



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Bruk av tørket slam fra settefiskanlegg som gjødsel i norsk landbruk

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 146 | 2019



Joshua Cabell, Eva Brod, Johan Ellingsen, Anne-Kristin Løes, Linn Solli, Inger Beate Standal,  
Bendik Toldnes og Henriette Vivestad  
Divisjon for miljø og naturressurser

**TITTEL/TITLE**

Bruk av tørket slam fra settefiskanlegg som gjødsel i norsk landbruk

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**Joshua Cabell<sup>1</sup>, Eva Brod<sup>1</sup>, Johan Ellingsen<sup>2</sup>, Anne-Kristin Løes<sup>3</sup>, Linn Solli<sup>1</sup>, Inger Beate Standal<sup>4</sup>, Bendik Toldnes<sup>4</sup> og Henriette Vivestad<sup>2</sup><sup>1</sup> Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)<sup>2</sup> Det kongelige selskap for Norges vel (Norges Vel)<sup>3</sup> Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK)<sup>4</sup> SINTEF Ocean

<b>DATO/DATE:</b>	<b>RAPPORT NR./ REPORT NO.:</b>	<b>TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:</b>	<b>PROSJEKTNR./PROJECT NO.:</b>	<b>SAKSNR./ARCHIVE NO.:</b>
03.12.2019	5/146/2019	Åpen	RFFMN 282530	17/02863
<b>ISBN:</b>	<b>ISSN:</b>	<b>ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:</b>	<b>ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:</b>	
978-82-17-02442-2	2464-1162	62		

**OPPDRAUGSIVER/EMPLOYER:**

Regionalt forskningsfond Midt-Norge/Regional Research Council of Mid-Norway

**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**Joshua Cabell  
joshua.cabell@nibio.no**STIKKORD/KEYWORDS:**

Fiskeslam, fosfor, nitrogen, potteforsøk, bygg, markedsanalyse

Fish sludge, phosphorus, nitrogen, barley, pot experiment, market analysis

**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**

Fiskeoppdrett, planteernæring, resirkulering

Aquaculture, plant nutrition, recycling

**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

Sammendrag side 6

Summary page 7

**LAND/COUNTRY:**

Norge

**FYLKE/COUNTY:**

Møre og Romsdal

**KOMMUNE/MUNICIPALITY:**

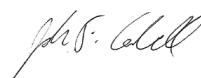
Tingvoll

**STED/LOKALITET:**

Tingvoll

**GODKJENT /APPROVED**

TRINE EGGEN

**PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER**

JOSHUA CABELL

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Prosjektet «Bruk av tørket slam fra settefiskanlegg som gjødsel i norsk landbruk» (Fish2Farm) var et kvalifiseringsstøtteprosjekt der fem industripartnere samarbeidet med NIBIO, NORSØK, SINTEF Ocean AS og Norges Vel for å undersøke kvaliteten på tørket slam fra settefisk som gjødsel, hvordan kvaliteten påvirkes av ulike behandlingsteknologier og markedspotensialet som organisk gjødselvare. Prosjektet ble finansiert med midler fra Regionalt Forskningsfond Midt-Norge, Fylkesmannen i Trøndelag, Grønn forskning Midt-Norge/Landbruk21 Trøndelag og de fem industripartnerne Bioretur AS, Ecopro AS, GGE AS, Waister AS og Åsen og Flatanger settefisk AS. Takk til alle som bidro til å gjennomføre dette prosjektet, og til forsker Linn Solli i NIBIO for verdifulle innspill i skrivefasen.

Tingvoll, 27.11.19

Joshua Cabell

# Innhold

Sammendrag .....	6
Summary .....	7
1 Innledning.....	8
2 Delprosjekt I: Karakterisering av slamprodukter.....	11
2.1 Prøveinnsamling .....	11
2.1.1 Global Green Energy AS (GGE) .....	12
2.1.2 Waister AS (WA).....	12
2.1.3 Bioretur AS (BR).....	12
2.1.4 Flatanger settefisk AS/Sterner AS (F/S).....	13
2.2 Analyser .....	13
2.2.1 Næringsstoffer .....	14
2.2.2 Tungmetaller og arsen .....	18
2.3 Konklusjoner karakterisering av fiskeslam .....	21
3 Delprosjekt II: Vekstforsøk i pottes .....	22
3.1 Materialer og metoder .....	22
3.1.1 Gjødselmidler brukt i forsøket .....	22
3.1.2 Forsøksbehandlinger .....	25
3.1.3 Mengde næringsstoff tilført i de ulike behandlingene.....	27
3.1.4 Jord, planter, temperatur og vanning .....	28
3.2 Resultater og diskusjon fra pottforsøket.....	31
3.2.1 Spiring, utvikling og avling.....	31
3.2.2 Opptak av makro- og mikronæringsstoffer i plantematerialet .....	37
3.3 Nitrogen og vanning .....	40
3.4 Konklusjoner vekstforsøket .....	40
4 Delprosjekt III: Markedsundersøkelse.....	42
4.1 Innledning.....	42
4.2 Fiskeslam .....	42
4.2.1 Karakterisering og sammensetning.....	42
4.2.2 Lokasjon og mengder .....	44
4.2.3 Oppsamling av fiskeslam fra landbaserte anlegg.....	46
4.3 Lovreguleringer.....	46
4.3.1 Oppdrettsnæringen.....	46
4.3.2 Fiskeslam som gjødsel.....	47
4.3.3 Hygiene og smitteperspektiv.....	49
4.4 Mulige bruksområder .....	49
4.4.1 Organiske jord-/gjødselprodukter.....	49
4.4.2 Andre bruksområder .....	50
4.5 Markedet for organiske gjødselprodukter .....	50
4.6 Logistikk.....	52
4.7 Økonomi .....	52

4.8 Intervjuer.....	55
4.9 SWOT-analyse.....	57
4.10 Konklusjon og anbefalinger markedsundersøkelse.....	58
5 Samlede konklusjoner Fish2Farm.....	59
Litteratur .....	60

# Sammendrag

Formålet med prosjektet Fish2Farm var å evaluere potensialet for resirkulering av næringsstoffer fra fiskeoppdrett ved å vurdere kvaliteten på tørket slam fra settefisk som gjødsel, undersøke påvirkningen av ulike behandlingsteknologier, og evaluere markedspotensialet som organisk gjødselvarer.

Resultatene tyder på at det først er en kraftig oppkonsentrering av nitrogen og fosfor under avvanning/filtrering i fiskeslam og deretter tap under tørking, særlig for mineralisk N. Med unntak av kompostert slamprodukt, som lå i kvalitetsklasse II til III for Cd, Zn, Cu og As, var konsentrasjonen av tungmetaller i kvalitetsklasse O eller tett opp til I.

Gjødsleffekten til de ulike fiskeslamproduktene ble sammenliknet med flytende biorest og mineralisk fullgjødsel, og med bygg som forsøksvekst. Plantene ble tilført enten 22 eller 44 kg total-N/daa. Gjødsling med tørket og kompostert fiskeslam ga en betydelig avlingsøkning sammenlignet med null-ledd uten tilførsel av gjødsel, spesielt plantene tilført den lavere mengden N. En mindre avlingsøkning med «overgjødsling» med fullgjødsel og biorest er ikke uventet på grunn av spirehemming. Blandingen av fiskeslam og biorest (22 kg/daa total-N fra hver) ga størst avling sammenlignet med null-ledd.

Markedsvurderingen konkluderte med at en større fokus på P på sikt vil kunne redusere bruken av mineralgjødsel til fordel for organiske gjødselslag, men at kostnader for bruk av organiske gjødselvarer er viktig faktor.

Resultatene viser at fiskeslam er et godt nitrogengjødsel, men at det ville vært fordelaktig om slammet kunne tørkes på en måte som hindrer tap av mineralisk N fra råslammet. Fosforet bør også ivaretas på en bedre måte enn i dag.

# Summary

The objective with the project Fish2Farm was to evaluate the potential for recycling nutrients from aquaculture by evaluating the quality of dried sludge from hatcheries as fertilizer, examine how the quality is affected by various treatment technologies, and evaluate the market potential as an organic fertilizer product.

The results suggest that there is first a sharp up-concentrating of nitrogen and phosphorous during dewatering/filtering followed by losses during drying, especially for mineral N. Apart from composted fish sludge, which had levels of Cd, Zn, Cu og AS in quality class II or III, concentrations of heavy metals were in quality class O or just under I.

The fertilizer effect for the different fish sludge products was compared with liquid digestate and mineral fertilizer, using barley in a growth trial. The plants were given either 220 og 440 kg total-N/ha. Fertilizing with dried and composted fish sludge resulted in a considerable increase in crop growth compared with the null treatment without fertilizer application, especially plants given the lower N dose. A smaller increase in crop growth with “over fertilizing” is not unexpected from mineral fertilizer and digestate due to germination inhibition. In this experiment, the combination of fish sludge and digestate (220 kg/ha total-N from each) resulted in the greatest crop growth compared with null-treatment.

The market analysis concluded that a stronger focus on P will in the long run contribute to reduced application of mineral fertilizer in favor of organic fertilizer products, but the costs of utilizing these products remains a hinder.

The results show that fish sludge is a good nitrogen fertilizer, but it would be advantageous if the sludge could be dried in such a way that reduces loss of mineral N from raw sludge. Phosphorous should also be taken care of better than today.

# 1 Innledning

Norske settefiskanlegg produserer anslagsvis 15.000 tonn tørrstoff (TS) i form av slam (fekalier og fôrrester) per år (Ytrestøyl m.fl. 2016). Dette slammet inneholder en rekke næringsstoffer som kan skape problemer hvis det slippes ut i havet, spesielt fosfor (P) og nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Det er estimert at opptil 9.000 tonn P årlig slippes ut til havet fra fiskeoppdrett, inkludert settefisk (Hamilton m.fl. 2016). Dette tilsvarer P-mengden som norsk landbruk tilfører jorda med mineralgjødning hvert år. I henhold til EUs avløpsforskrift (FOR-2019-06-17-753) og Forurensingsloven (LOV-2018-06-22-83) (*Del 4, kap. 11-15b*) er det renskrav på alle nye landbaserte anlegg fra settefisk, og videre for anlegg som utvider kapasiteten sin, anlegg over en viss størrelse, og der resipienten er sensitiv. I tillegg må alle såkalt RAS-anlegg (resirkuleringsanlegg) rense vannet før det sirkuleres tilbake til fiskene. Den vanligste praksisen for håndtering av slam er mekanisk filtrering og avvanning til 12-20% TS. Deretter fraktes slammet bort i tankbiler til behandling i et biogassanlegg, eller til kompostering sammen med karbonrikt, tørt materiale. I noen tilfeller, hvis slammet oppnår kravene til Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (FOR-2019-01-30-58), blir det spredt som gjødning direkte på nærliggende landbruksareal.

En utfordring med slam fra fisk i saltvann, både for bruk som substrat i biogassproduksjon og som ingrediens i gjødning, er høye saltkonsentrasjoner. Gode løsninger for behandling og anvendelse av slam med høyt saltinnhold har interesse også internasjonalt.

Per 2019 er det stort sett oppdrett av settefisk som foregår på land, men oppdrett av såkalt postsmolt og slaktefisk kommer til å bli mer vanlig på land. Slike anlegg produserer langt mer slam per enhet siden fiskene er større. I andre land er landbasert oppdrett av både laks og andre arter mer utbredt enn i Norge.

For oppdrett i sjø er det foreløpig ingen renskrav, og oppsamling av slammet er begrenset til noen pilotanlegg som tester ulike løsninger for oppsamling fra havbasert oppdrett.

Fiskeslam er både energi- og næringsrikt. Anvendelse som en råvare i biogassprosess har blitt mer vanlig og flere biogassanlegg under bygging eller planlegging satser på fiskeslam som en viktig ressurs. Erfaring viser at biogassbehandling er krevende med fiskeslam som eneste substrat, på grunn av det høye innholdet av protein som omdannes til ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) og ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) under utråtning. Dette vil hemme metanproduserende mikroorganismer (Solli m.fl. 2018). Produksjon av lange fettsyrer, kan også være en del av årsaker til hemming av biogassprosessen. Fiskeslam må derfor blandes med andre substrat eller fortynnes med vann (Cabell m.fl. 2018; Gebauer m.fl. 2016). Som et tilleggssubstrat, derimot, er fiskeslam veldig gunstig. En 20% blanding med bløt husdyrgjødsel (melkekyr) ga for eksempel en nesten tredobling av metanproduksjon sammenlignet med kun husdyrgjødsel, og produksjonen var stabil over tid (Gebauer m.fl. 2016).

