonomien knyttet til landbruk, skogbruk og havbruk - som blant annet skal føre til økt selvforsyning av fôr i landbruk og utvikle løsninger der havbruksnæringen kan brukes som en ressurs (Regjeringen, 2022c).

“*Et samfunnsoppdrag på bærekraftig fôr, i tillegg til opprettelsen av Bionova, er viktige bidrag til mer bærekraftig matproduksjon med lavere klimaavtrykk.*”

Landbruks- og matminister
Sandra Borch
(Regjeringen, 2022d)



For å sikre bærekraftig matsikkerhet og vekst innen havbruk, er man avhengig av næringsstoffet fosfor, men fosfor har en høy forsyningsrisiko og det fryktes en global fosformangel i fremtiden

Fosfor er et essensielt næringsstoff for planter og dyr, og er et viktig komponent i mange biologiske molekyler deriblant DNA og ATP. Fosfor finnes i alt fra knokler og tenner til blod, muskelfibrer og nerve- og hjernesubstans. Menneskekroppen inneholder til eksempel ca 700-900 gram fosfor og trenger daglig tilførsel på 600-750 milligram av næringsstoffet.

Fosfor er imidlertid en ikke-fornybar ressurs som utvinnes som råfosfat i gruver i Vest-Sahara og Kina (i tillegg til noen mindre gruver i Europa, Finland og Russland), og det finnes en begrenset tilgjengelig mengde fosfor på jorden. Gruvene er i ferd med å tømmes, og kvaliteten har i de siste årene gått betraktelig ned (Brod & Øgaard, 2021).

Ettersom over 90% av fosforet som utvinnes i gruver går til matproduksjon (86 % til mineralgjødning og 10 % til dyrefôr), er vi globalt svært avhengig av en begrenset ressurs. I 2011 etablerte Europakommisjonen en liste over kritiske råstoffer med høy økonomisk viktighet for EU og høy forsyningsrisiko. Allerede i 2014 ble råfosfat lagt til denne listen ((Brod & Øgaard, 2021), (European Commission, 2020), (Easy Mining, 2021)).

Dersom det skulle oppstå en global fosformangel, vil det få alvorlige konsekvenser for industrier som landbruk og havbruk, der fosfor tilsettes landbruksjord som gjødning og blir brukt som ingrediens eller mineraltilskudd i fiskefôr. Bare i 2019 (Brod & Øgaard, 2021) ble det tilført 12 000 tonn fosfor i form av mineralgjødning i landbruket i Norge.

Fremtidens strategier tilknyttet økt matproduksjon er i stor grad koblet til landbruk og havbruk, og det er viktig at vi håndterer bruken av fosfor på en forsvarlig måte. Vi er derfor avhengig av å finne andre kilder til denne verdifulle ressursen, og gjenbraker fosforet som er i omløp. Dette vil kreve teknologiutvikling og endring i regelverk, noe som allerede er igangsatt.

“ Hvert år havner 14 000 tonn fosfor i sjøen i form av fôrrester og ekskrementer fra oppdrettsfisk. Dette er mer fosfor enn den norske bonden tilfører åkeren sin i form av mineralgjødning.

Forsker NIBIO
Eva Brod
(Nibio, 2021)



Kilde: Calcium phosphate, EasyMining

Norge står i en usikker situasjon når det gjelder fremtidig energisikkerhet hvor behovet for ny fornybar energi er stort

For å nå Norges nye klimamål kreves det store mengder fornybar energi. Gjennom regjeringens nye klimamål til FN, i forbindelse med COP27, har Norge forpliktet seg til å redusere norsk klimagassutslipp med 55 % innen 2030* (Regjeringen, 2022e). Det innebærer en reduksjon i utslipp fra 2021 til 2030 på 50 %, noe som tilsvarer 25,77 millioner tCO₂e (PwC Norge, 2022).

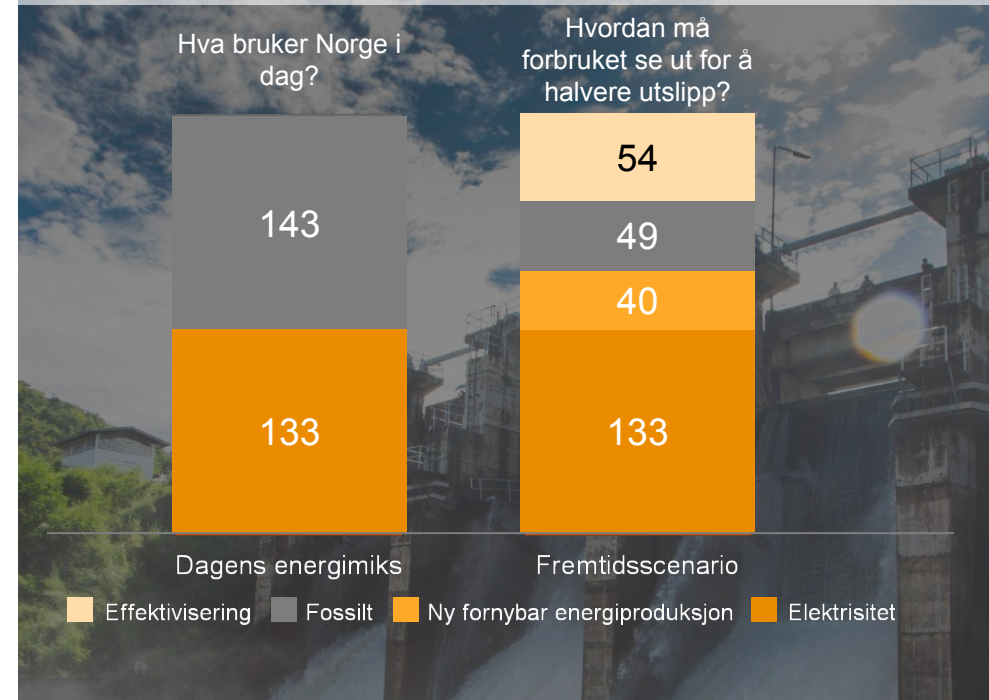
I samme periode skal Norge utvikle nye grønne verdikjeder og arbeidsplasser slik at eksport økes med 50% utenom olje og gass innen 2030. NHOs veikart definerer mulige verdikjeder, samt har en ambisjon om at det skal skapes 250 000 nye arbeidsplasser innen 2030.

PwC Norge (2022) sin nylige rapport trekker frem at norske CO₂-utslipp kan halveres ved å bytte ut 95 TWh fossil energi med 30-50 TWh fornybar energi. I en overgang fra fossil energi til fornybar energi viser scenario at om fire år vil kraftkonsumet ha økt betydelig knyttet til elektrifisering av norsk sokkel, kraftkrevende industri, transport og datasentre. Samtidig er det ikke planlagt større prosjekter knyttet til utbygging av kraftproduksjon frem mot 2026. Dette betyr at om fire år kan vi befinne oss i en uheldig situasjon hvor vi bruker mer strøm enn vi produserer i Norge, noe som vil få store negative konsekvenser for virksomheter som er avhengig av tilgang på rimelig og stabil kraft (PwC Norge, 2022). I tillegg er det behov for ny fornybar energi som kritisk innsatsfaktor i de nye grønne verdikjedene. PwC estimerer at dette vil kreve ytterligere 30 TWh.

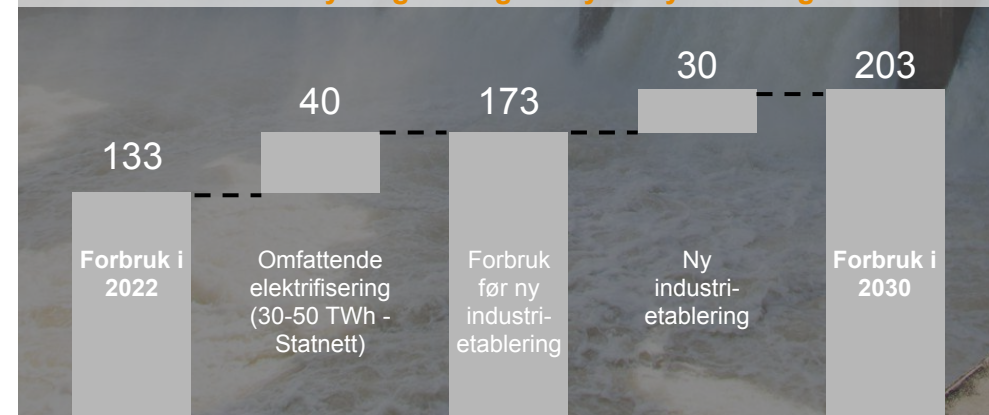
Alle løsninger som kan bidra med energi som har lavt miljøavtrykk vil være høyt etterspurt i tiden fremover. Produksjon av biogass vil være en viktig del av energimiksen i årene fremover.

*Referansen for utslippsreduksjon er fra 1990 til 2030

Omfattende elektrifisering (energibruk målt i TWh per år)



Omlegging fra fossil til fornybart og tilrettelegging for ny industri vil kreve betydelige mengder ny fornybar energi



Havbruksnæringen kan bidra til at Vestland fylke blir nasjonalt ledende på grønn næringsutvikling

Vestland fylke har et hårete mål om å bli: “det leiande verdiskapingsfylket basert på berekraftig bruk av naturressursar, grønn næringsutvikling og innovasjon” (Vestland fylkeskommune, 2022). For å nå dette målet skal fylket gjennom handlingsprogrammet satse på; grønn næringsutvikling, areal til næringsutvikling, kompetanseutvikling i arbeidslivet, samt innovative og inkluderende samfunn.

Særlig relevant for havbruksnæringen er grønn næringsutvikling, der delmålene er å ha den ledende posisjonen internasjonalt i grønne verdikjeder, og et innovativt og grønt næringsliv i hele fylket. Dette innebærer strategier der aktører må sikre produksjon og bruk av fornybar energi, samordne innsatsen i havnæringene, utvikle hub'er for grønn omstilling, redusere de største punktutslippene samt utslipp fra transport, bruke innovasjon og teknologi for grønn omstilling i matproduksjon og legge til grunn sirkulære prinsipper for å redusere innsatsfaktorer, avfall og utslipp (Vestland fylkeskommune, 2022).

I kunnskapsgrunnlaget for nasjonal strategi for sirkulær økonomi blir havbruk særlig trukket frem som avgjørende for å øke sirkularitet i norsk matproduksjon gjennom utnyttelse av verdifulle restråstoffer, resirkulering av næringsstoffer og produksjon av bærekraftig dyrefôr (Regjeringen, 2020).

Ved å utnytte de verdifulle ressursene som finnes i slammet, og som ikke blir samlet opp og utnyttet i dag, kan næringen bidra til at Vestlandet når sitt hårete mål ved å blant annet bli mer sirkulær, utnytte teknologi for grønn omstilling og bidra til at vi sikrer mer bioenergi på Vestlandet.



02

Formål og metode

Prosjektets formål har vært å skape et kunnskapsgrunnlag som øker farten på den grønne omstillingen

Prosjektets resultatmål

KORT SIKT

1

Involvering av næring

Samarbeid på tvers av selskap og bransjer står sentralt i prosjektet. Det har vært stort fokus på høy grad av involvering fra næringslivet.

Når man samler ulike næringer og aktører får man gode forutsetninger for å løse problemer og lage et godt kunnskapsgrunnlag.

2

Beskrive mulighetsrom for fosfor

Knappheten på fosfor og den høye etterspørselen åpner for nye og store muligheter. Gjenvinning av fosfor vil åpne for nye forretningsmuligheter, hvor Norge og vestlandet vil bli mindre avhengig av import.

Det har derfor vært viktig å kartlegge potensielle muligheter knyttet til resirkulert fosfor.

3

Beskrive mulighetsrom for fornybar energi

Kunnskapsgrunnlaget skal kartlegge muligheter for produksjon av fornybar energi basert på fiskeslam og -ensilasje som innsatsfaktor.

Samtidig er det et mål å se på muligheter for verdiskapning av biorest - eksempelvis til produksjon av fosfor, nitrogen og gjødsel.

4

Skape ringvirkninger ift. arbeidsplasser

Det er et mål at prosjektet på lengre sikt skal gi ringvirkninger ift nye arbeidsplasser gjennom både innsamling, energi-reduksjon, bruk av biorest, fosforfabrikk og logistikk knyttet til hvert ledd i verdikjeden.

5

Redusere dagens miljø- og klimaeffekter

Prosjektet har som mål å bidra til å redusere Norges klimagassutslipp til luft og sjø gjennom en sirkulær verdikjede hvor substrat fra oppdrettsnæringen blir gjenbrukt som innsatsfaktor til produksjon av ny energi og fosforgjenvinning.

LANG SIKT

Kunnskapsgrunnlaget er et resultat av involvering av verdikjedens nøkkelaktører og øvrige andre interessenter

Metode



Skrivebordsanalyse

Gjennomgang av eksisterende datagrunnlag og rapporter



Fokusintervjuer

Intervjuer av prosjektets nøkkelinteressenter, deriblant oppdrettsaktører og andre aktører tilknyttet verdikjeden



Workshops

Tre arbeidsmøter med prosjektgruppen; to fysisk og ett digitalt. Diskusjoner basert på innsamlet data og analyse.



Kvalitativ og kvantitativ analyse

Analyse av innsamlet data fra intervjuer og workshops. I tillegg til utarbeidelse av modell for å verifisere og oppdatere tallgrunnlag.



Informasjonsmøte

Presentasjon av verdikjeden / et digitalt informasjonsmøte om arbeidet med den nye grønne verdikjeden









Prosjektgruppe





Innsikt fra eksperter i bransjen har vært et viktig bidrag til kunnskap i rapporten.

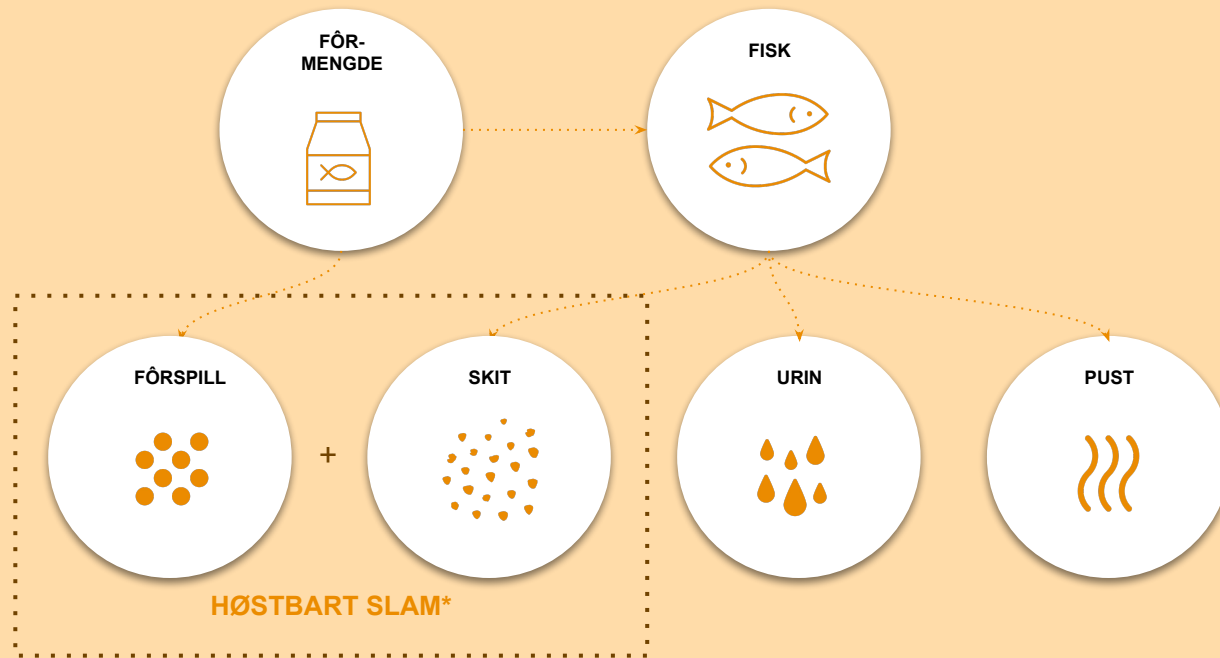
I tillegg til listen til høyre har også selskapene i arbeidsgruppen bidratt med innsikt

Selskap	Kategori	Ekspert
 NCE Seafood Innovation	Sjømatorganisasjon	Einar Wathne Styreleder
 Statsforvaltaren i Vestland	Myndighetsorgan	Tom Pedersen Statsforvalter
 SjømatNorge	Sjømatorganisasjon	Krister Hoaas Regionssjef Havbruk Vest
 BREMNES SEASHORE	Oppdretter	Geir Magne Knutsen Fagsjef Strategi og Utvikling
 Grieg Seafood	Oppdretter	Jostein Iversen Global Bærekraftsrådgiver
 MOWI	Oppdretter	Trond Rosten Group Manager Freshwater and Closed Production Technology Catarina Martins Chief Technology and Sustainability Officer
 Cargill	Fiskefôr	Marianne Koch Bærekraftsansvarlig i Cargill Aqua Nutrition
 EasyMining	Fosfor	Yariv Cohen Leder for FoU

Det er utarbeidet en modell for å beregne oppdaterte verdier på høstbart slam, nitrogen og fosfor som er brukt for å illustrere fremtidig potensiale til oppsamling av slam

Det er bl.a. tatt utgangspunkt i beregningsmodeller fra SINTEF (2021) med flere*. Den tar utgangspunkt i volum biomasse i 2021, og ganger dette med en gjennomsnittlig fôrfaktor, som gir en total fôrmengde for 2022. Høstbart slam beregnes videre som en summering av hvor mye fôr som fisken ikke spiser (fôrspill) og hvor mye av det som fisken spiser, som kommer ut igjen som skit, minus det som kommer ut som pust, urin eller oppløses i vann. Modellen er sensitiv for løslarheten på skit og fôrspill, fordøyelse og andel fôrspill (se vedlegg 1 og 2 for mer detaljert modellforklaring og for sensitivitetsanalyser).

MODELLFORKLARING



- Fôrmengde er beregnet på biomasse på 1,6 MTPA ganget med en fôrfaktor på 1,29 (gjennomsnitt fra 2018-2021, med tall fra fiskeridirektoratet)
- Fôrspill er en faktor som varierer i stor grad i forskningslitteraturen. I denne studien er 5% brukt noe som tilsvarer midt i intervallet.
- Skiten er fôrintak minus det fisken klarer å ta opp og det som løses opp via urin eller oksygen
- Fôrspill + skit = høstbart slam*
- Fosfor og nitrogen er andeler av total mengde slam
- Alle parameterverdier er hentet fra forskningsartikler fra SINTEF eller Nofima

*Kilder brukt til beregning: T., Aas & T., Åsgård. (2017), T.,Aas. (2016), T., Aas (2021), X.,Wang et al. (2012), O., Torrissen et al. (2016), M.,Føre et al.(2016)

03

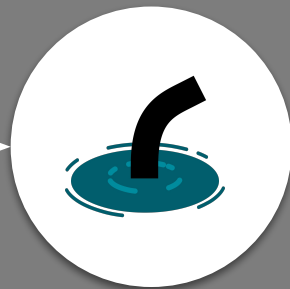
En ny sirkulær verdikjede

Dagens verdikjede er ikke sirkulær og utnytter ikke ressurser på avveie på en optimal måte

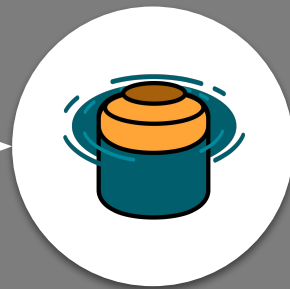
Det eksisterer en verdikjede i dag hvor slam og ensilasje samles opp, blandes med andre bioråstoff, før det eksporteres til Danmark for produksjon av biogass og bioresten tilføres landbruket som gjødsel. Verdikjeden er imidlertid ikke sirkulær og utnytter ikke ressurser på avveie på en god måte. I tillegg er det liten skala på dagens oppsamling av fiskeslam. Det er ønskelig å videreutvikle denne verdikjeden, slik at volumene som samles opp bidrar til å bedre miljøavtrykket i havbruksnæringen og slik at substrat som fosfor og nitrogen kan brukes som fiskefôr og til gjødsel i landbruket.



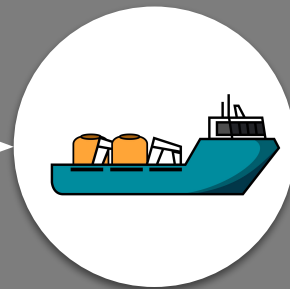
På bunnen av oppdrettsanleggene samler det seg avføring fra oppdrettsfisk og fôrrester.



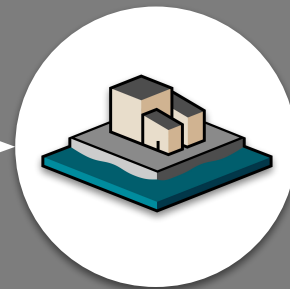
Havbruksnæringen samler slam og ensilasje fra merdene.



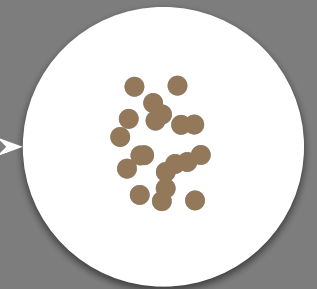
Slam og ensilasje mellomlagres i tanker på lokasjonen.