Flere forsøk er gjennomført for å undersøke hvordan fiskeslam egner seg som gjødning for planter (Blytt m.fl. 2011; Brod m.fl. 2017; Uhlig og Haugland 2007; Vangdal m.fl. 2014). Uhlig og Haugland (2007) fant minst like god effekt av fiskeslam fra oppdrett av røye (lukket anlegg, ferskvann) som av mineralgjødning (Fullgjødning 18-3-15) og bløt husdyrgjødsel (10% TS). Forsøksveksten var timotei, og det ble tilsatt kaliumsulfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) til fiskeslammet for å kompensere for lavt innhold av kalium (K). Vangdal m.fl. (2014) testet både ferskt og tørket fiskeslam (marint) på jordbær, eng og plommer med en gjødningseffekt tilsvarende andre gjødningstyper i alle vekster. En sikker avlingsøkning ble vist for andre slått av eng gjødning med tørket marint fiskeslam (98% TS). Det var en midlertidig økning i natrium (Na) og klorid (Cl)-innholdet i både jorda og plantene som kan være problematisk over tid. Brod m.fl. (2017) observerte god gjødningseffekt av både tørkede fiskeslamprodukter og biorest der fiskeslam var utråtnet sammen med husdyrgjødsel til biogass, i vekstforsøk i pletter med bygg. I et feltforsøk med bygg, gjennomført av Norsk landbruksrådgivning (NLR) i Trøndelag i 2017, ble tørket fiskeslam fra



Åsen og Flatanger settefiskanlegg, fiskeslam kompostert sammen med trevirke fra Global Green Energy (GGE AS) og flytende biorest fra Ecopro AS biogassanlegg i Verdal, hvor en del fiskeslam fra smoltproduksjon inngår som substrat testet. De konkluderte med at en blanding av 6 kg tot-N/daa fra mineralgjødning pluss 6 kg/daa fra tørket fiskeslam ga en avling som kunne sammenlignes med tilførsel av mineralgjødning (pers. med. NLR Trøndelag).

Fiskeslammets kjemiske sammensetning og egenskaper for øvrig, tilsier at slammet bør blandes med andre typer organisk avfall for å bli et fullverdig gjødselprodukt. Det har et høyt innhold av organisk nitrogen (org-N), P og svovel (S), men et lavt innhold av K og mineralisk nitrogen (min-N). Gjennomsnittsforsøket til disse næringsstoffene i tørket fiskeslam fra dette forsøket er 41:28:1:3 (NPKS). Fullgjødning som ble brukt i vekstforsøket har et forhold på 18:3:15:4 (NPKS). I fullgjødning er 100% av N mineralisk mens i tørket fiskeslam var det mellom 0,5-3% i dette forsøket. Et høyt innhold av tungmetaller som kadmium (Cd) og sink (Zn) kan også by på utfordringer. Når ulike typer næringsrikt materiale blandes, må egnethet og sammensetning testes både kjemisk og i vekstforsøk med ulike jordbruksvekster. Foruten en konkurransedyktig pris, er kjemisk sammensetning, plantetilgjengelighet av næringsstoff, lukt, lagringsstabilitet og sprede-egenskaper viktig for bonden. Eventuelle salgsprodukt må tilfredsstillende Mattilsynets regelverk for organisk gjødning, der det stilles krav til hygienisering, grenseverdier for tungmetaller, og andre kvalitetsegenskaper (FOR-2019-01-30-58). Gjeldende forskrift er under revisjon, og et forslag til revidering er å fastsette grenseverdier for arsen. En slik endring kan få betydning for fiskeslam og andre marine råvarer som gjødselvarer. Et annet forslag er å koble grenseverdier for tungmetaller til innholdet av P. Dette kan virke positivt for bruken av fiskeslam som gjødning, siden innholdet av P i fiskeslam er høyt (Landbruksdirektoratet 2018).

Selv om fiskeslam har verdi som energi- og næringskilde, er oppsamling og transport av flytende fiskeslam en logistisk og økonomisk flaskehals. De fleste settefiskanlegg ligger langs kysten, langt unna der behovet for gjødning er størst eller de fleste biogassanleggene er plassert. Flere aktører satser på å tørke slammet på settefiskanleggene. Mens tørking forenkler transport, lagring og distribusjon, er det en energikrevende løsning, hvor mye av N går tapt i prosessen. Derfor er det en utfordring å finne ut hva man skal gjøre med fiskeslammet, og hva det egner seg best til – som et substrat til bioenergiproduksjon, til gjødning, eller kanskje til andre formål.

Det er mange forhold som vil påvirke innholdet i og kvaliteten til fiskeslam. Fiskens vekststadium, fôrtype, fôringsteknologi og andre driftsfaktorer (f.eks. resirkulering eller gjennomstrømningsanlegg) påvirker selve slammet. Videre vil teknologien for slambåndtering påvirke næringsinnholdet. Anlegg benytter ulike løsninger for avvanning og tørking, eller annen håndtering, og dette kan påvirke innhold og tilgjengelighet av næringsstoffer. Opptil halvparten av fiskeslammet er fôrspill, som lettere fanges opp i filtreringssystemer enn ekskrementene fra fisk (Ytrestøyl m.fl. 2016). Både fekalier og ufordøyd fôr går imidlertid i oppløsning og passerer gjennom filtrene. De mest vannløselige næringsstoffene slippes gjennom, mens det som er bundet til partikler fanges opp. Akkurat hva og hvor mye som tapes under behandling er lite dokumentert. Med termisk behandling (tørking) tar man vare på de stoffene som ikke går over i gassform, og det er da risiko for tap av N, svovel, og karbon. Det er lite kjent hvordan de ulike tørkemethodene påvirker kvaliteten på sluttproduktet. Temperatur, oppholdstid, eventuelle tilsetningsstoff, luftstrømmer og mekanisk bearbeiding under tørkingen vil antageligvis gi en effekt. Noen leverandører bruker overopphetet damp, andre en kombinasjon av flokkuleringsmiddel og varm luft i tørkeprosessen.

Dette prosjektet bygger videre på feltforsøket som ble gjennomført av NLR i 2017 og involverer de samme aktørene pluss Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK), SINTEF Ocean og Det Kongelige Selskap for Norges Vel (Norges Vel). Prosjektet var delt opp i tre delprosjekt. I det første, ledet av SINTEF Ocean, ble det gjennomført kjemiske analyser på fiskeslamsprøver tatt fra flere behandlingstrinn, fra råslam til ferdig tørket produkt. Prøvene ble tatt fra tre settefiskanlegg og levert av samarbeidspartnere og teknologileverandører Waister AS (tidligere

kjent som Multivector AS), Bioretur AS, og Flatanger settefisk AS (med tørketeknologi fra Sterner AS). Ferdig kompostert fiskeslam (men ikke flytende slam) ble levert av Global Green Energy (GGE) AS. Målet var å undersøke hva som skjer med fysiske egenskaper og næringsinnholdet, spesielt N, under tørkeprosessen. I delprosjekt 2, ledet av NIBIO og NORSØK, ble det gjennomført et vekstforsøk i pletter med ferdig tørket og kompostert fiskeslam som gjødsel. I forbindelse med dette delprosjektet ble det også gjort kjemiske analyser på flytende biorest fra Ecopro AS og halm pellets fra Bioretur AS. Disse var også brukt til vekstforsøket i tillegg til fullgjødsel og Calcinit (kalksalpeter). Målet med vekstforsøket var å sammenligne gjødseffekten av fiskeslamprodukter som var behandlet med ulike metoder, koble det til undersøkelsen av endringer i slammet under behandling og sammenligne gjødseffekten med andre typer gjødsel. Delprosjekt 3, ledet av Norges Vel, undersøkte hvordan bønder kan bli mer interessert i å benytte fiskeslam som gjødselprodukt i et verdikjedeperspektiv.

Problemstillingene ble flettet sammen i et kunnskapsutviklingsprosjekt, Fish2Farm, som ble finansiert av Regionalt forskningsfond Midt-Norge, Fylkesmannen i Trøndelag, Grønn Forskning Midt-Norge/Landbruk21 Trøndelag og prosjektdeltakernes egenandeler. NIBIO ved prosjektleder Joshua Cabell har vært ansvarlig for å sy sammen alle resultatene til denne sluttrapporten. Målet med arbeidet var å stimulere til økt resirkulering av næringsstoffer fra fiskeoppdrett ved å vurdere kvaliteten på tørket slam fra settefisk som gjødsel, hvordan kvaliteten påvirkes av ulike behandlingsteknologier, virkningsgraden som gjødsel og undersøkelse av produktenes markedspotensial som organisk gjødselfare.

## 2 Delprosjekt I: Karakterisering av slamprodukter

### 2.1 Prøveinnsamling

I prosjektet ble det samlet inn og analysert slamprøver fra 4 forskjellige anlegg (se tabell 1). For tre av anleggene ble det samlet inn prøver fra ulike steg i prosessene, fra «råslam» til ferdig tørket produkt. Unntaket var GGE AS, som ikke var i produksjon i løpet av tiden for prøveinnsamling, så kun sluttprodukt (fra lager) ble undersøkt. Prøvene ble tildelt et nummer som tilsvarer behandlingstrinn. Prøvene med betegnelsen «-01» er såkalt «råslam», eller slam som ikke er behandlet enda. Siden leverandørene bruker forskjellige prosesser er det ikke alltid det samme antall behandlingstrinn. Derfor har sluttproduktene både tallene -03 og -04. Bioretur i tillegg leverte pelletert slam (*BR-P* i tabell 1) som kun ble brukt til delprosjekt 1 og ikke til vekstforsøket. Det ble ikke tatt prøver fra behandlingssteg nummer tre fra Waister AS (prøve-ID *WA-03* i tabell 1). Til sammen ble 12 prøver analysert i forbindelse med delprosjekt 1. Det var generelt vanskelig å få nøyaktig informasjon om fôringsregimer, og for flere anlegg vil også slammet stamme fra fisk i ulike vekststadier.

Tabell 1. Oversikt over prøver samlet inn til kjemisk analyse.

Leverandør/anlegg	Prøve-ID	Uttak	Dato uttak	Analysepakke	Brukt i vekstforsøket (delprosjekt 2)
Global Green Energy AS	GGE-04	Ferdig kompostert, siktet	22.05.2018	"Slam-næring"	X
Waister AS	WA-01	I pumpeump	15.05.2018	"Avløpsvann"	
	WA-02	Etter avvaningsfilter	15.05.2018	"Slam-næring"	
	WA-03	N/A	N/A	N/A	
	WA-04	Ferdig tørket pulver	15.05.2018	"Slam-næring"	X
Bioretur AS	BR-01	Etter trommelfilter	07.05.2018	"Avløpsvann"	
	BR-02	Etter filter	07.05.2018	"Slam-næring"	
	BR-03	Ferdig tørket pulver	07.05.2018	"Slam-næring"	X
	BR-P	Pelletert	07.05.2018	"Slam-næring"	
Flatanger settefisk AS/Sterner AS	F/S-01	Etter trommelfilter	27.04.2018	"Avløpsvann"	
	F/S-02	Lagertank etter sedimentering	27.04.2018	"Slam-næring"	
	F/S-03	Fra skruepresse	27.04.2018	"Slam-næring"	
	F/S-04	Ferdig tørket pulver	27.04.2018	"Slam-næring"	X

De fire teknologileverandører har vesentlige forskjeller i prosesseringen av slam. Samtlige har avvanning/oppkonsentrering av slam, men dette gjøres med forskjellige metoder/teknologi og med forskjellig utstyr. Dette har betydning for tørrstoffinnhold og partikkelstørrelser i de enkelte prosessstrinn. Det er også store forskjeller i varmepåvirkning av substratet (temperatur/tid). Her er en oversikt over teknologileverandørene og forholdene under prosessering:

### 2.1.1 Global Green Energy AS (GGE)

*Teknologileverandør:* Egen utviklet teknologi (unntatt filtrering/avvanning)

*Fiskeslam fra:* MOWI ASA, Lerøy midt AS, Salmar AS

*Plassering av anlegget:* Holandsvika, Vefsn, Nordland

*Prosesser:* Diverse filtrering/avvanning, aerob kompostering i trommel

*Tilsetninger:* Rivningsverk under kompostering, ukjent tilsetningsstoffer i fiskeslam

*Temperatur/tid:* Varierer mellom 45-65 °C under kompostering, cirka 14 dagers oppholdstid i komposteringsreaktor

*Hygenisering:* Under kompostering

*Andre forhold som kan ha påvirkning:* Prøvene er iblandet rivningsverk i komposteringsreaktorer. Trevirket er siden avsilt for å oppnå slamprøver til analyse, men det er tydelige rester av trevirke i prøvene. Dette gjør GGE-prøven ganske annerledes enn de øvrige. Fiskeslam er blandet med flis for å gi materialet struktur og for å optimalisere C:N-forhold.

### 2.1.2 Waister AS (WA)

*Teknologileverandør:* Delvis egenutviklet løsning (unntatt filtrering/avvanning)

*Plassering av anlegget:* Tjongsfjorden, Rødøy, Nordland

*Fiskeslam fra:* Helgeland smolt AS (RAS anlegg for smolt)

*Prosesser:* Filtrering, avvanning, mekanisk fluidisering og overopphetet damp

*Tilsetninger:* Flokkuleringsmidler (ZETAG ®9048FS, <1% i ferdig produkt) under avvanning

*Temperatur:* 75-100 °C

*Hygenisering:* Under tørking

### 2.1.3 Bioretur AS (BR)

*Teknologileverandør:* Fjell Technology Group og egen sammensatt løsninger

*Plassering av anlegget:* Sævareid, Hordaland

*Fiskeslam fra:* Sævareid fiskeanlegg AS (smolt, gjennomstrømming)

*Prosesser:* Trommelfilter, Salsnesfilter (båndfilter), TMD friksjonstørker, pelletering

*Tilsetninger:* Polymer under avvanning (ukjent type)

*Temperatur:* 105-115 °C

*Hygenisering:* Under tørking

#### 2.1.4 Flatanger settefisk AS/Sterner AS (F/S)

*Teknologileverandør:* Sterner AS (unntatt filtrering/avvanning)

*Plassering av anlegget:* Flatanger, Trøndelag

*Fiskeslam fra:* Flatanger Settefisk AS

*Prosesser:* Filtrering, sedimentering/fortykning, homogeniseringstank, skrupresse, båndtørke.

*Tilsetninger:* Polymer i homogeniseringstank (ukjent type)

*Temperatur:* 40-55 °C

*Hygenisering:* Ingen

## 2.2 Analyser

Prøvene ble sendt til Eurofins for analyse, og i hovedsak analysert med analysepakken "slam-næring" hos Eurofins Environment Testing, som inkluderte de fleste parameterne av interesse, bortsett fra P-Olsen analysene. P-Olsen analyser av prøver med høyt TS-innhold ble derfor analysert hos Eurofins Agri (P-Olsen analyse krever TS % > 25 %).

Etter utsending av prøver til Eurofins ble det opplyst om at de mest vandige prøvene (WA-01, BR-01 og F/S-01) hadde et for lavt tørrstoffinnhold (råslam, TS = 0.3-.5.4 g/L) til å utføre flere av analysene som var inkludert i analysepakken. For disse tre prøvene ble det derfor utført analyser som for *avløpsvann* (også hos Eurofins Environment testing), men i prøvene C- og DO1 ble fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) ikke inkludert. Videre var det for prøve F/S-02 (TS=2.1%) for lite prøvemateriale for analyse av mineraler med AL-metoden.

Verdier for kjemiske sammensetning, næringsstoffer og tungmetaller er vist i tabellene 2, 4 og 6, henholdsvis.

Prøveuttakene kategoriseres som stikkprøver. Målet var å analysere en samleprøve fra produksjonen (1-dags produksjon) ved hvert trinn, men det var utfordrende å dekke batchvariasjon med det begrensede antall prøver som var mulig å ta. Videre var det vesentlige forskjeller i sammensetning av slammet ut ifra fiskens vekststadium og fôring. Tidligere studier har vist at i perioder kan inntil 50 % av slammet være rester av fôr (Ytrestøyl m.fl. 2016). Ved flere av anleggene undersøkt i dette prosjektet var slammet en blanding fra ulike stadier, eller fiskens vekststadium og fôring er ikke kjent.

Tabell 2 viser resultater for tørrstoffinnhold, konduktivitet (ledningsevne), pH og glødetap for prøver av slam fra fire ulike anlegg og ulike steder i prosessene der dette var mulig å undersøke. Prøve GGE-04 hadde lavere tørrstoffinnhold enn andre ferdige produkt (64 % for GGE-04 vs 97, 92,5, 91,3 og 94,6 % for WA-04, BR-03, BR-P og F/S-04). Som vi ser, er askeinnholdet (glødetap i % av TS) svært høyt, over 70% for alle slamprodukt og 55% i komposten. Dette tyder på at slammet inneholder mye organisk materiale (karbon) særlig i tørket fiskeslam.

Tabell 2. Tørrstoffinnhold (TS), konduktivitet, pH og glødetap (% av TS) for prøver av slam fra fire ulike anlegg og ulike prosesseringsstrinn.

Prøve ID	Uttak	Tørrstoff %	Konduktivitet mS/m	pH	Glødetap % av TS
GGE-04	Ferdig kompostert, silt	64.0	300	6.7	55.4
WA-01	I pumpesump	0.54	N/A	N/A	N/A
WA-02	Etter avvanning	12.8	180	5.3	77.6
WA-04	Ferdig tørket	97.0	500	5.9	73.4
BR-01	Etter trommelfilter	0.15	N/A	N/A	N/A
BR-02	Etter filter	17.6	210	5.5	74.9
BR-03	Ferdig tørket	92.5	260	5.4	75.4
BR-P	Pelletert	91.3	220	5.8	70.5
F/S-01	Etter trommelfilter	0.03	N/A	N/A	N/A
F/S-02	Lagertank e.sedim.	2.1	37	5.7	75.6
F/S-03	Fra skrupresse (+poly)	28.0	43	6.1	80.7
F/S-04	Ferdig tørket	94.6	120	5.8	81.5

## 2.2.1 Næringsstoffer

Resultater fra analyser av næringsstoffer i de ulike prøvene er gitt i Tabell 3 (vandige prøver) og Tabell 4 (slam med høyere tørrstoffinnhold).

### Nitrogen

Organisk avfall inneholder N både i organisk og mineralisk form. Organisk N brytes ned til  $\text{NH}_4^+$  som planter kan ta opp, men planter kan også ta opp enkle organiske N-forbindelser.  $\text{NH}_4^+$  kan omdannes til  $\text{NO}_3^-$  (og nitritt,  $\text{NO}_2^-$ ) som er lett tilgjengelig for planter – men også lett utvaskbart.  $\text{NH}_4^+$  er den formen av mineralisk N som vanligvis dominerer i organisk avfall, men også  $\text{NO}_3^-$  kan være tilstede (avhengig av behandlingsmetode). I varedeklarasjonen på gjødsel skal både tot-N og mineralisk N oppgis (sum av  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{NO}_2^-$ ). Metoden som er benyttet for analyse i prosjektet er modifisert Kjeldahl-N, som er et mål for tot-N (inkluderer både organisk nitrogen,  $\text{NH}_4^+$ , og  $\text{NH}_3$ ). Resultatene i Tabell 3 og 4 viser at hovedandelen av N i det fiskeslammet som ble undersøkt her, etter uttak i pumpesump eller etter trommelfiltering, er i form av organisk N. Dette er i samsvar med tidligere resultater av undersøkelser av fiskeslam (Brod m.fl. 2017).

For de tre vandige prøvene med svært lave TS innhold (5400, 1500 og 330 mg TS/L for prøvene WA-01, BR-01 og F/S-01), lå tot-N på 37, 31 og 16 mg/L (tabell 3). Andelen  $\text{NH}_4^+$ -N pluss  $\text{NO}_3^-$ -N var mellom 29% og 38% av tot-N. Innholdet til  $\text{NO}_3^-$  var meget lavt for to av prøvene, mens for WA-01 var det mer  $\text{NO}_3^-$  enn  $\text{NH}_4^+$ .

For de tre vandige prøvene med svært lave TS innhold (WA-01, BR-01 og F/S-01), lå tot-N på henholdsvis 37, 31 og 16 mg/L (tabell 3). På TS-basis er innholdet N henholdsvis 0,69, 2,07 og 5,33 g tot-N/100g TS. Andelen  $\text{NH}_4^+$ -N pluss  $\text{NO}_3^-$ -N var mellom 29% og 38% av tot-N. I BR-01 og F/S-01 var det lavere konsentrasjon av  $\text{NO}_3^-$  enn  $\text{NH}_4^+$ , i WA-01 var det omvendt; høyere konsentrasjon  $\text{NO}_3^-$  enn  $\text{NH}_4^+$ . Konsentrasjon av tot-N økte mellom steg 01 og 02, og ble siden reduserte i alle følgende behandlingstrinn (tabell 5). Man kan se en klar reduksjon av både  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$  gjennom prosessen, fra 29-38 % til 0,5-3 % av tot-N i ferdig produkt. Til sammenligning; i tørt kompostert slam fra GGE (GGE-04) var  $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3^-$  14,2 % av tot-N i ferdig produkt.

For anleggene BR og F/S kan det se ut som om at reduksjon av  $\text{NH}_4^+$  er hovedårsaken til reduksjon i tot-N, mens for anlegg WA var det reduksjon av  $\text{NO}_3^-$  som var størst i første trinn og deretter  $\text{NH}_4^+$

(tabell 4). Rå slam fra anlegg WA skiller seg ut i at det inneholder dobbelt så mye  $\text{NO}_3^-$  som  $\text{NH}_4^+$  mens de andre inneholder relativt lite  $\text{NO}_3^-$ . For anlegg F/S, der det er analysert med samme metode prøver av relativt vått slam, etter filtrering og tørking (tabell 4), vises det at reduksjon av  $\text{NH}_4^+$  er høyest fra skrupresse til ferdig produkt, dvs. at tørking er hovedårsak til  $\text{NH}_4^+$  reduksjon. Prøven som er pelletert (BR-P) har en noe større reduksjon av tot-N. Innholdet reduseres i BR-P fra 4,6 til 2,8 % TS. Innholdet av  $\text{NO}_3^-$  er meget lavt i de fleste prøvene av ferdig tørket slam (maks 0,0033 % TS), bortsett fra i prøve GGE-04 som har et innhold på 0,22 % TS.

Tabell 3. Innhold av tørrstoff og næringsstoffer for prøvene tatt ut tidligst i prosessen (råslam) fra anleggene WA, BR og F/S. Disse prøvene analysert som avløpsvann. Verdiene er oppgitt som mg eller  $\mu\text{g/l}$  i analyserapport men er presentert her i tillegg som g/100g TS for å gjøre det lettere å sammenligne med resultatene fra prøver med høyere TS-innhold i tabell 4.

Prøve-ID		WA-01	BR-01	F/S-01
Uttak		<i>I pumpeump</i>	<i>Etter trommelfilter</i>	<i>Etter trommelfilter</i>
Tørrstoff	mg/l	5400	1500	330
	%	0,54	0,15	0,03
Tot-N	mg/l	37	31	16
	g/100g TS	0,69	2,07	4,85
$\text{NO}_3^-$ -N	mg/l	9,9	0,33	0,005
	g/100g TS	0,18	0,02	0,00
$\text{NH}_4^+$ -N	mg/l	4,3	10,0	4,6
	g/100g TS	0,08	0,67	1,39
% MinN	%	37,6	33,3	28,8
Tot-P	mg/l	11	32	8
	g/100g TS	0,20	2,13	2,42
PO4-P	mg/l	3,8	-	-
K, oppsluttet	mg/l	60	2,8	2,5
	g/100g TS	1,11	0,19	0,76
Ca, oppsluttet	mg/l	90	53	26
	g/100g TS	1,67	3,53	7,88

Tabell 4. Innhold av tørrstoff og næringsstoffer i slamprøver med tørrstoffinnhold over ca 2 % for de ulike anleggene.

Prøve-ID		GGE-04	WA-02	WA-04	BR-02	BR-03	BR-P	F/S-02	F/S-03	F/S-04
Uttak		Ferdig komp.	Etter avvanning	Ferdig tørket	Etter filter	Ferdig tørket	Pellets	Lagertank e.sedim.	Fra skrupresse (+poly)	Ferdig tørket
Tørrstoff	%	64,0	12.8	97,0	17.6	92.5	91.3	2.1	28	94.6
Tot-N		3.8	4.4	3.8	4.6	3.2	2.8	7.6	6.4	6.3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	g/100g TS	0.32	0.73	0.09	1.1	0.11	0.09	0.95	0.7	0.03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		0.22	0.00091	0.0001	0.00064	0.0001	0.00011	0.0033	0.00036	0.00011
% MinN	%	14.2	16.6	2.4	23.9	3.4	3.2	12.5	10.9	0.5
S		0.71	0.52	0.21	0.43	0.18	0.26	0.53	0.48	0.4
P		5.1	4.3	2.5	3.8	2.7	3.7	4	3.2	2.6
P-AL		2	1.7	1.8	1.7	1.4	1.4	N/A	1.5	1.3
P-Olsen		0.3	N/A	0.041	N/A	0.085	0.077	N/A	N/A	0.14
Fe		1.1	0.12	0.04	0.1	0.06	0.13	0.11	0.06	0.04
K-AL	g/100g TS	0.33	0.26	0.24	0.09	0.1	0.12	N/A	0.06	0.06
Ca		9.8	7.2	4	7.6	5.2	7.5	7.4	6	4.5
Ca-AL		3.9	2.7	3	4	3.4	3.9	N/A	3.5	3.7
Mg-AL		0.32	0.7	0.67	0.27	0.28	0.26	N/A	0.28	0.19
Na-AL		0.46	1.1	1.1	0.17	0.09	0.11	N/A	0.09	0.08
Al		0.31	0.05	0.02	0.06	0.04	0.06	0.04	0.03	0.02
B	mg/kg TS	23	31	13	12	11	13	20	10	9
Mn		400	220	120	260	170	210	200	150	120

#### Fosfor

Resirkulering av P er viktig for å bidra til en mer bærekraftig forvaltning av jordas P-ressurser. I forskrift om organiske gjødselvarer er det krav om å oppgi totalinnholdet av tot-P og P-AL verdien (ammoniumacetat-laktatløselig-P), som er et mål for plantetilgjengeligheten. I forslaget til ny gjødselvarerforskrift er det også foreslått å inkludere analyser av Olsen-P, som er en noe mer skånsom ekstraksjonsmetode enn AL-metoden. AL-metoden er vist å kunne overvurdere plantetilgjengeligheten av P for enkelte gjødselvarer (Blytt m.fl. 2017).