Transportaktør henter slam og ensilasje fra oppdrettere videre til landanlegg, der slam og ensilasje behandles og blandes med andre bioråstoffer



Bioråstoffet transporteres til Danmark, til produksjon av biogass



Biogassanleggene fører bioresten tilbake til landbruket

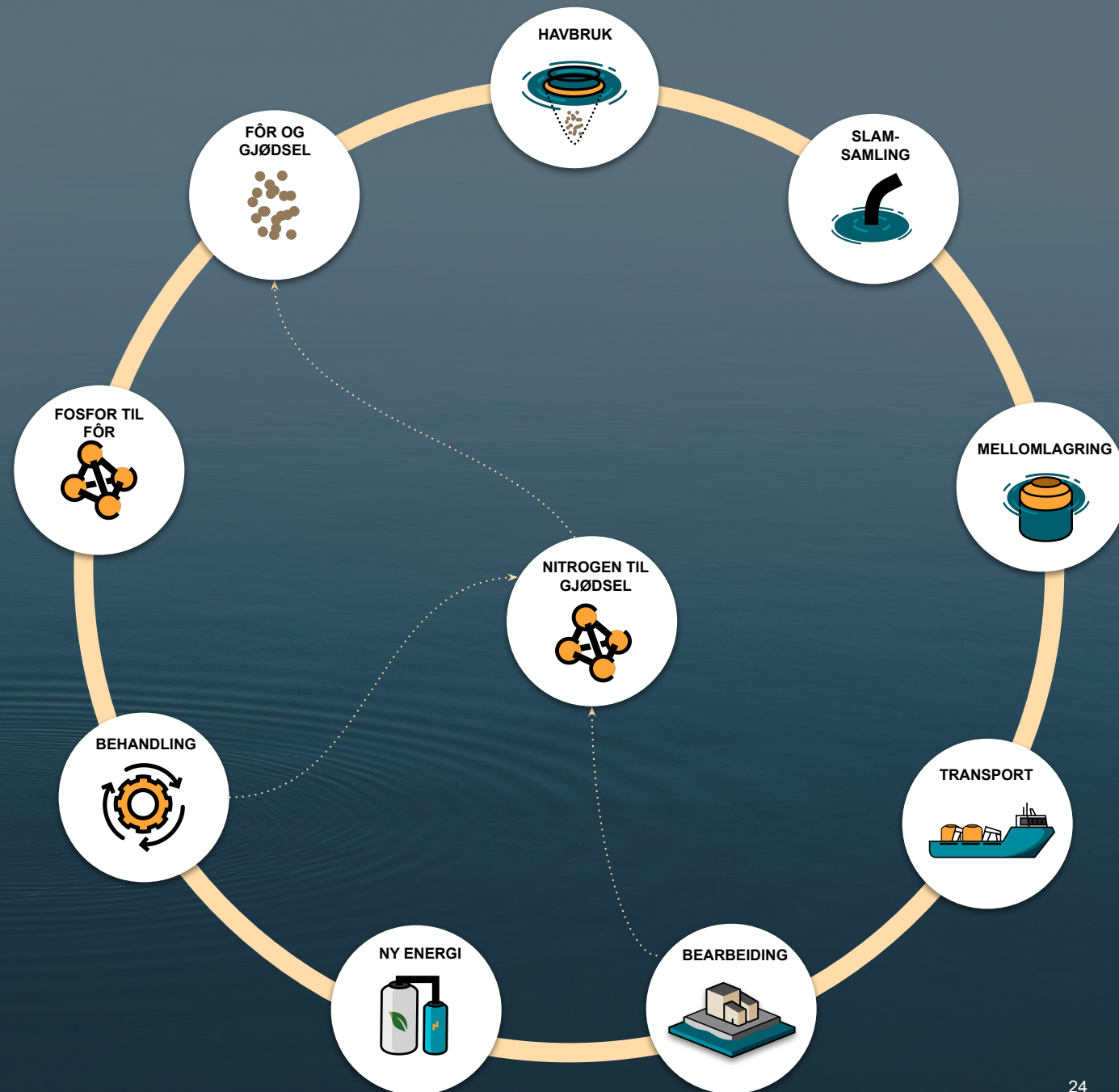
Den nye grønne verdikjeden fra havbruk til fiskefôr...

Til høyre er den nye grønne verdikjeden skissert og som bl.a. leveres av partnerne Aquapro, Ragn-Sells Havbruk, Amof Fjell og Framo Havbruk, også kalt ARAL-nettverket. Denne gruppen drifter i dag prosessen fra oppsamling av slam fra havbruk til produksjon av ny energi i form av biogass. Gjennom tidligere arbeid er det blitt identifisert en rekke utfordringer og muligheter knyttet til dagens prosess. Hovedproblemet er at viktige ressurser ikke utnyttes optimalt og havner på avveie.

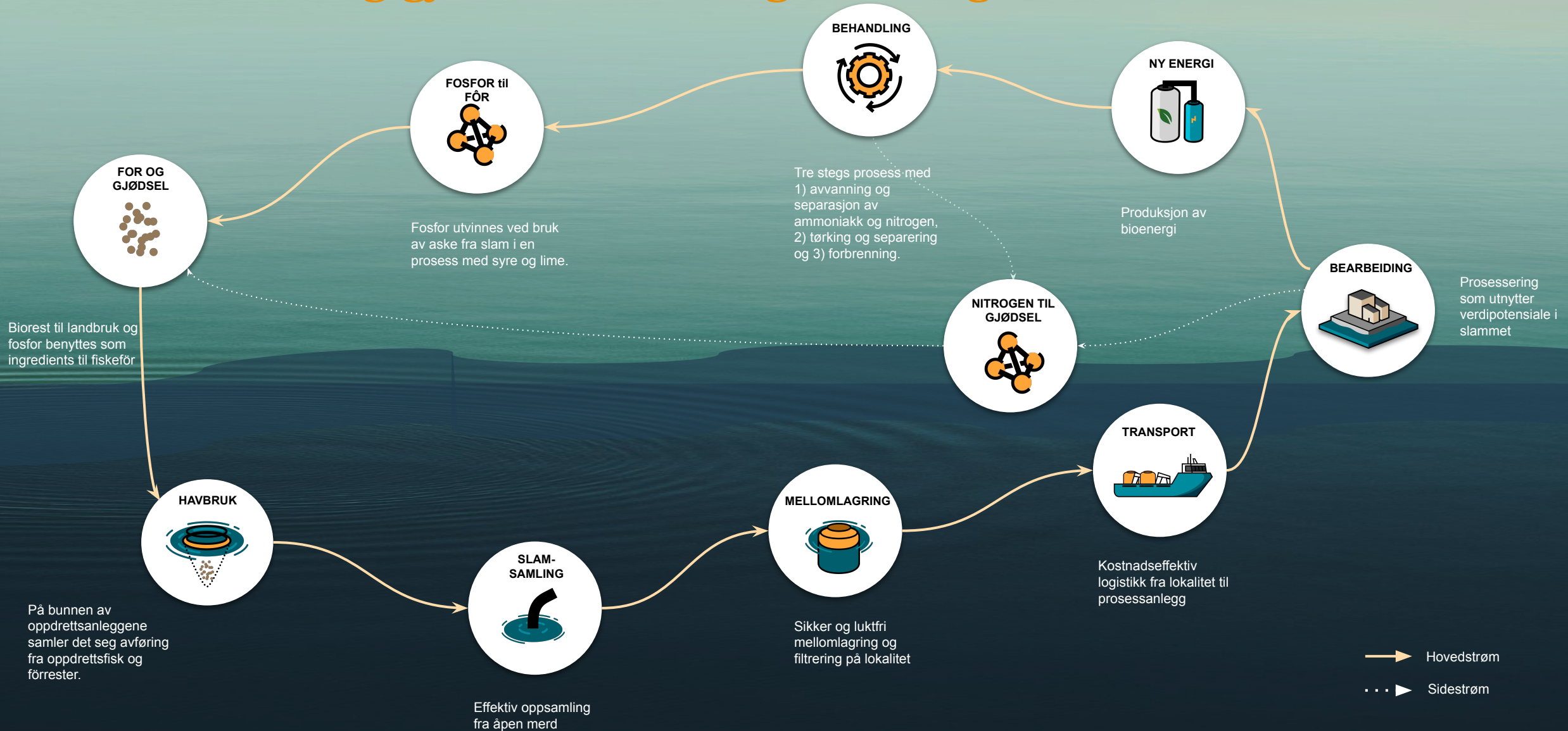
Sammen har nettverket sett mulighetene for å tilføye sirkelen med gjenvinning av fosfor og nitrogen, samt hvordan disse næringsstoffene kan brukes inn i produksjon av fiskefôr og gjødsel til landbruk, og dermed lukke verdikjeden.

En viktig forutsetning i verdikjeden vil være at produksjon av ny energi som i dag produseres i Danmark, flyttes til Norge for å bidra til å sikre Norges energiforsyning samt redusere dagens klimautslipp fra transport.

Den sirkulære verdikjeden, samt dens muligheter og utfordringer belyses i detalj videre i kapittelet.



...er sirkulær og gjenvinner viktige næringsstoffer



Viktige aktører er involvert i verdikjeden, men det mangler fremdeles nøkkelaktører for å lukke sirkelen

Til høyre er en oversikt over aktørene som er involvert eller tiltenkt i de ulike leddene i verdikjeden.

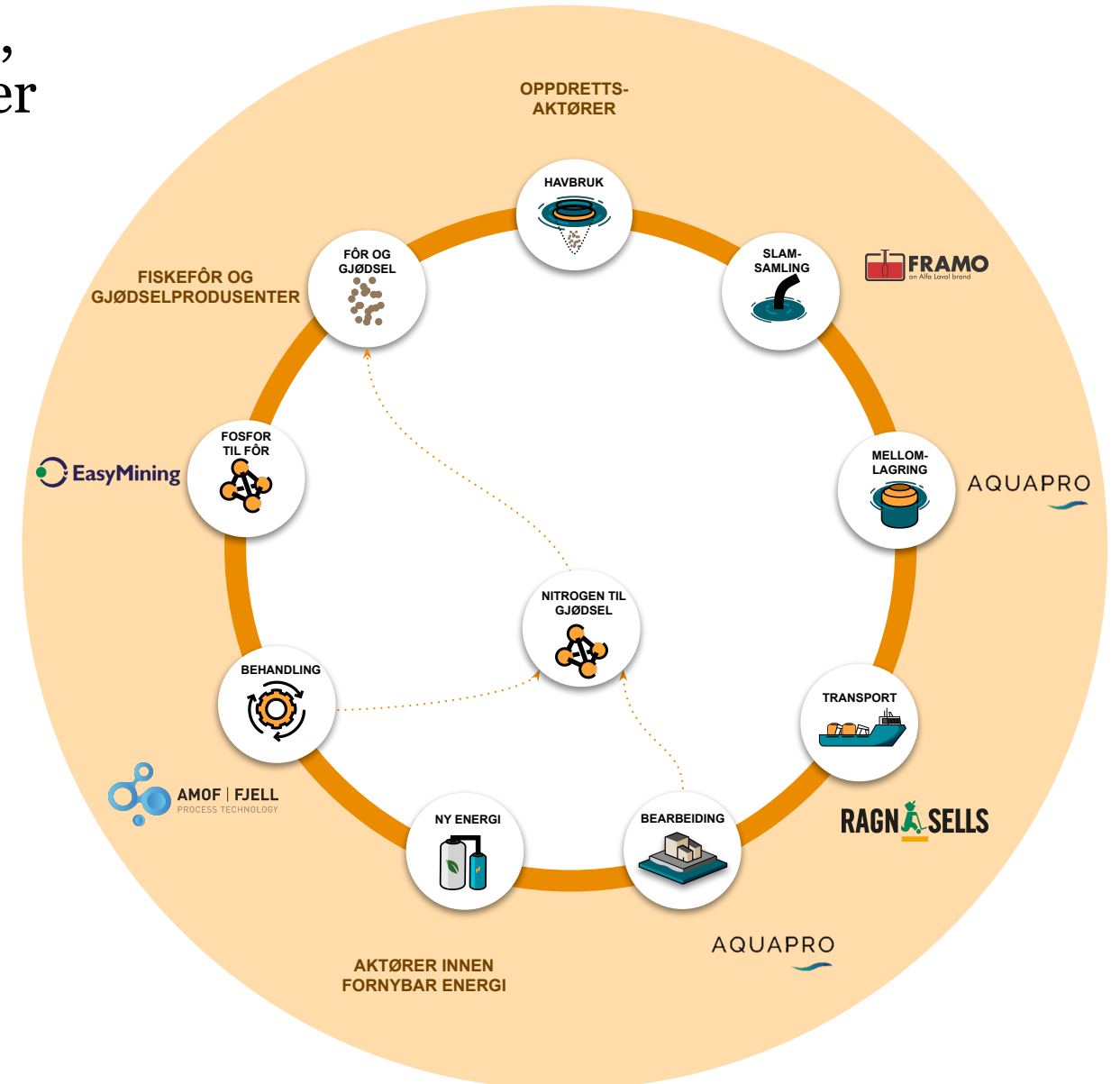
Leddene i verdikjeden som inkluderer oppsamling av slam, mellomlagring og transport og bearbeiding er allerede operasjonelt i dag, hvor bl.a. Eide Fjordbruk, Lerøy Seafood Group, Bremnes Seashore og Lingalaks er leverandører av substrat inn i verdikjeden - ved at de har investert i oppsamlingsutstyr.

Det bearbeidede slammet sendes i dag til Danmark og per i dag finnes det ingen storskala aktører som inngår i verdikjeden som produserer bioenergi.

Utvinning av resirkulert fosfor er på teststadiet i Schkopau and Helsingborg i regi av EasyMining, men finnes ikke i oppskalert form ennå.

Når det gjelder kunder som skal anvende nitrogen til gjødsel eller fosfor til fôr, er det fremdeles tidlig fase, men større aktører har vist stor interesse. Gjennom intervju er det kommet fram at det bør undersøkes om det er andre næringsstoffer som kan hentes ut fra slam, hvor bl.a. Omega 3 også er en begrenset ressurs. I tillegg avdekker intervjuer med slutt kunder at de er opptatt av å sikre at fosforen benyttes der den er best egnet, om det er til fiskefôr, gjødsel eller annen fôrproduksjon.

Til tross for at flere viktige partnere er involvert i verdikjeden gjenstår det å tette noen hull for å lukke sirkelen.



Det har vært identifisert et stort behov for å undersøke særlig fire hovedmuligheter i den nye grønne verdikjeden

Med utgangspunkt i allerede identifiserte muligheter for den grønne verdikjeden har prosjektgruppen høsten 2022 analysert hvilke av disse, og eventuelle andre, som er mest aktuelle for realisering. Tidslinjen for de prioriterte mulighetene er illustrert i kapittel 4.

Oppsamling av slam fra havbruk er den første og viktigste av de prioriterte hovedmulighetene. Uten stabil mengde av substratet slam, kan ingen av de øvrige mulighetene realiseres. Oppsamling av slam er allerede etablert virksomhet, med planlagt oppskalering på kort sikt. I tillegg er slam og ensilasje til biogass, resirkulert fosfor til fôr og nitrogen til gjødsel identifisert som hovedmuligheter og planlagt realisert på kort og mellomlang sikt.

Bioråolje er en mulighet som anbefales å jobbe videre med, men som ikke prioriteres som hovedmulighet i dette caset ettersom det må opparbeides mer kunnskap for å vurdere mulighetsrommet.

Tørket slam til gjødsel/fosfor eksisterer i dag ved eksport til land utenfor EU, men kan ikke brukes til gjødsel i Norge i dag. I tillegg er det stor etterspørsel etter resirkulert fosfor til gjødsel/organisk gjødsel og flere aktører har vist interesse for utviklingen av det resirkulerte fosforet. Resirkulert fosfor er etter gjeldende lovverk lov å bruke som gjødsel, men ikke som organisk gjødsel eller til dyrefôr. Det er også vist interesse for resirkulert fosfor til industrielle applikasjoner (Intervju med Easy Mining).

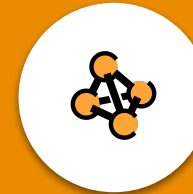
HOVEDMULIGHETER



SLAM FRA
HAVBRUK



SLAM TIL
BIOGASS



FOSFOR TIL
FÔR



NITROGEN TIL
GJØDSEL

ØVRIGE MULIGHETER



SLAM TIL
BIORÅOLJE



FOSFOR TIL
ORGANISK GJØDSEL



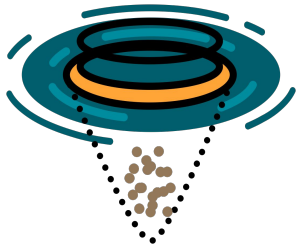
TØRKET SLAM TIL
GJØDSEL



FOSFOR TIL
INDUSTRIELLE
APPLIKASJONER

De fire prioriterte hovedmulighetene er videre detaljert ut...

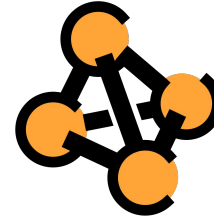
SLAM FRA
HAVBRUK



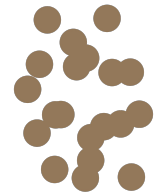
SLAM TIL
BIOGASS



FOSFOR TIL
FÔR



NITROGEN
TIL GJØDSEL



Oppsamling av slam fra havbruk kan bidra til å bedre oppdretternes omdømme, men ikke minst også gi mulighet for å øke produksjonen. Slik kan slam gå fra å være avfall til å bli en ressurs

Havbruksnæringen er under press fra flere kanter. På den ene siden er det behov for betydelig vekst for å sikre den globale matsikkerheten og eksportinntekter til Norge. På den andre siden får næringen tyn for ikke å produsere bærekraftig, med forurensing av fjordene, høy utslippsfaktor i fôrproduksjon og negativ påvirkning på villaksbestanden for å nevne noen. Det er viktig at naturen og omgivelsene rundt skal tåle trykket og belastningen av økt produksjon. Oppsamling av fiskeslam fra merdene kan være en viktig del av løsningen for både å øke produksjonen av fisk, løse miljøproblemer og redusere fotavtrykket i næringen.

I intervju med Statsforvalteren fremkommer det at oppsamling av slam kan muliggjøre høyere lokalitets-MTB (se caseeksempel på s. 30) eller brukes som tiltak for oppdrettere med lokaliteter som har fått dårlig miljøstandard ved undersøkelser. Sistnevnte er dermed et mildere tiltak, enn forlenget brakklegging og redusert MTB, som er de vanligste.

Slam vil også kunne bedre omdømme i næringen. Dette fremkommer som spesielt aktuelt for aktører som driver oppdrett i fjordene, som i større grad opplever innsigelser, klager fra naboer og demonstrasjoner. Opphenting av slam kan gi et generelt inntrykk av at oppdretterne ønsker å redusere utslipp og respekterer omgivelsene. Intervjuer med aktører i oppdrettsnæringen viser også at oppsamling av slam er viktig både knyttet til å få til bærekraftig vekst, skape arbeidsplasser inne i fjordene og sikre vekst i lokalmiljøene.

Alle produksjonsanlegg har krav om å daglig samle opp dødfisk (ensilasje). Oppsamlingsteknologi muliggjør også bedring i matsikkerheten på merder, ved at løsningene tilrettelegger for å skille fôringssted og håndtering av dødfisk fra hverandre.

“

«Noen oppdrettere vil kunne øke produksjonen hvis de reduserer utslippene, og noen vil kunne fortsette driften på lokaliteter som er mindre egnet for drift i åpne merder. Slam kan gå fra å være avfall til å bli en ressurs»

**Statsforvalteren i Vestland
Tom N. Pedersen**



Caset under er ment for å illustrere potensialet for økt lokalitets-MTB og forhindring av forlenget brakkleggingstid

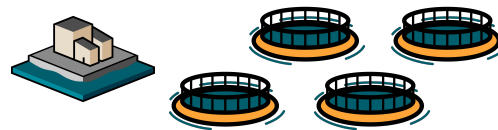
Case - Ole Oppdretter

Ole Oppdretter driver et lite oppdrettsselskap med to matfisktillatelser og to lokaliteter. Disse lokalitetene har navnene Laksholmen og Fiskeøya. På alle lokaliteter gjennomføres det overvåkning av miljøtilstanden, gjennom såkalte B-undersøkelser.

Laksholmen er en god lokalitet som det tradisjonelt har vært lite problemer med. Det er gode gjennomstrømningsforhold og høye oksygennivåer på lokaliteten, noe som gir gode produksjonsforhold. I B-undersøkelsen fikk lokaliteten tilstandsgrad **1 = meget god**.



Fiskeøya er derimot en lokalitet det har vært problemer med. De siste årene har kvaliteten i bunnforholdene vært nedadgående. I den siste B-undersøkelsen fikk lokaliteten tilstandsgrad **3 = dårlig**. Ole Oppdretter frykter at tilstandsgraden forverres til tilstandsgrad 4 = meget dårlig og at han dermed vil få en avgrensning i lokalitets-MTB eller forlenget brakkleggingstid. Forlenget brakkleggingstid kan medføre at han ikke får produsere fisk på lokaliteten på en lang stund.

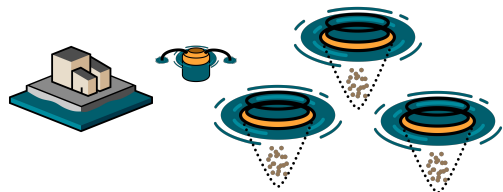


B-undersøkelse

I en B-undersøkelse blir det tatt fysiske prøver av bunnforholdene under og rundt anlegget. Prøvene gir en lokalitetstilstand fra «meget god» til «meget dårlig» (1-4), hvor tilstand 4 blir regnet som overbelastning.

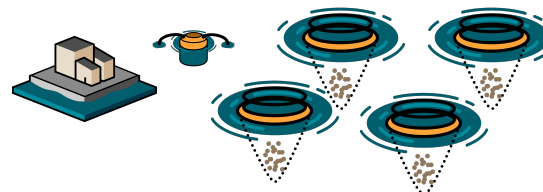
Økt lokalitets-MTB

Selv om **Laksholmen** er en god lokalitet er den bare godkjent for **én tillatelse**. Ole Oppdretter går derfor til anskaffelse av et system for slamoppsamling. Videre søker han til Fylkeskommunen om å få utvidet til **to tillatelser** på denne lokaliteten. Slamoppsamling kan dermed bidra til å gjøre en allerede god lokalitet bedre gjennom å utvide selskapets produksjonstillatelse, og føre til mer fleksibilitet i produksjonen.



Unngå brakklegging

For å forhindre den negative utviklingen i tilstanden på bunnsedimentene på lokaliteten **Fiskeøya** velger Ole Oppdretter å gå til anskaffelse av et system for slamoppsamling til denne lokaliteten. Bunnforholdene ved lokaliteten forbedres og han **forhindrer forlenget brakkleggingstid av lokaliteten**.



Brakklegging og lavere MTB-utnyttelse

Dersom Ole Oppdretter ikke får sette ut fisk på Fiskeøya har han bare Laksholmen til å produsere på. For Ole vil det bety at han bare kan ha ett utsett med fisk om gangen. Med bare ett utsett av fisk vil selskapets MTB-utnyttelse reduseres og man vil produsere et mindre volum med laks enn tidligere.

Caseeksempelet viser til at en potensiell økning i lokalitets-MTB vil kunne gi 400 tonn ekstra i MTB som tilsvarer en årlig verdi på over 21,7 MNOK

Et oppdrettselskap har en lokalitet godkjent for 1 560 tonn maksimalt tillatt biomasse (MTB). Selskapet går til **anskaffelse av oppsamlingsteknologi** og får **godkjent lokaliteten med 400 tonn ekstra i MTB** .