Tot-P i prøvene av råslam varierte fra 0,20 (WA-01) til 2,67 (F/S-01) g/100g TS. Innholdet av fosfat er kun rapportert for prøve WA-01 og utgjør ca. 35% av tot-P-innhold i denne prøven.

Innholdet av tot-P i tørrere prøver (tabell 4) viste liten variasjon, og var fra 3,8 til 4,3 g/100 g TS. Innholdet ser ut til å reduseres noe utover i prosessen for de fleste produktene, siden de fleste prøver med TS over 90% har P innhold fra 2.5 til 2.7 g/100g TS, bortsett fra pelletert prøve (BR-P) som fortsatt har et høyere innhold av P (3.70 g/100g TS). Årsaken til reduksjonen og forskjellen observert for pelletert prøve er usikker, men det er sannsynlig at noe P blir vasket ut som fosfat under siling/filtrering (som nevnt utgjorde fosfat 35 % av tot-P i en prøve). Det må imidlertid også nevnes at det er relativt stor måleusikkerhet i målingene av P, oppgitt til 25% for analyser av slam.

P-AL løselig P utgjorde 40-50 % av tot-P for de fleste prøvene, og innholdet av P-AL var stabilt gjennom prosessene. Produkt WA-04 har en høyere andel av tot-P som AL-løselig P (70%).

Innholdet av P-Olsen i ferdige produkt var relativt lavt i alle prøver og varierte fra 40 til 85 mg/100 g TS. Kompostert slam (AO4) hadde et høyere innhold, 300 mg/100 g TS.



Kalsium, kalium og svovel

Innhold av Ca vil kunne ha betydning for tilgjengeligheten av P i fiskeslam. Innholdet av *tot-Ca* er relativt høyt og ganske likt for prøvene tatt ut etter avvanning – dvs med TS- innhold på mellom 2 – 16 % for de tre anleggene. Innholdet av Ca reduseres gjennom prosessen – fra 7.2 g/100 g TS til 4 g/100 g TS for anlegg B, fra 7.6 g/100 g TS – 5.2 g/100 g TS for anlegg C, og fra 7.4 g/100 g TS til 4.5g/ 100g TS for anlegg D. Pelletert prøve (BR-P) har imidlertid ikke denne reduksjonen. Årsaken til dette kan være at utgangsslammet er forskjellig, slik resultatene for tot-P kan tyde på.

Ca målt ved Ca-AL er også relativt høyt (3 - 4 g/100 g TS) for alle prøvene, og man ser en viss reduksjon gjennom prosessen for alle anleggene. Sammenlignet med tidligere analyser (Brod m.fl. 2017) er verdiene i samme størrelsesorden, men noe høyere enn det de har analysert i ferdig slam (2.1-2.8 g/100 g TS).

I analysepakken for slam inngikk ikke tot-K – kun K-AL. K målt ved K-AL viser relativt lave verdier (0.3-0.1 g/100 g TS) for alle prøvene, og det er ikke registrert noen signifikant reduksjon i K-AL verdier gjennom prosessene for de tre anleggene (tabell 4). En mulig årsak til at man ikke ser en reduksjon av kalium (vannløselig) kan være den høye kvantifiseringsgrensen for K-AL i analysene.

S-innholdet som andel av TS ble redusert gjennom prosessen (tabell 4). Dette kan skyldes at S gikk tapt i gassform under tørking. S er et viktig plantenæringsstoff, som fiskeslam kan være en interessant kilde til.

Endringer i N, P, K og S fra råslam til ferdig produkt

En oversikt over innhold av N, P og K for vandige prøver/råslam og prøvene med høyere tørrstoffinnhold er inkludert i tabell 4. Konsentrasjon av N og P øker i alle produktene etter første avvanning/filtrering (WA, BR og F/S 01-02), og reduseres av tørking. I prøven fra F/S skjer reduksjonen under sedimentering. Prosentandel mineralsk N av tot-N reduseres i alle trinn. Bortsett fra % mineralsk N er summen av endringer i konsentrasjon av næringsstoffer positiv, dvs. at det er en oppkonsentrering totalt sett, med unntak av P i slammet fra F/S. Til tross for et relativt lavt tap av tot-N i slam fra F/S (18%), så var dette anlegget med størst tap av min-N. Oppkonsentreringen kan forklares av at konsentrasjonen av næringsstoffene i forhold til TS-innholdet øker etter første behandlingstrinn, fordi partiklene som lettest filtreres ut eller sedimenterer blir fjernet før de vannløselige næringsstoffene tapes. Det kan også være et resultat av ulike analysemetoder brukte på råslammet og resten av prøvene.

De tre vandige prøvene fra anlegg WA, BR og F/S har hhv 1.1, 0.2 og 0.8 g tot-K/100 g TS. Siden K er vannløselig, vil antakelig mye av tot-K foreligge som K-AL, og man ser sannsynligvis en reduksjon av K gjennom prosessen til ferdige produkter siden K-AL for disse varierer fra 0.2 – 0.06 g/100 g TS. Det er ingen endring i tot-K under tørking. S ble ikke målt i råslam så det er derfor umulig å bestemme endringer under første behandlingstrinn. I alle typer fiskeslam reduseres svovel-konsentrasjonen under tørking.

Tabell 5. Prosent endringer i konsentrasjonen (g/100g TS) til tot-N, min-N og tot-P mellom behandlingstrinnene og fra råslam til ferdig tørket slam. I Waister sitt tilfelle var det ikke samlet inn prøver fra trinnet rett før tørking. Uthevet skrift betegner endringer som skjer under tørking.

Parameter	Teknologi-leverandør	Behandlingstrinn			
		01-02	02-03	03(02)-04	Råslam-Tørket slam
tot-N	Waister	542 %		<b>-14 %</b>	455 %
	Bioretur	123 %	<b>-30 %</b>		55 %
	Sterner	43 %	-16 %	<b>-2 %</b>	18 %
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Waister	630%		<b>-88%</b>	-10%
	Bioretur	57%	<b>-90%</b>		-84%
	Sterner	-32%	-26%	<b>-96%</b>	-98%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Waister	-99%		<b>-89%</b>	-100%
	Bioretur	-97%	<b>-84%</b>		-100%
	Sterner	65%	-89%	<b>-69%</b>	-95%
% min-N av tot-N	Waister	-56 %		<b>-86 %</b>	-94 %
	Bioretur	-28 %	<b>-87 %</b>		-90 %
	Sterner	-57 %	-13 %	<b>-95 %</b>	-98 %
tot-P	Waister	2011 %		<b>-42 %</b>	1127 %
	Bioretur	78 %	<b>-29 %</b>		27 %
	Sterner	50 %	-20 %	<b>-19 %</b>	-3 %

## 2.2.2 Tungmetaller og arsen

Innholdet av tungmetaller, samt arsen, er gitt i tabell 6. Til sammenlikning er kravene til maksimalt innhold av tungmetaller i dyrkingsmedier i gjeldende forskrift til organiske gjødselvarer, vist i tabell 7. Tabell 8 viser hvilke kvalitetsklasser fiskeslam havner i etter grenseverdiene oppgitt i gjødselvarerforskriften. Tabellene er supplert med forslag til grenseverdier for arsen (As) fra forslaget til revidert forskrift. For andre tungmetaller er grenseverdiene ikke foreslått endret (Landbruksdirektoratet 2018).

For de fire Kvalitetsklassene O, I, II og III for dyrkingsmedier som er nevnt i tabellen gjelder følgende bruksområder:

*Dyrkingsmedie i klasse O* kan brukes på jordbruksarealer, private hager, parker, grøntarealer og lignende. Tilført mengde må ikke overstige plantenes behov for næringsstoffer.

*Dyrkingsmedie i klasse I* kan brukes på jordbruksarealer, i private hager og i parker med inntil **fire** tonn tørrstoff per dekar i løpet av en tiårsperiode. Videre kan det legges ut i lag på maksimalt fem centimeters tykkelse og blandes inn i jorda på bruksstedet, på grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller førvekster.

*Dyrkingsmedie i klasse II* kan brukes på jordbruksarealer, i private hager og i parker med inntil **to** tonn tørrstoff per dekar i løpet av en tiårsperiode. Videre kan det legges ut i lag på maksimalt fem centimeters tykkelse og blandes inn i jorda på bruksstedet, på grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller førvekster.

*Dyrkingsmedie i klasse III* kan legges ut i lag på maksimalt fem centimeters tykkelse **i løpet av en tiårsperiode** og blandes inn i jorda på bruksstedet, på grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller fôrvekster. Videre kan slikt materiale brukes som toppdekke på avfallsfyllinger med en tykkelse på maksimalt 15 cm.

Hentet fra Gjødelsvareforskrift (FOR-2019-01-30-58).

Tabell 6. Innhold av metaller/tungmetaller samt arsen i prøver av slam fra fire ulike anlegg og ulike steder i prosessene. Råslammet ble ikke analysert for tungmetaller.

Prøve-ID	Uttak	TS	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
		%								
						mg/kg TS				
GGE-04	Ferdig kompostert	64,0	22.00	38.0	2.00	110.	36.00	0.204	12.00	1 200
					0					
WA-02	Etter avvanning	12,8	2.80	1.20	0.43	19.0	2.10	0.038	1.30	480
WA-04	Ferdig tørket	97,0	1.70	< 0,50	0.23	9.6	1.10	0.026	0.96	270
BR-02	Etter filter	17,6	1.40	0.78	0.43	19.0	3.20	0.055	2.40	420
BR-03	Ferdig tørket	92,5	0.93	0.52	0.29	12.0	1.70	0.035	29.00	310
BR-P	Pellets	91,3	1.20	< 0,50	0.38	14.0	3.40	0.036	34.00	390
F/S-02	Lagertank e.sedim.	2,1	4.00	< 0,50	0.62	13.0	3.30	0.039	1.00	360
F/S-03	Fra skrupresse (+poly)	28,0	1.10	< 0,50	0.39	8.4	2.40	0.073	< 0,50	280
F/S-04	Ferdig tørket	94,6	0.80	< 0,50	0.37	8.2	3.40	0.046	< 0,50	270

Som forventet ser vi at sluttproduktene av tørket slam kommer i klasse I pga høyt innhold av sink (Zn). For øvrige tungmetaller tilfredsstiller de ferdige produktene kravene til klasse O.

Kompostert fiskeslam fra GGE AS (GGE-04) hadde overraskende høye verdier for innhold av tungmetaller. Dette er mest sannsynligvis en konsekvens av at behandlet trevirke (rivningsvirke) ble brukt som tilsetning. Produktet havner i klasse III med tanke på As, II med tanke på Cd, klasse I for Cu og Hg og har derfor begrensninger i bruksområder og mengder (tabell 8).

For As er det interessant å se at konsentrasjonen avtar fra råslam til ferdig produkt, for tørket slam.

Det er også foreslått at råvarer som inngår i produkter i tungmetallklasse O ikke kan ha et tungmetallinnhold som overskrider grenseverdiene for klasse I. Videre at råvarer som inngår i produkter i tungmetallklasse I og II ikke kan ha et tungmetallinnhold som overskrider grenseverdien for klasse II, og at råvarer som inngår i produkter i tungmetallklasse III ikke kan ha et tungmetallinnhold som overskrider grenseverdien for klasse III.

Tabell 7. Grenseverdier for tungmetaller etter gjødselvereforskriften. Verdiene for arsen er foreslået til revidert forskrift. Hentet fra Gjødselvereforskrift (FOR-2003-07-04-951)

Kvalitetsklasser	O	I	II	III
	mg/kg TS			
Kadmium (Cd)	0,4	0,8	2	5
Bly (Pb)	40	60	80	200
Kvikksølv (Hg)	0,2	0,6	3	5
Nikkel (Ni)	20	30	50	80
Sink (Zn)	150	400	800	1500
Kobber (Cu)	50	150	650	1000
Krom (Cr)	50	60	100	150
Arsen (As)	5	8	16	32

Tabell 8. Kvalitetsklasser for slamproduktene. Basert på grensene i Forskrift om gjødselvarer med organisk opphav (2003). Der det er oppgitt to kvalitetsklasser ligger verdien tett opp under grensen.