Lokaliteten er nå godkjent for en biomasse på 1 960 tonn. Fordi **lokalitets-MTB er den produksjonsbegrensende** faktoren for oppdrettselskapet, vil en økning på 400 tonn ha stor verdi for selskapet.

Selskapet vil nå ha mulighet til å **øke produksjonen med 580 000 kg** laks til en **estimert verdi på 21 674 600 kr i året**.



*Forenklet beregning av bruttov verdi hvor det ikke er hensyntatt for justeringer for kvalitet, logistikk, avgifter etc.

FORUTSETNINGER

Selskapet har nok konsesjonsvolum på selskapsnivå til å utnytte økt lokalitets-MTB

Økt lokalitets-MTB = 400 tonn

Produksjonsfaktor (Kontali

Analyse) = 1,45

Gj. laksepris 2022 (1.juli) = 87,37kr per kg

Produksjonskostnad = 50 kr per kg

Oppsamling av slam har vist seg å kunne gi store muligheter for oppdretterne, men mulighetene lar seg ikke realiseres dersom investeringsviljen ikke er til stede

MULIGHETER

- Økt produksjonsvolum (høyere lokalitets-MTB, kortere brakkleggingstid, gjøre dårlige lokaliteter bedre)
- Styrket omdømme ved å redusere miljøavtrykk
- Bedre matsikkerhet ved å skille fôringssted og håndtering av dødfisk
- Skape arbeidsplasser inne i fjordene og sikre vekst i lokalmiljøene

BARRIERER

- Investeringskostnad knyttet til kjøp av utstyr og økt vedlikehold av merd
- Innføring av grunnrenteskatt som påvirker investeringsviljen
- Åpne merder er ikke pliktig gjennom regelverk til å samle opp og håndtere slam

MODENHET TEKNOLOGI OG MARKED

- Teknologi er velprøvd og kommersielt tilgjengelig
- Testing av teknologi som løser plassmangel på flåte pågår og løser samtidig andre utfordringer for oppdretterne
- Markedet for slam er umodent, men på agendaen på flere fronter

AKTØRER

- Oppdrettsnæring
- Framo Havbruk
- Aquapro
- AMOF Fjell
- Ragn-Sells Havbruk

Kilde: PwC analyse og innsikt fra intervjuer

VOLUM OG SKALERINGSMULIGHETER (TPA)*

	2022	2030	2050
Total biomasse	1 600 000	2 260 000	5 000 000
Totalt utslipp slam (99,9% TS)	668 000	920 000	2 030 000
Høstbar mengde slam (99,9% TS)*	334 000	459 000	1 018 000
Høstbar mengde slam (10% TS)*	3 340 000	4 590 000	10 180 000

* TPA = Tonn per år

* Total biomasse = Antall fisk multiplisert med gjennomsnittsvekt på fisken

* Høstbar mengde slam avhenger av fiskens evne til å fordøye fôret, løseligheten på slammet og mengden fôrspill. Se vedlegg for sensitivitetsanalyser.

1 018 000 TPA

Med de uttalte vekstmålene i oppdrettsbransjen, vil over én million tonn høstbart slam, og uutnyttede ressurser gå til spille under merdene

Fiskeslam og -ensilasje er en god kilde til produksjon av biogass, men det gir også et stort potensiale for gjenvinning av viktige næringsstoffer gjennom bioresten som blir til overs

Biogassprosessen er en mikrobiologisk prosess hvor organisk materiale omdannes til en blanding av ikke-vannløselig metan og karbondioksid i fravær av oksygen (Vangdal, E., Kvamm-Lichtenfeld, K., Sørheim, R. & Svalheim, Ø., 2014). Ved produksjon av biogass gjennomføres prosessen kontrollert i en biogassreaktor, i en nedbryting- eller råtningsprosess av organisk avfall. Slik fanges disse gassene og gjør det mulig å skille metan og CO₂ fra hverandre (Miljødirektoratet, 2021).

Oppgradert biogass (biometan) kan brukes som et alternativ til fossilt drivstoff og klimapåvirkningen reduseres sammenlignet med å slippe metan ut direkte. Biogent CO₂ fra biogassprosessen kan gjennom CCS fanges opp og lagres, men det kan også erstatte fossil CO₂ i næringsmiddelindustri (Avfall Norge, 2016).

Mengden gass som produseres avhenger av råstoffet (substratet) som brukes, der substrater med høyere innhold av fett, proteiner og karbohydrater avgir mer gass. Fiskeslam og -ensilasje er en god kilde til substrat som ikke benyttes i stor skala i dag. Forskningsrapporter viser at dersom slam og ensilasje brukes som råstoff, vil det resultere i høyere biogassutbytte enn bare husdyr- gjødsel. Det er fullt mulig å blande avfallstyper for å oppnå et høyere biogassutbytte i nedbrytings- prosessen (Avfall Norge, 2016).

Materialet som blir til overs kalles biorest. Biorest fra fiskeslam og -ensilasje vil bestå av viktige ressurser som fosfor som ikke bør gå til spille. Ved bruk av fiskeslam og -ensilasje som innsatsfaktor til produksjon av ny energi, samt hente ut viktige ressurser fra bioresten, vil man kunne bedre oppdretternes fotavtrykk og ikke minst bidra til at Norge når sine klimamål og reduserer estimert energiunderskudd frem mot 2030 (Meld. St. 13, 2020–2021)

“

«Biogass er ein del av løysinga for å redusere utsleppa, men òg for å utnytte ressursane på ein sirkulær måte. Når våtorganisk avfall blir putta i eit biogassanlegg, er det smart avfallshandsaming. Då vinn vi att viktige stoff som nitrogen, fosfor og kalium»

Meld. St. 13 (2020–2021) - Klimaplan for 2021–2030



Til tross for at det er flere aktører som driver med produksjon av biogass i Norge, er det tilsynelatende manglende kjennskap til biokulturen for slam

MULIGHETER

- Redusere klimagassutslipp ved å erstatte fossile brenslere
- Gjenvinne fosfor og nitrogen fra bioresten, som reduserer utslipp i forbindelse med produksjon av mineralgjødsel
- Produksjon av biogass i Norge fra havbruks slam (finnes i dag i Danmark)
- Biogass har flere bruksområder - f.eks. bruk av biogass i transportsektoren vil redusere støy og lokal forurensning

BARRIERER

- Tilgang på tilstrekkelig volum av råstoff
- Manglende kjennskap til biokulturen for slam i Norge
- Investering i biogassanlegg er dyrt og krevende
- Infrastruktur for distribusjon av biogassen

MODERNHET TEKNOLOGI OG MARKED

- Mangler storskala teknologi i Norge

AKTØRER

- Norske biogassaktører

Kilde: PwC analyse og innsikt fra intervjuer

*Omregningsfaktor fra metan til kWh som er brukt er at 1m3 metan tilsvarer 10kWh basert på Suhartini, Lestari & Nurika (2019, s.3)

VOLUM OG SKALERINGSMULIGHETER

	2022	2030	2050
Total biomasse (TPA)	1 600 000	2 260 000	5 000 000
Mengde biogass i mill. (m3 CH4)	112 - 309	158 - 429	350 - 950
Elektrisitet i GWh*	1 120 - 3 090	1 580 - 4 290	3 500 - 9 500

Forutsetninger for beregninger av biogass

Basert på Vangdal, E., Kvamm-Lichtenfeld, K., Sørheim, R. & Svalheim, Ø. (2014) er det estimert at Norges samlede lakseproduksjon på 1.6 million tonn laks ville kunne gi 70 – 190 mill. m3 CH4 (s.27). Vi bruker denne forutsetningen for beregningene som er gjort i de tre scenarioene over. Det er viktig å påpeke at tallene for omregning ikke er oppdatert på over 10 år og dermed vil det være usikkerhet knyttet til intervallene. Det er uvisst om usikkerheten skyldes slammengden, gasspotensialet pr. slamenhet eller en kombinasjon.

I tillegg regnes det **ikke** på direkte slam til biogass, men beregningene er basert på at samlet lakseproduksjon vil kunne gi en mengde CH4.

Årlig importeres det over 9 000 tonn fosfor som ingrediens i fiskefôr, men likevel ender 70% av fosforet som er i fiskefôr på bunnen av merdene som en del av fiskeslammet

I landbruket medgår over 12 000 tonn fosfor til husdyrsgjødsel og en fosformengde på 9 000 tonn per år som mineralgjødsel i Norge. I tillegg importerer vi over 9 000 tonn fosfor som ingrediens i fiskefôr fra Sør-Amerika (Brod & Øgaard, 2021).

I intervjuer med oppdrettsaktører nevnes fôr som én av hovedutfordringene de ser i forbindelse med å nå 2030- og 2050-målene. I et bærekraftig perspektiv er man også avhengig av at utslippsfaktoren på fôr reduseres. Dagens utslippsfaktor på fôr er rundt 2,5 CO₂e per kg og må reduseres betydelig for å nå målene som er satt i Parisavtalen (Intervju med oppdrettsaktør). For å klare dette må vi gjenbruke ressurser, redusere utslipp knyttet til gjødsel, transport og produsere mer effektivt på de områdene vi allerede har.

Fiskeslam kan være en del av løsningen for å sikre fremtidens fôrbehov. Hele 70% av fosforet som er i fiskefôr tas ikke opp av fisken, men blir en del av fiskeslammet som legger seg på bunnen av merdene. Fosfor i fiskeslam tilsvarer en høstbar mengde på 11 000 tonn hvert år. Dersom oppdrettsnæringen skal vokse femgangen innen 2050 og fiskeslammet ikke blir fanget opp, taper vi årlig 33 000 tonn fosfor med fiskeslammet. Dette vil forskyve den globale fosforbalansen, på grunn av importen av fosfor i dag.

Den nye verdikjeden ønsker å utnytte disse massene og resirkulere fosfor, slik at det kan gå tilbake i verdikjeden og muliggjøre lokal produksjon av fosfor som ingrediens til fiskefôr. Resirkulert fosfor er ikke bare mer miljøvennlig, men også renere enn fosforen som utvinnes i gruvene.

Det overordnede målet er å utvikle et produkt som er så godt at det kan helt eller delvis erstatte havbruksnæringens behov for fosfor, og dermed øke selvforsyningsgraden og redusere klimapåvirkningen fra import av fosfor og fôr.

“

«Krigen i Ukraina har ført til økt oppmerksomhet og forståelse for at råvarer er begrenset, og understreker viktigheten av å utvikle råvarer basert på bærekraftige og sirkulære prinsipper»

Bærekraftsansvarlig i Cargill Aqua Nutrition
Marianne Koch

Resirkulert fosfor kan gjøre fiskefôr mer bærekraftig hvor også markedet har fått øynene opp for produktet, men foreløpig er dagens EU-regelverk til hinder

MULIGHETER

- Utvinning av resirkulert fosfor fra fiskeslam, som er renere enn fosforet som utvinnes fra gruver, og bruke det som ingrediens i fiskefôr
- Redusere utslippsfaktor i havbruksnæringen ved å importere mindre og gjenbruke egne ressurser
- Redusere økonomisk fôrfaktor

BARRIERER

- Tilgang på tilstrekkelig volum av råstoff
- Gjeldende EU-regelverk hindrer bruk av animalske biprodukter (som slam) i fôr. Stor etterspørsel etter resirkulert fosfor, og denne verdikjeden konkurrerer med andre fôrproduenter og gjødselsindustrien

MODENHET TEKNOLOGI OG MARKED

- Teknologi er i tidligfase og testes i pilotform
- Det er et stort marked for resirkulert fosfor, og flere aktører har vist interesse for resirkulert fosfor
- Endring i regelverket som hindrer bruken av resirkulert fosfor er til gjennomgang og vil trolig endres innen 2 år.

AKTØRER

- EasyMining
- Oppdrettsaktører
- Fôrprodusenter

Kilde: PwC analyse, innsikt fra intervjuer, Brod & Øgaard (2021).

VOLUM OG SKALERINGSMULIGHETER (TPA)*

	2022	2030	2050
Total biomasse	1 600 000	2 260 000	5 000 000
Totalt utslipp fosfor (99,9% TS)	13 000	17 800	39 400
Høstbar mengde fosfor	11 000	15 100	33 500

* TPA = Tonn per år

* Total biomasse = Antall fisk multiplisert med gjennomsnittsvekt på fisken

* Høstbar mengde fosfor avhenger av fiskens evne til å fordøye fôret, løseligheten på slammet og mengden fôrspill. Se vedlegg for sensitivitetsanalyser.

12 000 TPA

Årlig input av fosfor i landbruk som husdyrgjødsel

9 000 TPA

Årlig mengde importert fosfor i havbruk gjennom fiskefôr

9 000 TPA

Årlig input av fosfor i landbruk som mineralgjødsel

70%

Andel av fiskefôr som består av plantebaserte ingredienser med fosfor

Nitrogen er kritisk viktig i landbruket og identifisert som en stor mulighet da bruk av fiskeslam er en god kilde til nitrogen i gjødsel, i tillegg til at det gir et gunstig bærekraftig fotavtrykk

Nitrogen er det næringsstoffet vi bruker mest av, og mengden nitrogen vi bruker i ulike prosesser er mye større enn de andre makronæringsstoffene (som fosfor og potassium). Uten nitrogen ville mesteparten av verdens avlinger ikke eksistert. Nitrogen er for korn, hvete og ris, det samme som vann er for fisken. Hvert år tilføres mer enn 100 millioner tonn nitrogen i form av gjødsel, slik at de kan vokse seg større og sterkere (UN environment programme, 2019).

Til tross for stor etterspørsel fra gjødselprodusenter og landbruket, finnes det i dag ingen (eller veldig få) resirkulerte nitrogenprodukter tilgjengelig på markedet. En stor fordel med resirkulert gjødsel er at dette produktet har et gunstig fotavtrykk med tanke på klima. Ulempen er at det kun finnes i flytende form, noe som gjør transport vanskelig på lengre distanser (Intervju med EasyMining).

Produksjon av resirkulerte nitrogenprodukter er fremdeles tidligfase, og lansering av slike produkter krever godkjenning fra EUs Gjødselsforordning (Intervju, EasyMining). Per i dag finnes det godkjente tillatelser for bruk av nitrogen fra avløpsrensaneanlegg til gjødsel, og flere landbruksaktører har vist interesse for det resirkulerte nitrogenet.

Fiskeslam er en god kilde til nitrogen. Selv om store mengder av det totale nitrogenutslippet fra fisken forsvinner som pust eller urin, er den høstbare mengden hele 18 700 tonn i 2022. Dersom antall tonn biomasse når 5 millioner i 2050, er volumet høstbar mengde 57 000 tonn per år. EasyMining anslår at dersom testene med fiskeslam avgir lignende resultater som avløpsrensenvann, så er prosessen kommersiell fra 2023 og oppskalering tett etter (tall er basert på beregninger gjort i prosjektet).



Nitrogen til gjødsel anses som en «lavthengende frukt» som kan realiseres raskt med kun mindre teknologiske tilpasninger og tilstrekkelig mengde substrat

MULIGHETER

- Lavthengende frukt å realisere
- Finnes et marked for nitrogen i landbruket
- Gunstig fotavtrykk mtp klima

BARRIERER

- Avhengig av tilstrekkelig mengde substrat for at teknologiutvikling skal skje og for at det skal lønne seg.
- Lansering av resirkulert nitrogen fra fiskeslam krever godkjent EU-søknad
- Finnes kun i flytende form, og gjør lengre transportetapper vanskelig

MODENHET TEKNOLOGI OG MARKED

- For å realisere denne muligheten kreves det kun mindre teknologiske tilpasninger
- Det finnes et marked og det er høy etterspørsel fra gjødselsprodusenter
- Avhenger av at produksjon av biogass og seperasjon av ammoniumsnitrogen kommer på plass

AKTØRER

- EasyMining
- Landbruk
- Gjødselprodusenter

Kilde: PwC analyse og innsikt fra intervjuer

VOLUM OG SKALERINGSMULIGHETER (TPA)*

	2022	2030	2050
Total biomasse	1 600 000	2 260 000	5 000 000
Total utslipp nitrogen (99,9% TS)*	22 000	30 200	67 000
Høstbar mengde nitrogen	18 600	25 700	57 000

* TPA = Tonn per år

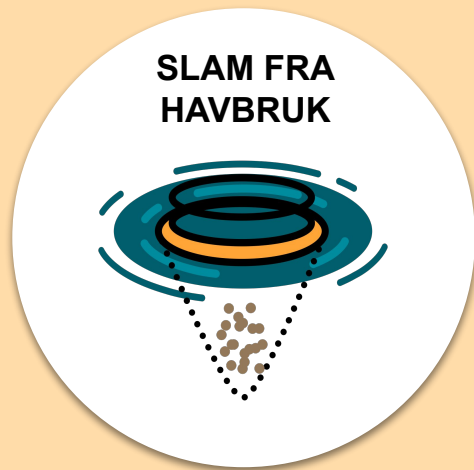
* Total biomasse = Antall fisk multiplisert med gjennomsnittsvekt på fisken

* Høstbar mengde nitrogen avhenger av fiskens evne til å fordøye føret, løseligheten på slammene og mengden fôrspill. Se vedlegg for sensitivitetsanalyser.

2023

Kommersialisering av resirkulert nitrogen kan muliggjøres allerede i 2023, dersom testene går som forventet og tilstrekkelig mengde substrat tilgjengeliggjøres.

Potensialet som er identifisert gjennom de fire hovedmulighetene er oppsummert under



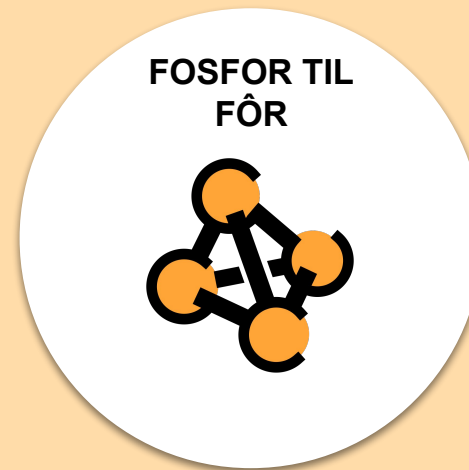
FISKESLAM

2022: 334 000 TPA
2030: 459 000 TPA
2050: 1 018 000 TPA



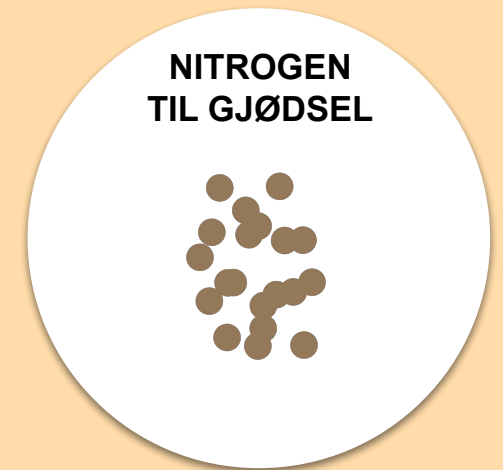
BIOGASS

2022: 1 120 - 3 090 GWh
2030: 1 580 - 4 290 GWh
2050: 3 500 - 9 500 GWh



HØSTBAR FOSFOR

2022: 11 000 TPA
2030: 15 100 TPA
2050: 33 500 TPA



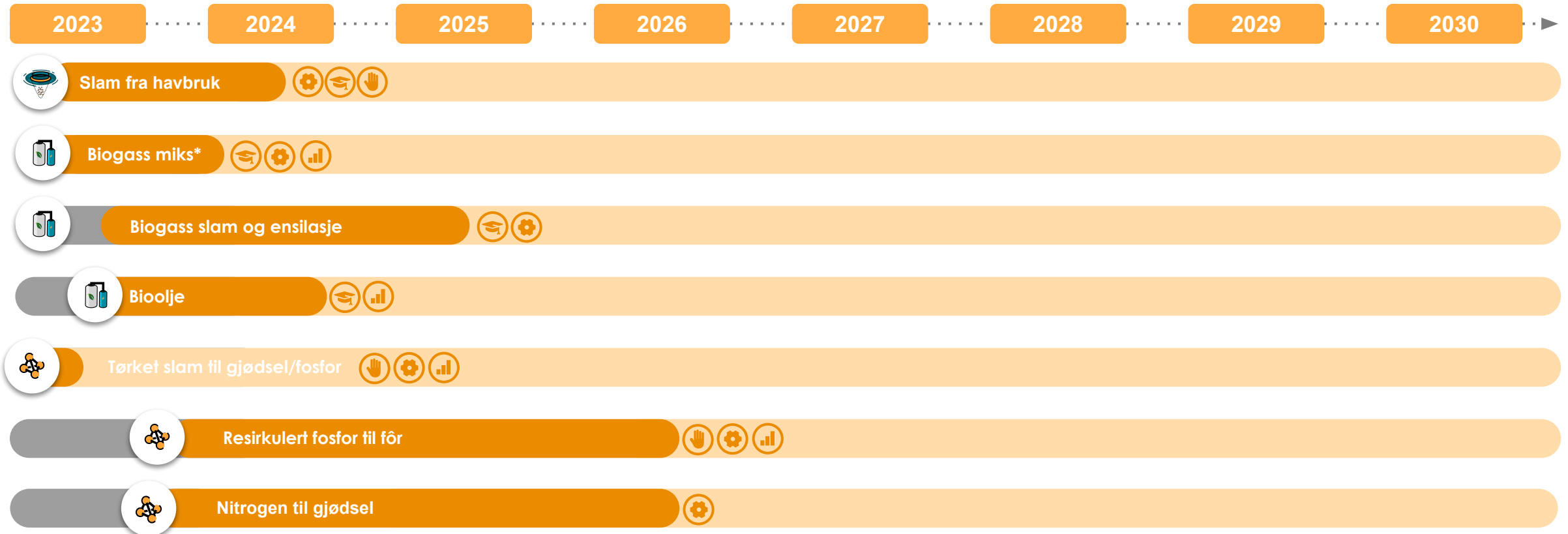
HØSTBART NITROGEN

2022: 18 700 TPA
2030: 25 700 TPA
2050: 57 000 TPA

04

Anbefalinger for videre arbeid

Hovedmulighetene og noen av de øvrige mulighetene som er identifisert i prosjektet er plassert utover i tid basert på når det er realistisk med tanke på realisering



* Biogass miks = Blanding av substrat som fiskeslam, matavfall, husdyrgjødsel og annet organisk materiale