	Cd	Pb	Hg	Ni	Zn	Cu	Cr	As
GGE	II-III	O-I	O-I	O	II-III	III	O	//
Waister	O	O	O	O	I	O	O	O
Bioretur	O	O	O	O-I	I	O	O	O
Flatanger	O-I	O	O	O	I	O	O	O
Ecopro (biorest)	O	O	O	O	O-I	O-I	O	I

Oppsummert resultater for prøvene med 100 % fiskeslam:

- Bly er i alle tilfeller under kravet til klasse O og hos de fleste leverandørene langt under grensen til klasse O, bortsett fra GGE som er på grense mellom O-I. Innholdet av bly ser ut til å reduseres noe i prosessen, men dette kan også knyttes til måleusikkerhet.
- Kadmium er hos flere av leverandørene var nær klasse I hvis man tar høyde for måleusikkerhet og variasjon, og for ett slam også nær klasse II. Kadmium-innholdet ser ut til å reduseres noe i prosessen.
- Kobber er jevnt over langt under grensen for klasse O bortsett fra GGE som er over grensen til klasse III. Kobber reduseres i prosessen.
- Krom-verdiene er langt under grensen for klasse O. Krom reduseres ikke nevneverdig i prosessen.
- Nikkel er for to av leverandørene langt under grensen for klasse O, men i et tilfelle svært lav i starten av prosessen men plutselig høyt over grensen og i klasse I (Bioretur, BR-03/04).
- Sink er jevnt over høyt og innenfor klasse II i starten av prosessen, men reduseres tilsynelatende i filtreringsprosessen og ender i klasse I. Det er ett unntak (GGE), med konsentrasjon på grense mellom klasse II og III. Den største faren for nedgradering til klasse I (eller II) er følgelig sink.
- Med ett unntak (GGE) hvor arsen-verdien lå i klasse II-kvalitet, var konsentrasjonen under grensen for klasse O.

Resultatene er i overensstemmelse med tidligere analyser av fiskeslam (Brod m.fl. 2017; Rosten m.fl. 2013; Ytrestøyl m.fl. 2016), altså at det er innholdet av kadmium og sink som vil være bestemmende for hvilken kvalitetsklasse som definert i gjødselvareforskriften slammet havner i. Man skal likevel være oppmerksom på As, siden innholdet i råslam var ganske nær grenseverdien mellom klasse 0 og I.

## 2.3 Konklusjoner karakterisering av fiskeslam

Resultatene viser at endringene i sammensetning gjennom prosessene er relativt like for de tre anleggene som produserer tørt fiskeslam. Antall prøver er for lite til å bedømme hvorvidt resultatene og endringer i prosessen skyldes temperaturpåvirkning, filtreringstrinn og/eller tilfeldig variasjon. Vi vet for eksempel at N kan påvirkes av temperatur og lufting men det kan også reduseres ved at oppløst N forsvinner ut i avløpsvannet etter filtreringen av partikler. I mange av prøvene er det først en oppkonsentrering og deretter synker konsentrasjon av både næringsstoffer og tungmetaller under behandlingstrinnene (særlig mineralisk N), men det er for mange variabler til å fastslå opprinnelse og årsaksforhold med tilstrekkelig sikkerhet. For eksempel er det tidligere vist at sammensetningen av slammet vil variere med vekststadiet til smolten (Ytrestøyl m.fl. 2016). Analysene utført i dette prosjektet er gjort som stikkprøver fra de forskjellige anleggene og viser følgelig ikke utvikling over tid. Resultatene er likevel i samsvar med tidligere analyser fra tre ulike settefiskanlegg hvor det ikke ble funnet store forskjeller i konsentrasjon av hovednæringsstoffer og mineraler i ferdig tørket slam (ibid.).

## 3 Delprosjekt II: Vekstforsøk i potter

Tidligere forsøk viser at fiskeslam fra landbasert settefiskproduksjon kan egne seg godt som gjødsel i planteproduksjon (Brod m.fl. 2017; Eltervåg 2018; Uhlig and Haugland 2007; Vangdal m.fl. 2014). Ubehandlet, avvannet, tørket, utråtnet og kompostert slam har vært testet både i felt og i potter med ulike vekster. Gjødseffekten varierer noe og ligger mellom husdyrgjødsel og mineralgjødsel, uansett hvilken form slammet foreligger i. Flere peker på et lavt innhold av min-N og K som begrensende faktorer, og som en grunn til at fiskeslam ikke kan erstatte mineralgjødsel. Men ifølge Brod m.fl. (2017), Henriksen m.fl. (2019) og Eltervåg (2018) mineraliseres organisk N i fiskeslam veldig raskt i kontakt med jord, og det høye innholdet av P gjør fiskeslam attraktivt som P-gjødsel eller råvare i et gjødselprodukt. Uhlig og Haugland (2007) konkluderte med at avlingseffekten av fiskeslam fra røye (1,7% TS) var like bra eller bedre enn mineralgjødsel til timoteigress. Slammet brukt av Uhlig og Haugland (2007) var ikke tørket før bruk og hadde betydelig mer  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  enn de tørkede produktene testet her (6,06% av TS vs. 0,03-0,09%). Eltervåg (2018) sammenlignet våt, tørket og kompostert fiskeslam i et vekstforsøk med bygg. Observerte agronomisk effektivitet var på hhv. 58%, 44% og 15% og et inkuberingsforsøk viste at til tross et lavere mineralisering av N ga tørket fiskeslam nesten like god plantevekst som våtslam. Forfatteren bekrefter at forholdet mellom N og P i fiskeslam er ugunstig med tanke på plantenes behov men at tørket fiskeslam er likevel best egnet som gjødselvarer.

Et feltforsøk med bygg gjennomført av Norsk landbruksrådgivning (NLR) i Trøndelag i 2017 testet tørket fiskeslam fra Åsen og Flatanger settefiskanlegg, og kompostert fiskeslam fra GGE AS. Til sammenlikning ble flytende biorest fra Ecopro AS biogassanlegg i Verdal også tilført. Det var totalt tolv behandlinger på tre felt og tilførsel av gjødselmengder som tilsvarte 6 og 12 kg tot-N per daa. Slammene og bioresten ble tilført hver for seg med begge N-nivåer og i en 50/50 blanding der 6 kg N/daa kom fra slam eller biorest og 6 kg N/daa fra 22-3-10 mineralgjødsel. Mineralgjødsel ble tilført også med 6 og 12 kg N/daa. Ved avslutning ga 22-3-10 mineralgjødsel best avling, etterfulgt av behandlingen der halvparten av N ble tilført som NPK 22-3-10 mineralgjødsel, og halvparten fra kompostert fiskeslam fra GGE AS eller biorest. Det ble konkludert med at både fiskeslam og biorest bør kombineres med mineralgjødsel for å tilføre nok hurtigvirkende N, og supplere med K. Fiskeslam inneholder relativt mye P (2,5-5,1% av TS i dette forsøket), men lite plantetilgjengelig K (0,06-0,33 % K-AL av TS) og min-N (maks 3% for tørket fiskeslam og 14% for kompostert). Flytende biorest fra Ecopro AS, hvor bioresten skiller i en fast og en flytende del, har lavt TS innhold (1-2%), lite P (0,77% av TS tot-P) men inneholder mye min-N (cirka 15% av TS eller over 80% av tot-N) og K (6,2% av TS tot-K). Siden biorest har så lavt TS-innhold er 7-8 tonn biorest per daa nødvendig for å dekke plantenes N-behov, hvis bioresten skal brukes som eneste gjødsel.

Basert på disse erfaringene ønsket vi å undersøke i mer detalj hvordan ulike typer kompostert og tørket fiskeslam virket som gjødsel, i kombinasjon med halm (for å binde eventuell overflødig N, og tilføre K), mineralgjødsel, og flytende biorest.

### 3.1 Materialer og metoder

#### 3.1.1 Gjødselmidler brukt i forsøket

I prosjektets del 1 ble det undersøkt næringsstoffinnhold, og effekt av forbehandling av fiskeslam fra fire ulike anlegg. Prøvene fra del 1 er brukt som gjødselmidler til vekstforsøk i prosjektets del 2. I vekstforsøk ble det testet totalt 4 ulike gjødseltyper av fiskeslam, biorest, fullgjødsel, Calcinit (kalksalpeter), halm og kombinasjoner av disse. En fullstendig oversikt av behandlingsleddene er vist i tabell 10.

Potteforsøket undersøkte gjødseffekten av følgende gjødseltyper:

1. Kompostert fiskeslam fra fire settefiskanlegg blandet og kompostert sammen med trevirke som siktes ut, kompostert med teknologi fra GGE AS (64,0% TS). Omtalt som gjødsel **GGE**.
2. Tørket fiskeslam fra Helgeland Smolt, tørket med teknologi fra Waister AS (97,0% TS). Omtalt som gjødsel **WA**.
3. Tørket fiskeslam fra Sævareid settefiskanlegg, tørket med teknologi fra Bioretur AS (91,3% TS). Omtalt som gjødsel **BR**.
4. Tørket fiskeslam fra Flatanger settefiskanlegg AS, tørket med teknologi fra Sterner AS (94,0% TS). Omtalt som gjødsel **F/S**.
5. Flytende biorest fra Ecopro AS sitt biogassanlegg (1,3% TS). Omtalt som gjødsel **EP**.
6. Fullgjødsel av typen YaraMila™18-3-5. Omtalt som gjødsel **NPK**.
7. Nitrogengjødsel av typen YaraLiva™ Kalksalpeter (15,5% N), også kalt Calcinit. Omtalt som gjødsel **KP**.
8. Pellets av hvete- og rapshalm fra Bioretur (87,5% TS) og tilsatt for å simulere halmstubber som ligger igjen etter kornhøsting. Omtalt som **HL**.

Som bildene i figur 1 viser var det store forskjeller i konsistensen, og det var også betydelige forskjeller i lukt. Slam fra GGE AS (A) og Waister AS (B) minnet mer om jord, og luktet mer jordaktig enn de to andre produktene, som hadde en mer stram lukt. Slam fra Bioretur AS (C) ga fra seg mye støv under behandling. Slam fra Flatanger settefiskanlegg AS/Sterner AS var en blanding av store klumper og støv. Felles for de tre tørkede produktene er et lavt innhold av mineralsk N, mellom 0,03 og 0,09 g/100g TS (under 3% av tot-N). Produktet fra GGE AS, derimot, hadde en betydelig høyere innhold av mineralsk N – 0,54 g/100g TS eller 14% av tot-N (Tabell 9).

I tillegg til de fire fiskeslamproduktene ble det brukt flytende biorest fra Ecopro AS og halmpellets fra Bioretur AS. Bioresten er den flytende fraksjonen etter avvanning med lavt TS innhold, i dette forsøket 1,3% (Tabell 9). Produktet markedsføres under navnet «Ecopro 2» våtgjødsel og brukes som tilsetning til husdyrgjødsel eller spres direkte. Bioresten har et betydelig innhold av  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$  var ikke målt) – 14,5 g/100g TS eller 80% av tot-N – og det ble bestemt å inkludere den som en organisk kilde for plantetilgjengelig N. Biorest ble tilført både alene og i kombinasjon med fiskeslamprodukter og halmpellets.

Halmpellets er laget av snittet og varmebehandlet hvete- og rapshalm og produseres i Litauen. Bioretur AS markedsfører produktet som strø til hestestaller og bruker navnet «Biopellets». Halmpellets ble tilført i totalt fem behandlinger for å simulere halmrester som ligger igjen etter kornhøsting, og for å undersøke om disse vil føre til immobilisering av N. Halm kan også være en kilde til kalium, noe fiskeslam har lite av. Halmen fra Bioretur AS inneholdt imidlertid relativt lite kalium, bare 0,55 g/100g TS (Tabell 9). I følge Withers (1991) har halm fra hvete og bygg en gjennomsnittlig K-innhold av 1.0 g/100g TS.

Som nevnt i kapittel 2 kan innholdet av tungmetaller være en utfordring for fiskeslam brukt som gjødsel/jordforbedring. Fordelingen på ulike kvalitetsklasser med hensyn til tungmetallinnhold er vist i tabellene 7 og 8.

Til sammenligning ble det brukt fullgjødsel 18-3-5 i to N-nivåer. Kalksalpeter ble brukt i en behandling med halm, for å se på effekten av biorest kontra mineralsk N gjødsel. Begge gjødselslagene er levert av Yara og er av type YaraMila™ Fullgjødsel 18-3-5 og YaraLiva™ Kalksalpeter (15,5% N), også kalt Calcinit.



Figur 1. Bilder av fiskeslamproduktene som ble brukt i vekstforsøket. A=GGE; B=Waister; C=Bioretur; D=Flatanger/Sterner.



Tabell 9. Innhold av næringsstoffer og tungmetaller i YaraMila Fullgjødning, YaraLiva Kalksalpeter (Calcinit), biorest fra Ecopro, halmpellets fra Bioretur, kompostert fiskeslam fra GGE og tørket fiskeslam fra Waister, Bioretur og Sterner.