UTVIKLINGSFASE



HOVEDUTFORDRINGER

Kilde: innsikt fra intervjuer

I tillegg er det identifisert en rekke andre prosjekter som bør settes i gang for å overkomme identifiserte barrierer og sikre at den nye grønne verdikjeden realiseres

BARRIERER

Lav betalingsvillighet blant oppdrettere knyttet til kjøp av oppsamlingsutstyr

Liten tilgang på store volum av fiskeslam og -ensilasje

PROSJEKTIDÉ SOM REDUSERER BARRIEREN

Etablere samarbeidsprosjekt på tvers av oppdrettere og myndigheter for å skape rammevilkår som muliggjør et mer bærekraftig havbruk

Flere oppdrettsaktører tar i bruk teknologien for slamoppsamling hvorav prosjektet vil ha særlig fokus på testing av teknologi i storskala, samt etablere nye rammevilkår for næringen

Manglende kjennskap til biokulturen for slam i Norge

Mangler storskala teknologi innen biogass i Norge

Undersøke muligheter for storskala produksjon av biogass i Norge og utvide kjennskap til biokulturen for slam

Sammen med en stor biogassaktør, se på muligheter for etablering av storskala biogassanlegg fra slam samt identifisere hva den "rette" biokulturen skal være

Investering i biogassanlegg er dyrt og krevende

Infrastruktur for distribusjon av biogassen

Mulighetsstudie hvor den sirkulære verdikjeden inngår i en regional HUB og/eller som del av en industriell symbiose. Hvor også øvrige muligheter blir utforsket videre

For at verdikjeden skal være lønnsom er det viktig å få ut alle sidestrømmene, hvor man bl.a. bør kombinere verdikjeden med fjernvarme. Ettersom energi er en begrenset ressurs og som ikke bør gå til spille bør det sees på muligheter for å inkludere verdikjeden i en ny eller eksisterende regional HUB og/eller industriell symbiose på Vestlandet

05

Kilder og disclaimer



DISCLAIMER

Denne rapporten er utarbeidet av PricewaterhouseCoopers (PwC) i forbindelse med prosjektet “Ny grønn verdikjede med slam fra havbruk som innsatsfaktor”, og godkjent av aktørene som har inngått i prosjektgruppen. Prosjektgruppen har vært ledende i sentrale prioriteringer og avgrensninger basert på deres vurderinger, behov og rolle i prosjektet. Prosjektet er finansiert av Vestland Fylkeskommune og Ragn-Sells Havbruk.

Vurderinger som er gjort bygger på informasjon som har fremkommet i intervjuer med aktører i prosjektgruppen og øvrige aktører med relevans for den nye grønne sirkulære verdikjeden, og i dokumentasjon som aktørene har gjort tilgjengelig for oss. PwC har ikke foretatt noen selvstendig verifisering av informasjonen som har fremkommet, og vi innestår ikke for at den er fullstendig, korrekt og presis.

PwC har ikke utført noen form for revisjon eller kontrollhandlinger av aktørene i prosjektgruppen sin virksomhet. Deltakende aktører har rett til å benytte informasjonen i denne rapporten i sin virksomhet, i samsvar med forretningsvilkårene som er vedlagt engasjementsbrevet for prosjektet.

Rapporten og/eller informasjon fra rapporten skal ikke benyttes som grunnlag for finansieringsbeslutninger. PwC påtar seg ikke noe ansvar for tap som er lidt av aktører i prosjektgruppen eller andre som følge av at vår rapport eller utkast til rapport er distribuert, gjengitt eller på annen måte benyttet i strid med disse bestemmelsene eller engasjementsbrevet. PwC beholder opphavsrett og alle andre immaterielle rettigheter til rapporten samt ideer, konsepter, modeller, informasjon og know-how som er utviklet i forbindelse med vårt arbeid. Enhver handling som gjennomføres på bakgrunn av vår rapport foretas på eget ansvar.

Det må ikke kopieres fra denne rapporten i strid med åndsverkloven eller avtaler gjort med rettighetshavere.

Kildeliste (1/3)

Trender havbruk:

Meld. St. 16 (2014–2015). *Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett*. Nærings- og fiskeridepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/6d27616f18af458aa930f4db9492f5e5/no/pdfs/stm201420150016000dddpdfs.pdf>

Deloitte/Klima- og miljødepartementet. (2020). *Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi – Delutredning 3. Virkemidler for å utløse potensial for sirkulær økonomi i Norge*. https://www.regjeringen.no/contentassets/70958265348442759bed5bcbb408ddcc/deloitte_kunnskapsgrunnlag-sirkular-okonomi_virkemidler-delutredning-3.pdf

Nærings- og fiskeridepartementet. (2021) *Ny tillatelsesordning: Peker ut ny retning for miljøvennlig havbruk*. NTB Kommunikasjon. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/ny-tillatelsesordning-peker-ut-ny-retning-for-miljovennlig-havbruk?publisherId=14943704&releaseId=17914201>

Nofima, SINTEF Ocean og BarentsWatch. (2023, 04. Januar). Utslipp fra oppdrettsanlegg. www.barentswatch.no. <https://www.barentswatch.no/havbruk/environmental-studies>

Trender matsikkerhet:

Regjeringen. (2022a, 29, 11). *Ny strategi for matsikkerhet*. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-strategi-for-matsikkerhet/id2948972/>

Regjeringen. (2022b, 06, 10). *Statsrådets tale om langtidsplanen for høyere utdanning*. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/statsradens-tale-om-ltp-pa-uhrs-arskonferanse-4.-oktober/id2931569/>

Regjeringen. (2022c, 14, 03). *Regjeringen ønsker innspill om Bionova*. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-onsker-innspill-om-bionova/id2901334/>

Regjeringen. (2022d, 13, 10). *Fôr fra luft og vann, insekter, blåskjell og krabbeskall*. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/for-fra-luft-og-vann-insekter-blaskjell-og-krabbeskall/id2934519/>

Mowi. (2022). *Salmon Farming Industry Handbook 2022*. <https://mowi.com/wp-content/uploads/2022/07/2022-Salmon-Industry-Handbook-1.pdf>

Trender forsor:

Brod, E. & Øgaard, A. (2021). *Closing global P cycles: The effect of dewatered fish sludge and manure solids as P fertiliser*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21004840?via%3Dihub>

Nibio. (2021, 02, 11). *Fiskeslam er et avfallsprodukt fra oppdrettsnæringen som består av fekalier og fôrspill*. <https://www.nibio.no/tema/jord/organisk-avfall-som-gjodsel/fiskeslam>

European Commission. (2020, 31, 01). *Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) Final Report*. https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRM_2020_Report_Final.pdf

Easy Mining. (2021, 18, 08). *Recycled quota crucial for critical raw materials like phosphorous*. <https://www.easymining.se/news/articles-inspiration/quota/>

Trender Energisikkerhet:

PwC Norge. (2022). *Kraft nok til det grønne skiftet?*. https://www.pwc.no/no/publikasjoner/kraft_nok_til_det_groenne_skiftet.pdf

Regjeringen. (2022e, 03, 11). *Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent*. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/>

Kildeliste (2/3)

Trender Vestland:

Vestland fylkeskommune. (2022). *Berekraftig verdiskaping Handlingsprogram 2022-25*. Vestlandfylke.no.

<https://www.vestlandfylke.no/globalassets/innovasjon-og-naringsutvikling/regional-plan-inn/handlingsprogram-berekraftig-verdiskaping-2022-2025>

Regjeringen. (2020). *Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi. Delutredning 1 – Potensial for økt sirkularitet*. Regjeringen.no.

https://www.regjeringen.no/contentassets/70958265348442759bed5bcbb408ddcc/deloitte_kunnskapsgrunnlag-sirkular-okonomi_potensialer.pdf

Modellforklaring

SINTEF, Hilmarsen, Broch, Uglem, Chauton, Järnegren, Hagemann, Bloecher, Ellingsen, Evjemo, Hovland, Goddek, Brendeløkken, Høyli & Lilleng. (2021). *Kunnskaps- og erfaringskartlegging om effekter av og muligheter for utnyttelse av organisk materiale og næringsstoffer fra havbruk - Hovedrapport*.

<https://www.fhf.no/prosjektbasen/901572/?fileurl=https://fhfno.sharepoint.com/sites/pdb/Publisertedokumenter/326909L4.1%20Faglig%20sluttrapport%20901572%20signert.PDF&filename=Sluttrapport:%20Kunnskaps-%20og%20erfaringskartlegging%20om%20effekter%20av%20og%20muligheter%20for%20utnyttelse%20av%20organisk%20materiale%20og%20n%C3%A6ringssalter%20fra%20havbruk>

T., Aas. (2016). *A preliminary test of the possibility for reclamation of phosphorus from aquaculture sludge*. Nofima. Report 14/2016. <https://nofima.no/publikasjon/1344766/>

T., Aas & T., Åsgård. (2017). *Estimert innhold av næringsstoff og energi i førspill og faeces fra norsk lakseoppdrett*. Nofima. Rapport 18/2017.

<https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/bitstream/handle/11250/2452165/Rapport%2b18-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

T., Aas. (2021). *Kunnskapsgrunnlag – Slam fra lakseoppdrett*. Nofima. Rapport 23/2021.

<https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/bitstream/handle/11250/2759672/Rapport%2b23-2021%2bKunnskapsgrunnlag%2b-%2bSlam%2bfra%2blakseoppdrett.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

X., Wang, L., Olsen, K. I., Reitan & Y., Olsen. (2012). *Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture*.

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2621792/Wang.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

O., Torrissen, P., Hansen, J., Aure, V., Husa, S., Andersen, T., Strohmeier & R., Olsen. (2016). *Næringsutslipp fra havbruk – nasjonale og regionale perspektiv. Rapport fra havforskningen Nr. 21-2016*. Havforskningsinstituttet, Bergen / NTNU. https://www.hi.no/resources/publikasjoner/rapport-fra-havforskningen/2016/21-2016_neringsutslipp_fra_havbruk_ot.pdf

M., Førre, M., Alver, Jo., Alfredsen, G., Marafioti, G., Senneset, J., Birkevold, F., Willumsen, G., Lange, Å., Espmark & B., Terjesen. (2016). *Modelling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon (Salmo salar L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments*.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0044848616303490?token=B73AF5152F8941EE91540536B6BDAA112C2C483A55E5ACBD4F1090B5C648110686CA8AB424096194B2521E58A458BA99&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230209131350>

Kildeliste (3/3)

Fra slam til biogass

Miljødirektoratet (2021, 10, 05). *Hva er biogass?*.

Miljødirektoratet.no.<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/fornybar-energi/utrede-potensialet-for-biogass/hva-er-biogass/>

Vangdal, E., Kvamm-Lichtenfeld, K., Sørheim, R. & Svalheim, Ø. (2014). Bioforsk Rapport Vol. 9 Nr. 27 2014. *Fiskeslam frå oppdrettsanlegg - Gjødseil til planter eller råstoff for biogass?*.

<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2449026/Bioforsk-Rapport-2014-09-27.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Avfall Norge. (2016). *Verdiskaping av biogass på Østlandet*. <https://avfallnorge.no/fagomraader-og-faggrupper/rapporter/verdiskaping-av-biogass-p%C3%A5-%C3%B8stlandet>

Meld. St. 13 (2020–2021). *Klimaplan for 2021–2030*. Det kongelege klima- og miljødepatementet.