Parameter	Enhet	Fullgjødning <sup>1</sup>	Calcinit <sup>1</sup>	Biorest <sup>2</sup>	Halm <sup>2</sup>	GGE <sup>3</sup>	Waister <sup>3</sup>	Bioretur <sup>3</sup>	Sterner <sup>3</sup>
pH		-	-	8,2	6,5	6,7	5,9	5,8	5,8
Tørrstoff	%	-	-	1,3	87,5	64,0	97,0	91,3	94,6
Tot-N (Kjeldahl)		18	15,5	18,23	0,80	3,8	3,8	2,8	6,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	g/100g TS	9,5	1,1	14,54	0,08	0,32	0,09	0,09	0,03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		8,8	14,7	-	-	0,22	0,0001	0,0001	0,0001
Org-N		-	-	3,69	0,72	3,26	3,71	2,71	6,27
% Min-N	%	100	100	>80	10	14	2	3	<1
S		3,8	-	0,69	0,16	0,71	0,21	0,26	0,40
Tot-P		2,6	-	0,77	0,08	5,1	2,5	3,7	2,6
P-AL		-	-	-	-	2,0	1,8	1,4	1,3
P-Olsen		-	-	-	-	0,30	0,04	0,08	0,14
Fe		-	-	-	0,03	1,10	0,04	0,13	0,04
Tot-K		14,6	-	6,15	0,55	-	-	-	-
K-AL	g/100g TS	-	-	-	-	0,33	0,24	0,12	0,06
Tot-Ca		1,3	18,8	-	0,7	9,8	4	7,5	4,5
Ca-AL		-	-	-	0	3,9	3	3,9	3,7
Tot-Mg		1,5	-	-	0,14	-	-	-	-
Mg-AL		-	-	-	-	0,32	0,67	0,26	0,19
Na-AL		-	-	-	0,03	0,46	1,1	0,11	0,08
Al		-	-	-	0	0,31	0,02	0,06	0,02
Zn		-	-	-	<10	1200	270	390	270
B	mg/kg TS	0,02	-	-	<2,0	23	13	13	8,5
Mn		-	-	-	15	400	120	210	120

--ikke målt eller ikke oppgitt

<sup>1</sup> Verdier tatt fra produktdatabladet.

<sup>2</sup> Analyse gjennomført av Eurofins Agri

<sup>3</sup> Analyse gjennomført av Eurofins Miljø

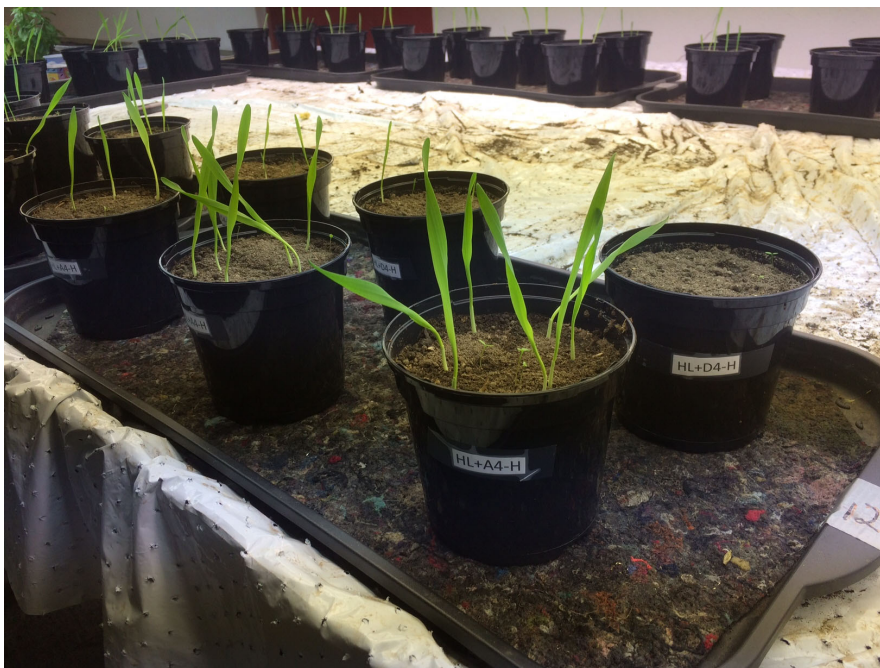
### 3.1.2 Forsøksbehandlinger

Det ble brukt to nivå av gjødning, tilsvarende 22 kg (omtalt som «lav») og 44 kg (omtalt som «høy») tot-N per daa, og ett kontroll-ledd uten gjødning, kalt null-ledd. Normalt nivå med gjødning for bygg i felt ligger mellom 6-12 kg tot-N per daa, så selv det laveste nivået som ble testet her er relativt høyt. Mengden gjødselprodukt som ble tilført pottene var beregnet ut ifra innhold av tot-N slik at alle behandlingene fikk 100 (lav) eller 200 (høy) mg tot-N per potte. Pottene som fikk halm fikk i tillegg ca. 2 mg tot-N tilført med halmen. Fire behandlingsleddene fikk tilført høy mengde N der halvparten kom fra fiskeslam og halvparten fra biorest (tabell 10).

Tabell 10. Behandlingsleddene i vekstforsøket. Leddene var plassert på brettene parvis.

Gjødseltype/blanding	Tot-N	Kode
Nullledd	Null	0
Fullgjødsel	Lav	NPK-L
Biorest	Lav	EP-L
Fullgjødsel	Høy	NPK-H
Biorest	Høy	EP-H
Calcinit + Halm	Høy	KP-H+HL
Biorest + Halm	Høy	EP-H+HL
Bioretur	Lav	BR-L
Waister	Lav	WA-L
Flatanger/Sterner	Lav	F/S-L
Global Green Energy	Lav	GGE-L
Bioretur	Høy	BR-H
Waister	Høy	WA-H
Flatanger/Sterner	Høy	F/S-H
Global Green Energy	Høy	GGE-H
Bioretur + Ecopro	Lav + lav	BR-L+EP-L
Waister + Ecopro	Lav + lav	WA-L+EP-L
Flatanger/Sterner + Ecopro	Lav + lav	F/S-L+EP-L
GGE + Ecopro	Lav + lav	GGE-L+EP-L
Bioretur + Halm	Høy	BR-H+HL
Waister + Halm	Høy	WA-H+HL
Flatanger/Sterner + Halm	Høy	F/S-H+HL
GGE + Halm	Høy	GGE-H+HL

Potteforsøket ble avsluttet 8.10.2018 og alle plantene ble da bedømt for utviklingsnivå ved bruk av den såkalte BBCH-skala (Lancashire m.fl. 1991) og klippet ved jordoverflaten. Ved en feil ble hele avlingen (blad, stilk og skudd) fra hver behandling (tre potter) samlet i én papirpose, veid, tørket på 60 °C og veid igjen (avlinger fra hver potte burde blitt veid for seg). For å kompensere for denne feilen ble rotmasse fra hver potte forsiktig vasket, tørket og veid. Forholdet mellom gjennomsnittsvekten av plantemateriale over jordoverflaten og gjennomsnittsvekt av røtter for hver behandling var  $y = 1,14x + 8,452$  ( $R^2=0,52$ ), der  $y$ =plantemateriale over jorda og  $x$ =røtter. Beregningen viser at det var en sterk sammenheng mellom plantematerialet over og under jordoverflaten.



Figur 2. Plassering av brettene rundt bordet, og tydelige forskjeller mellom behandlinger i oppspiring: For eksempel, kompostert slam fra GGE + halm (A4) ga raskere spiring enn tørket slam fra Flatanger/Sterner + halm (D4). Bildet tatt 15. august 2018.

### 3.1.3 Mengde næringsstoff tilført i de ulike behandlingene

Tabell 11 gir en oversikt over tilsatt konsentrasjon av de andre næringsstoffene ved de ulike behandlingene. Alle behandlingene fikk enten ekvivalent på 22 eller 44 mg Tot-N med unntak nullledd som ikke ble tilsatt gjødsel. Det var stor forskjell på mengden av lett tilgjengelig (mineralsk) N som ble tilført per potte. Mens alle behandlinger med lav eller høy N fikk tilført samme mengde Tot-N. Leddene med mineralgjødsel og biorest fra Ecopro AS hadde svært høy andel mineralsk N. Kompostert slam fra GGE AS hadde også en betydelig mengde mineralsk N, mens tørket slam inneholdt svært lite.

Mengden av andre næringsstoffer tilførte pottene varierte. Tilførselen av tot-P og tot-Ca var betydelig høyere med fiskeslam enn med fullgjødsel, og høyest konsentrasjon var det i slam fra GGE AS og Bioretur AS. Pottene gjødslet med fiskeslam fra GGE AS og Bioretur AS fikk 9 ganger mer tot-P og de gjødslet med slam fra Bioretur AS og GGE AS 37 ganger mer tot-Ca (se tabell 11). Fiskeslam inneholder omtrent like mye tot-P som mineralgjødsel per 100 g TS. Men siden gjødslingen var basert på N og innholdet av tot-N er forholdsvis lavere per 100 g TS fikk behandlingene med fiskeslam opp til 9 ganger mer i to tilfeller (GGE AS og Bioretur AS). Behandlingene med biorest fikk en fjerdedel av P sammenlignet med mineralgjødsel.

**Tabell 11. Mengder gjødsel (Fullgjødsel (NPK), Calcinit (KP), biorest fra Ecopro (EP), tørket slam fra Bioretur (BR), Waister (WA), Sterner (F/S) eller kompostert slam fra GGE), halm (HL) og næringsstoffer tilført i de ulike behandlingene. Mengde næringsstoff er oppgitt i mg per potte (900 g jord), unntatt % Min-N.**

Behandling	N-nivå	g gjødsel/potte	g halm eller r.rest	Tot-N	NH4-N	NO3-N	Org-N	% Min N	S	Tot-P	P-AL	P-Olsen	Tot-K	K-AL	Tot-Ca	Ca-AL	Mg-AL
Nullledd	Null			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GGE	Lav	4,1		100	8	6	86	14	19	134	53	8	-	9	258	103	8
WA	Lav	2,7		100	2	<0	98	2	6	66	47	1	-	6	105	79	1
BR	Lav	3,4		100	3	<0	97	3	9	132	50	3	-	4	268	139	9
F/S	Lav	1,7		100	1	<0	100	1	6	41	21	2	-	1	71	59	3
EP	Lav	42,2		100	79	-	21	79	4	4	-	-	33	-	-	<0	<0
NPK	Lav	0,6		100	53	47	-	100	22	15	-	-	83	-	7	7	9
GGE+EP	Lav+lav	4,1	42,2	200	87	>6	107	46	22	138	53	8	33	9	258	103	8
WR+EP	Lav+lav	2,7	42,2	200	81	-	119	41	9	70	47	1	33	6	105	79	18
BR+EP	Lav+lav	3,4	42,2	200	82	-	118	41	13	136	50	3	33	4	268	139	9
F/S + EP	Lav+lav	1,7	42,2	200	79	-	121	40	10	45	21	2	33	1	71	59	3
GGE	Høy	8,2		200	17	12	172	14	37	268	105	16	-	17	516	205	19
WR	Høy	5,4		200	5	<0	195	2	11	132	95	2	-	13	211	158	35
BR	Høy	6,8		200	6	<0	194	3	19	264	100	6	-	9	536	279	19
F/S	Høy	3,4		200	1	<0	199	1	13	83	41	5	-	2	143	118	6
EP	Høy	84,4		200	158	-	43	79	8	8	-	-	67	-	-	<0	<0
NPK	Høy	1,2		200	106	94	-	100	43	30	-	-	166	-	15	15	17
GGE+HL	Høy	4,1	0,2	202	17	12	173	14	38	269	105	16	1	17	517	205	17
WR+HL	Høy	2,7	0,2	202	5	<0	197	2	11	132	95	2	1	13	212	158	36
BR+HL	Høy	3,4	0,2	202	7	<0	195	3	19	265	100	6	1	9	537	279	19
F/S+HL	Høy	1,7	0,2	202	1	<0	201	1	13	83	41	5	1	2	144	118	6
EP+HL	Høy	84,4	0,2	202	158	-	44	78	8	9	-	-	68	-	1	<0	<0
KP+HL	Høy	1,4	0,2	202	14	186	2	99	<0	<0	-	-	1	-	244	243	<0

Tilsatt mengde K varierte også mellom de ulike behandlingene. Tørket slam fra Flatanger/Sterner inneholder minst K-AL av alle fiskeslamprodukter i utgangspunktet (0,06 g/100 g TS) og ved behandlingene ble tilført 88% mindre enn GGE AS og 84% mindre enn Waister AS. Biorest hadde et betydelig innhold av K, 6,2 g/100 g TS, men likevel fikk behandlingene med biorest 40% mindre tot-K enn NPK. Calcinit inneholder ikke K.

Svovel (S) er et annet viktig makronæringsstoff og det var stor variasjon i tilførsel av det. Mineralgjødsel inneholder 3,8 g/100g TS mens fiskeslam inneholdt 0,2-0,4 g/100g TS. Bioresten og komposten inneholdt 0,7 g/100g TS. Behandlingene med fiskeslam fikk tilført omtrent like mye S som mineralgjødsel, særlig kompostert fiskeslam fra GGE AS. Til tross for at biorest har en høyere konsentrasjon av S enn fiskeslam, fikk plantene som var gjødslet med biorest betydelig mindre på grunn av dets høye N-innhold. Fordi fiskeslam har relativt lav konsentrasjon tot-N sammenlignet med NPK var tilførselen av andre næringsstoffer forholdsvis høyere.

### 3.1.4 Jord, planter, temperatur og vanning

Jorda brukt til pottforsøket var hentet fra jorden «Sagmyra» på Tingvoll gard, og har tidligere vist seg godt egnet til pottforsøk. Forsøksjorda var soldet matjord (0-20 cm dyp) hvor mineralfraksjonen

består av 70% sand, 23% silt, 7% leire. Jorda har ca. 12% organisk materiale. Jorda har et lavt til middels innhold av P (3,1 mg P-AL/100g lufttørr jord) og pH på 5,4 (tabell 12). Torrstoffinnholdet i denne jorda var 78% og egenvekten målt i felt er ca. 1 kg per dm<sup>3</sup> (Løes m.fl. 2013). For å regne ut hvor mye N som skulle tilsettes hver potte, gikk vi ut fra at vekten av matjordlaget på en kvadratmeter jord veier 200 kg (1kg/dm<sup>3</sup> x 0,2 m x 1 m<sup>2</sup>). Da blir det f.eks. for et N-nivå på 20 kg per daa, som tilsvarer 20 g N per m<sup>2</sup> (1000 m<sup>2</sup> i ett dekar), behov for å tilsette 0,100 g N per kg med jord (20/200= 0,100).

Tabell 12. Resultater for kjemiske analyser av forsøksjorda, verdier oppgitt for lufttørr jord, n=4 (Ahuja and Løes 2019).

Volumvekt, kg/l	pH	P-AL mg/100g	K-AL mg/100g	Mg-AL mg/100g	Ca-AL mg/100g	Na-AL mg/100g	Glødetap % TS
1,10	5,43	3,05	3,15	5,50	140,00	8,08	12,08
+/- 0,10	+/- 0,04	+/- 0,05	+/- 0,44	+/- 0,35	+/- 0,00	+/- 1,69	+/- 0,51

1-liters plastpottar med dreneringshull i bunnen ble fylt med 800 g jord i tre omganger. Mellom hver porsjon med jord, ble potta dunket lett mot underlaget og vridd en kvart omgang i horisontalplanet 10 ganger. Denne lette og systematiske dunkingen skulle sikre at pottene var pakket på samme måte, for å få mest mulig jevne forhold for plantevekst.

Pottene var plassert 6 og 6 på brett som var dekket med en vannabsorberende duk, som sørget for god fordeling av vann til alle pottene når de sto på et horisontalt underlag (fig. 2). For å bestemme hvor mye vann pottene skulle vannes med, bestemte vi vannmetningsgrad («field capacity» på engelsk). Jorda som ble brukt til potteforsøket har en metningsgrad på 42%, dvs. at når jorda er mettet med vann utgjør vannet 42% av total vekt. Vanlig praksis er å tilsette vann opptil 50-70% av vannmetningsgrad. I dette tilfelle ville det vært 227-317 g vann per 800 g jord (= 1 potte). Brettene med 6 pottar (før vanning) veide i gjennomsnitt 5174 g. Ved oppstart av forsøket (inkludert tilførsel av vann med gjødsling) ble hvert brett tilført vann tilsvarende 300 g per potte, eller 6974 g per brett på mandag og onsdag og 7274 på fredag for å kompensere en ekstra dag uten vanning. Etter de første vanninger virket det som om vannet ikke rakk frøene og dermed ble vekten av brettene økt til 7274 g (eller 350 g per potte) mandag og onsdag og 8174 g på fredag. På den 24. august tilsatt vi 100 g jord (se under) til i hver potte. Etter 10 dager økte vi vekten til 7800 g mandag og onsdag og 8100 på fredag, eller ca. 438 g vann per potte. Dette var for å kompensere for at det var mer jord i pottene og for at plantene begynte å ta opp vannet raskere. Det viser seg i etterkant at denne økningen var kanskje unødvendig og at det er mulig plantene var overvannet fra den 9. september.

Ved vanning ble hvert brett veid, og tilført ionebyttet vann opptil målvekten. Etter vanning ble brettene flytt rundt på bordet etter et system (ett hakk mot venstre og snudd 180 grader) slik at ulike forhold (f.eks. avstand fra ventilasjonsanlegg, ujevnheter i lystilgang) ble jevnet ut. Siste vanning ble gjennomført 5.10.2018.

Ved oppstart ble gjødselprodukter og halm veid inn til ønsket mengde i et aluminiumsbeger og fylt med vann til toppen (fig. 3). Før tilsetting av gjødsel og vann tok vi ut 100 ml jord fra toppen av alle pottene. Deretter tilsatte vi



Figur 3. Bilde av de ulike gjødselprodukter og halm i aluminiumsbeger før blanding med vann, og før tilføring til pottene.

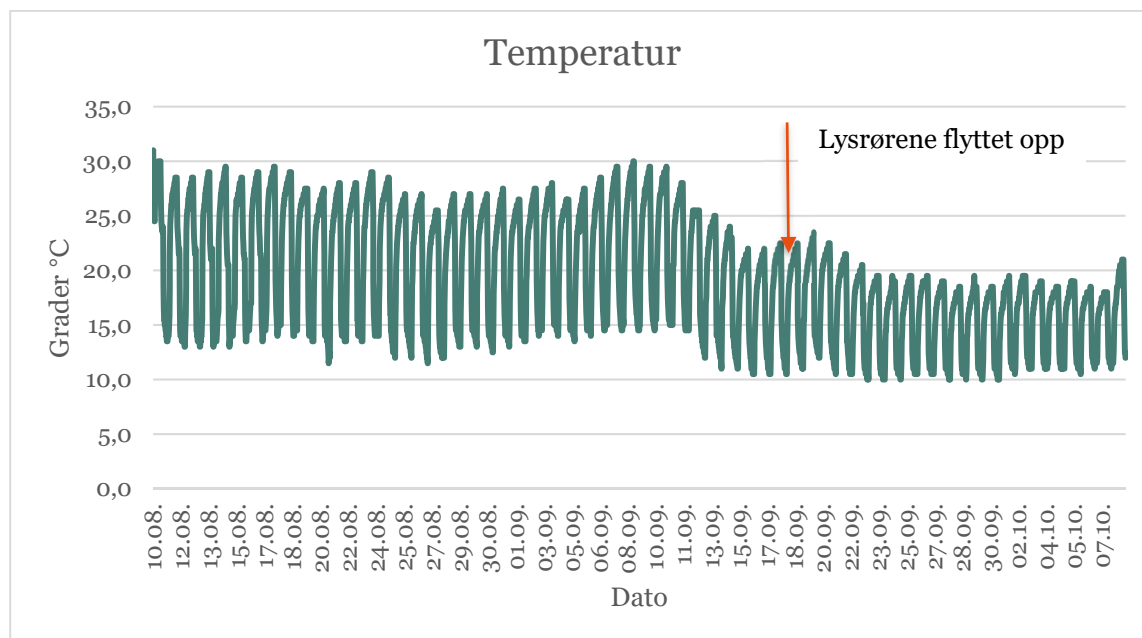
blandingen av gjødsel og vann, og etter at vannet hadde trukket seg ned plasserte vi denne jorda tilbake på overflaten. Alle pottes ble tilført et ekstra beger (100 ml) vann i tillegg til det som var blandet med gjødsel ved oppstarten.

Det ble brukt seksrads bygg av sorten Olsok til potteforsøket. En spiretest ga et resultat på 75% spiredyktighet. Vi tilsatte 7 frø per potte 10.8.2018, og trykket disse lett ned i det øverste jordlaget etter tilsetning av gjødsel. For å unngå at plantene la seg ble det tilsatt 100 g ekstra jord per potte 14 dager etter oppspiring. Antall planter ble redusert til 5 per potte, ved at de svakeste spirene ble fjernet. Ugras som spirte ble nappet forsiktig opp og lagt på jordoverflaten i potta der de vokste.

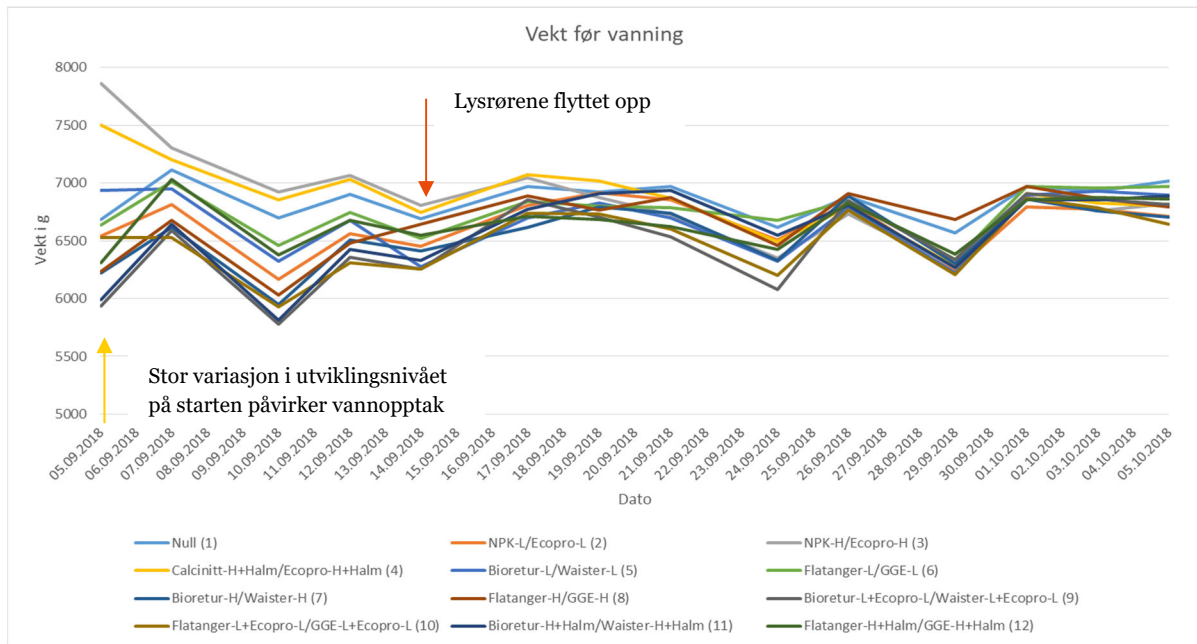
Til sammen var det 23 ulike behandlinger i forsøket, som vist i tabell 10. Med tre gjentak per behandling var det 69 pottes til sammen, som ble fordelt på brett slik at pottes med høyt og lavt N-nivå ikke ble blandet.

Temperaturen på vekstrommet styres med en termostat. Det var satt på 25 °C om dagen (dvs når lyset var på, 15 timer) og 10 °C om natten (dvs. når lyset var av, 9 timer). Kjølige netter var ønsket for å stimulere spiring og busking. En USB-type temperaturlogger (EL-USB-1 fra Lascar Electronics) ble plassert på midten av bordet mellom plantene for å logge temperatur hver halve time. Lysrørene var også styrt av en timer og slo seg på kl. 06.00 og av kl. 21.00.

Gjennomsnittstemperaturen på bordet der plantene sto gjennom hele perioden 10. august-8. oktober var 19 °C. Temperaturen ble målt hvert 30. minutt på bordet i vekstrommet der forsøket foregikk gjennom vekstperioden, 10.8.-7.10.2018. I lysperioden (kl 06-21) var ønsket temperatur 25 °C, i nattperioden (Kl. 21-06) 10 °C. I den første måneden av forsøket varierte maksimumstemperaturen på dagtid mellom 25 og 29,5 °C og på nattid mellom 12 og 14 °C (fig. 4). En betydelig høyere temperatur enn termostaten var innstilt på, skyldtes at lysstoffrørene var plassert ganske nær pottene. 14.09.2018 ble lysrørene flyttet høyere opp, og makstemperaturen på dagtid ble da betydelig lavere, 20,5 - 23 °C, mens natt-temperaturen sank ned mot 10 °C.



Figur 4. Temperaturer på vekstbordet.



Figur 5. Vekt av brettene før vanning fra 05.09.2018 til forsøket ble avsluttet 05.10.2018.

Vekt av hvert Brett før vanning ble registrert den siste måneden av forsøket, fra 05.09-05.10 (fig. 5). Ved starten av denne perioden var det allerede betydelige forskjeller i hvor langt plantene hadde kommet i utvikling, og dette vises i variasjon i vannforbruk. Leddene med fullgjødning og biorest (NPK-H og Ecopro-H) både spirte seint, vokste dårlig og forbrukte lite vann og dermed veide brettet mye hver vanning. Leddene fra Bioretur, Waister og kombinasjonen av Ecopro og GGE/Flatanger (GGE-L + Ecopro-L, Flatanger-L + Ecopro-L i figur 5) vokste godt og brukte mye vann. Variasjonen ble mindre ettersom de plantene som kom sent i gang begynte å utvikle seg. Behandlingene med NPK/Ecopro høy-N og Calcinit/Ecopro høy-N + halm var de siste å spire og de var også brettene som veide mest før vanning frem til cirka 20.09.