<https://www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/nn-no/pdfs/stm202020210013000dddpdfs.pdf>

Suhartini, S., Lestari, Y P. & Nurika, I. (2019). *Estimation of methane and electricity potential from canteen food waste*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/230/1/012075/pdf>

Nitrogen til gjødseil

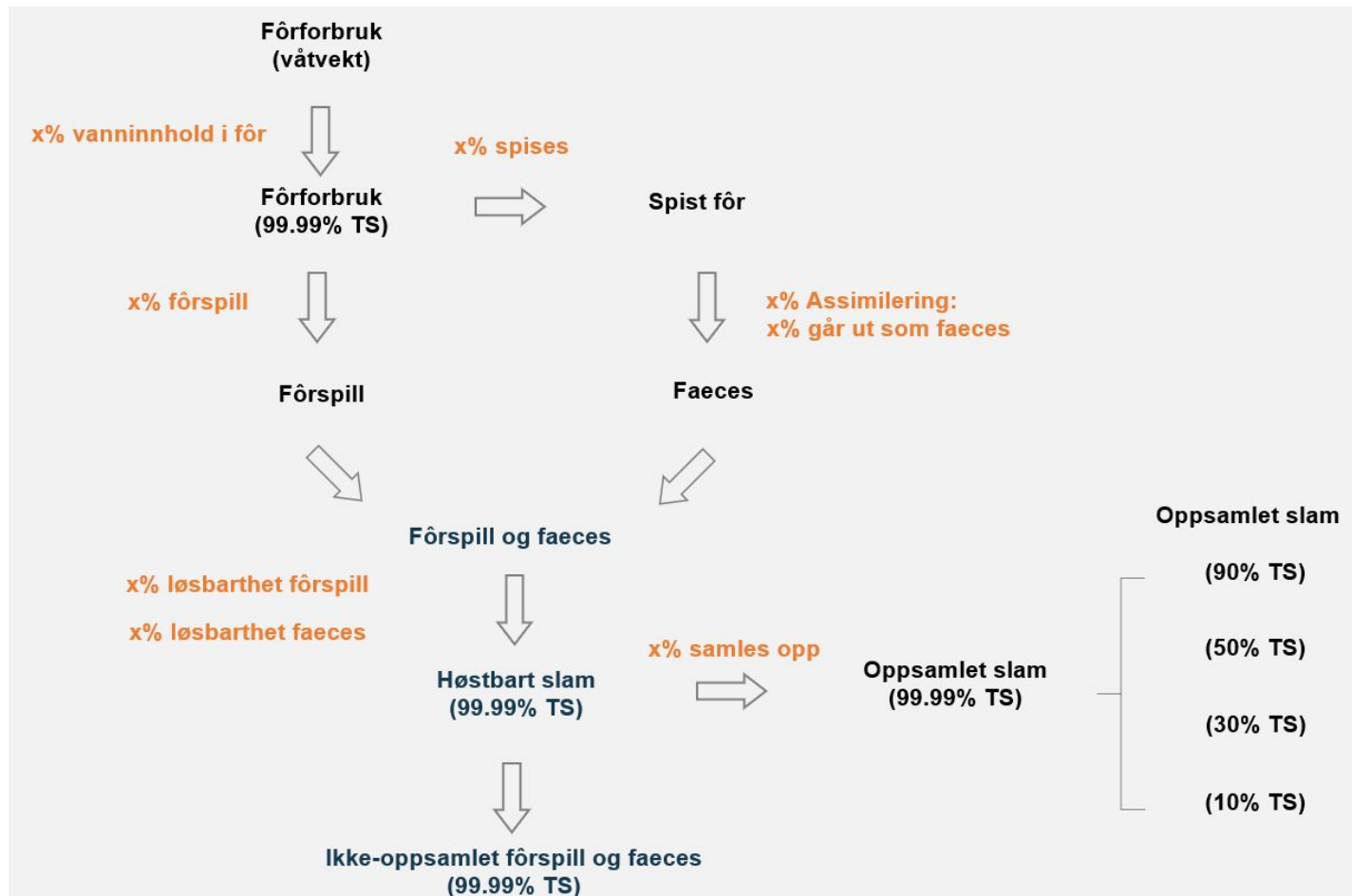
UN environment programme. (2019, 24, 10). *Three ways we can better use nitrogen in farming*. Unep.org.

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/three-ways-we-can-better-use-nitrogen-farming#:~:text=Without%20nitrogen%2C%20most%20of%20the,them%20grow%20stronger%20and%20better.>

06

Vedlegg

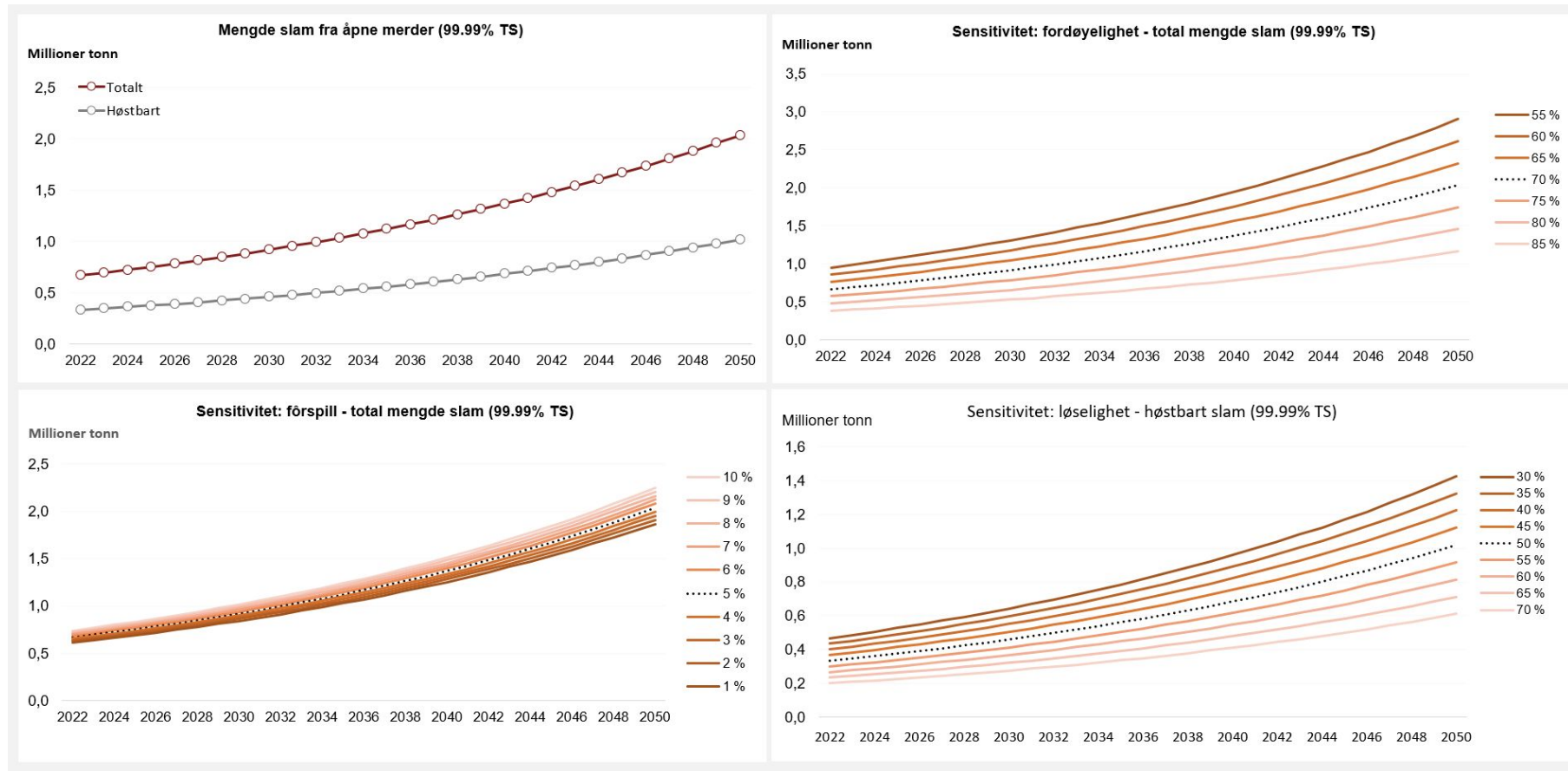
Beregningsmodellen som er brukt til å beregne volum på fiskeslam, nitrogen og fosfor tar utgangspunkt i fôrforbruk



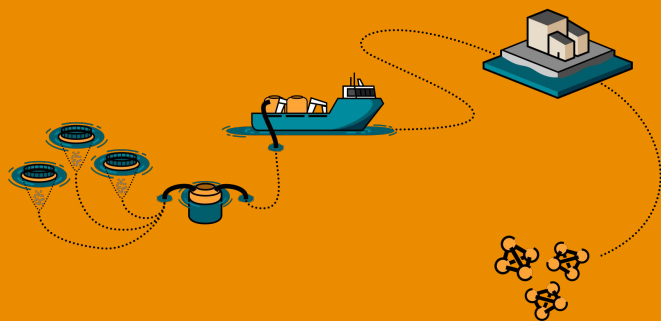
- Beregningsmodellen tar utgangspunkt i kjent litteratur fra SINTEF (2021) med flere*. Modellen tar utgangspunkt i biomassens fôrforbruk i våttvekt, og skiller deretter mellom det fisken spiser og fôrspill.
- Hvor mye av det fisken spiser som blir til faeces avhenger av hvor mye av fôret som blir tatt opp av fisken. Fôrspill og faeces (avføring) utgjør total mengde fiskeslam (totalt utslipp).
- Hvor mye av fiskeslammet som er høstbart avhenger av hvor løselig fôrspillet og faecesen er.

*Kilder brukt til beregning: T., Aas & T., Åsgård. (2017), T., Aas. (2016), T., Aas (2021), X., Wang et al. (2012), O., Torrissen et al. (2016), M., Føre et al. (2016)

Hvor mye slam som er mulig å samle opp påvirkes særlig av fiskens evne til å fordøye fiskefôret og hvor løsbart slammet er



- Variasjoner i mengden førspill gir moderat utslag på total mengde slam, og sensitivitetsanalysen avdekker at totalt utslipp av fiskeslam i 2022 avviker mellom 612 674 - 738 000 tonn per år (TPA) fiskeslam, i intervallet 1-10% forspill. Base case er satt til 5% og gir en total mengde slam på 668 553 TPA.
- Total mengde fiskeslam er svært sensitiv for fiskens evne til å fordøye fiskefôret. Base case er satt til 70%, noe som gir en total mengde slam på 668 553 TPA. Dersom fisken fordøyer 85% av fiskefôret, reduseres mengden til 384 169 TPA, mens dersom fisken kun fordøyer 55% vil total mengde øke til 952 938 TPA
- Høstbar mengde slam er videre sensitiv for førspilletts og faecesens løsbart. Base case er satt til 50% løsbart, noe som gir høstbar mengde slam på 334 277 TPA. Dersom løsbartheten er 70% vil høstbar mengde reduseres til 200 566 TPA, og ved 30% vil høstbar mengde slam øke til 467 987 TPA.



Kontakt

Andre Kopperud Gill - Partner PwC
andre.gill@pwc.com

Ole Arthur Vaage - Product Development Manager Ragn Sells Havbruk
Ole.Arthur.Vaage@ragnsells.com