## 3.2 Resultater og diskusjon fra potteforsøket

### 3.2.1 Spiring, utvikling og avling

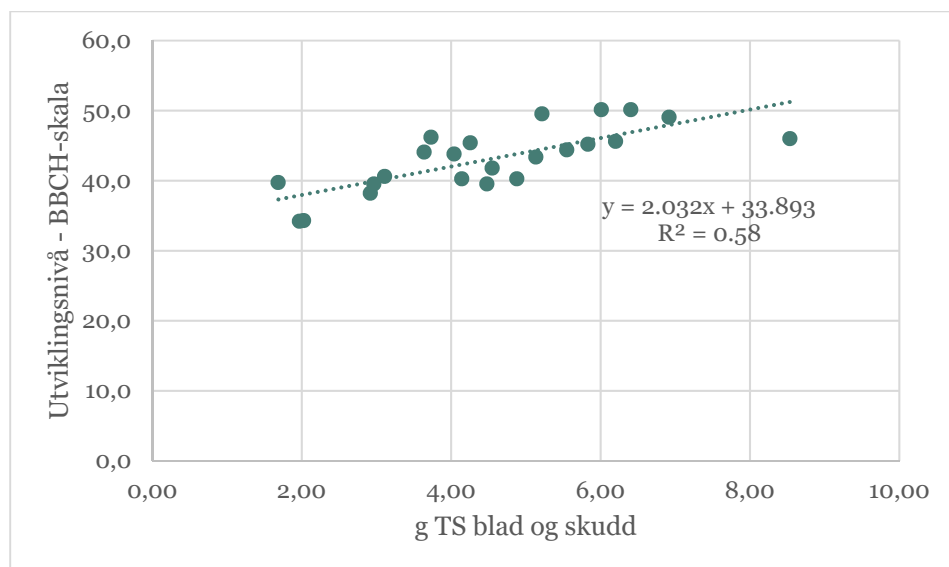
Det var stor variasjon i spiring. Behandlingene med høyt nivå av tilført mineralsk N fra biorest, Calcinit eller fullgjødning spiret seinst. Men utifra at gjødslingsnivået var høyere enn det som er vanlig er ikke dette nødvendigvis overaskende. Det er også dokumentert at biorest kan ha en spirehemmende effekt på bygg (Stefaniuk m.fl. 2015), noe som også ble observert i dette forsøket. Behandlingene med kompostert fiskeslam fra GGE AS + biorest, og fullgjødning med lave N-nivå kom betydelig raskere i gang (se fig. 7). Kontroll-leddet var blant de første å spire og kom like langt i utvikling som de raskeste behandlingene de første to-tre ukene, men bremsset kraftig ned etter det. Dag 20 ble det tatt bilder med en potte fra hver behandling for sammenlikning (fig. 8). Null-leddet var med i alle bildene og figuren viser at dette leddet var blant de som hadde kommet lengst i utvikling på dette tidspunktet. Det samme ble gjort ved avslutning, dag 63 (den 8. oktober) (fig. 9).

Resultater for avling (blad + skudd + rot) per behandlingstrinn og utviklingsnivå vises i tabell 13. For rotvekt var det tydelige forskjeller mellom behandlinger ( $p = 0,002$ ). Det var en betydelig forskjell mellom ulike behandlinger for avlingsnivå (tabell 13) målt i meravling. Meravlingen er differansen mellom avling og kontroll-avling delt med kontroll-avling.

Med BBCH-skalaen tildeles plantene et tall mellom 0 og 99 basert på hvor langt de har kommet i utvikling på et bestemt tidspunkt, i dette tilfelle ved avslutning av forsøket. På dag 63 endte alle plantene mellom nivå 32 og 57 (se Lancashire m.fl. (1991) for mer detaljer eller gå inn på Felleskjøpets sin nettside for en norsk versjon). Fire behandlinger kom lengst i utvikling, med BBCH verdier på 49-50 i gjennomsnitt: Waister-L + Ecopro-L, Bioretur-L + Ecopro-L, NPK-L og Waister-H (tabell 13). Motsatt hadde behandlingene med kun eller hovedsakelig mineralsk N kommet kortest i utvikling: Ecopro, Calcinit + halm og Ecopro + halm hadde BBCH verdier mellom 34 og 38. En regresjonsanalyse viste en sterk sammenheng ( $r^2=0,58$ ) mellom utviklingsnivå og avling av blad+skudd (fig. 6).

Lavest mengde blad og skudd ble produsert i kontroll-leddet, i gjennomsnitt 1,7 g TS per potte. Høyest mengde fikk vi i leddet GGE-L+EP-L: 8,5 g TS per potte i gjennomsnitt. Det innebærer en meravling på hele 406%. Hvis vi sammenligner de tre typene av tørket fiskeslam gav Sterner lavere avling enn Bioretur og Waister ved 22 kg N/daa. Etter tilsetning av biorest var det små forskjeller. Ved 44 kg N/daa var det Waister alene som ga best avling. Kompostert fiskeslam fra GGE gav omtrent like store avlinger som Flatanger/Sterner ved lav og høy N. I motsetning til Flatanger/Sterner ga kompostert slam betydelig avlingsøkning i kombinasjon med biorest. Selv om det ble tilført høye N-mengder i dette forsøket, ble avlingsutbyttet bedre ved å tilføre Ecopro i tillegg til gjødsling med fiskeslam opp til høyeste N-nivå (44 kg/daa). Det ble også observert økt avlingsutbytte av å tilføre 44 kg/daa med fiskeslamprodukter i stedet for 22, men den var ikke like stor som i kombinasjon med biorest. For mineralgjødsel (NPK) og biorest ble det lavere avlingsutbytte ved høyere N-nivå enn ved lavere nivå. Utslaget var betydelig større for biorest. Dette kan ha en sammenheng med at disse behandlingene kom senest i gang med spiring og vekst og hadde relativt lave BBCH verdier (tabell 13).

En gruppe behandlinger med høyt N-nivå ble tilsatt halm for å etterligne situasjonen i en kornåker der halm kan være igjen fra året før ved gjødsling. Halmen kan binde evt. overflødig N som plantene ikke tar opp, men den kan også konkurrere med plantene om N. For Waister ble det en avlingsnedgang, kanskje fordi halmen konkurrerte med plantene om N. For biorest og kompostert slam ble det derimot et betydelig økt avlingsutbytte av å tilsette halm. Dette kan stemme med at Ecopro og GGE hadde mye lett tilgjengelig N, mens Waister hadde lite (tabell 11). For Calcinit ble det testet kun behandling med halm, og avlingsnivået var betydelig lavere enn for biorest med halm. Dette kan skyldes at bioresten hadde høye nivåer av kalium.

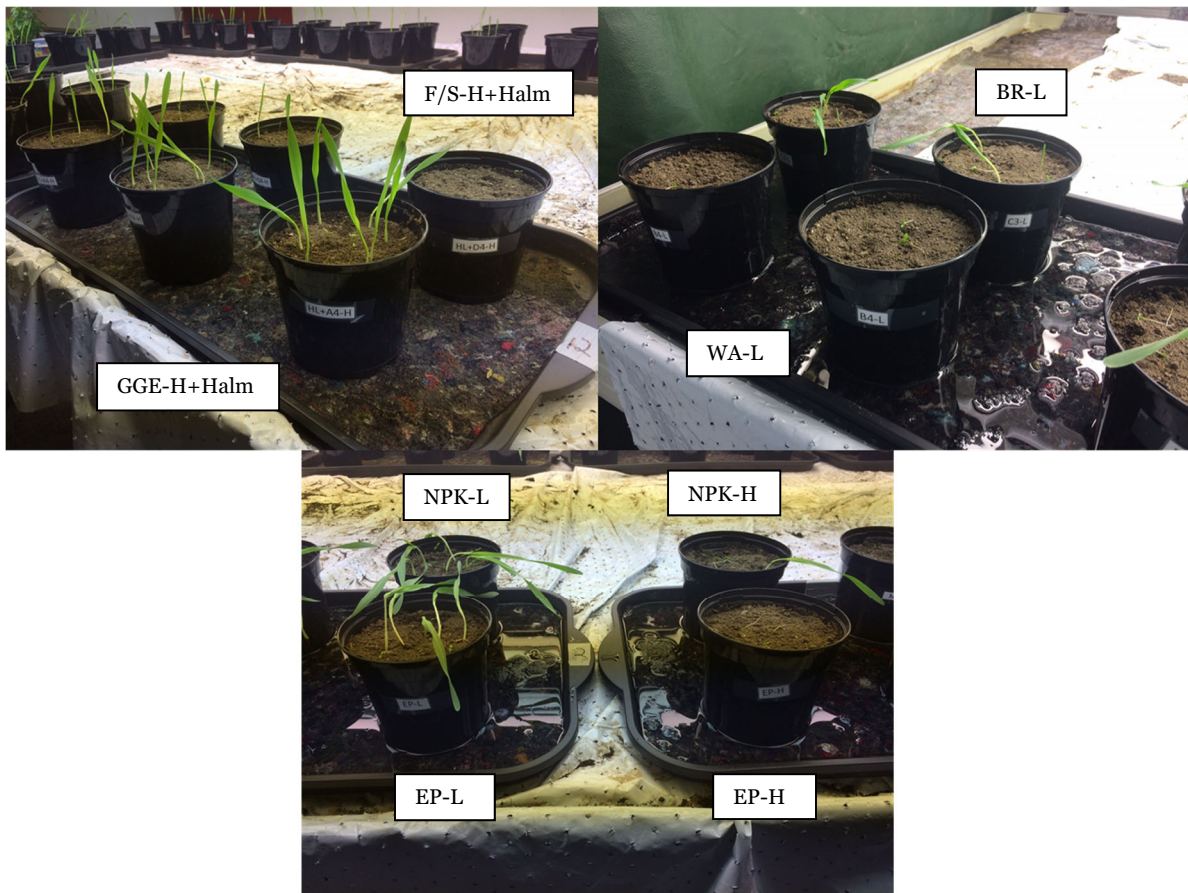


Figur 6. Sammenhengen mellom gjennomsnittlig utviklingsnivå (15 observasjoner per behandling, 5 planter x 3 potter) og gjennomsnitt avling av blad + skudd per potte (1 observasjon per behandling, sum av 3 potter/3).



**Tabell 13. Gjennomsnittlig utviklingsnivå på BBCH-skalaen (0-99) av hver behandling ved avslutning av potteforsøket (8.10.2018); gjennomsnitt avling av blad + skudd; gjennomsnittlig meravling i % av kontroll-ledd; og gjennomsnittlig rotvekt per potte (i g TS). Standardavviket er et mål for hvor stor spredningen er i forhold til gjennomsnittet (middelverdien).**

Behandling	N-nivå kg N/daa	Utviklingsnivå	Std.av. utvikling	Avling (blad+skudd)	Meravling i % av kontroll	Rotvekst	St.dav. rotvekst
Kontroll-ledd	Null	40	4,5	1,7	-	1,4	0,1
GGE-L	22	41	4,4	3,1	84 %	2,8	1,1
WA-L	22	40	4,7	4,5	166 %	2,5	0,8
BR-L	22	42	6,6	4,6	170 %	3,0	1,2
F/S-L	22	40	5,8	3,0	76 %	2,0	0,4
EP-L	22	46	5,0	3,7	121 %	2,0	0,4
NPK-L	22	50	2,4	5,2	209 %	5,5	0,7
GGE-L+EP-L	44	46	9,0	8,5	406 %	4,4	0,2
WA-L+EP-L	44	50	8,2	6,4	280 %	3,9	0,2
BR-L+EP-L	44	50	8,4	6,0	257 %	2,9	0,5
F/S-L+EP-L	44	45	5,3	5,8	246 %	3,7	2,3
GGE-H	44	44	9,7	4,0	140 %	1,8	0,4
WA-H	44	49	7,6	6,9	310 %	3,1	0,6
BR-H	44	43	7,1	5,1	205 %	2,8	0,4
F/S-H	44	44	8,0	3,6	116 %	3,4	1,0
EP-H	44	34	0,8	2,0	17 %	1,6	0,1
NPK-H	44	40	4,3	4,9	189 %	3,8	1,2
GGE-H+HL	44	46	6,8	6,2	268 %	4,9	2,4
WA-H+HL	44	44	6,2	5,6	229 %	2,3	0,2
BR-H+HL	44	45	5,0	4,3	152 %	2,7	0,4
F/S-H+HL	44	40	5,1	4,1	146 %	2,3	0,1
EP-H+ HL	44	38	4,8	2,9	73 %	2,3	0,2
KP-H+HL	44	34	1,6	2,0	20 %	1,8	0,6



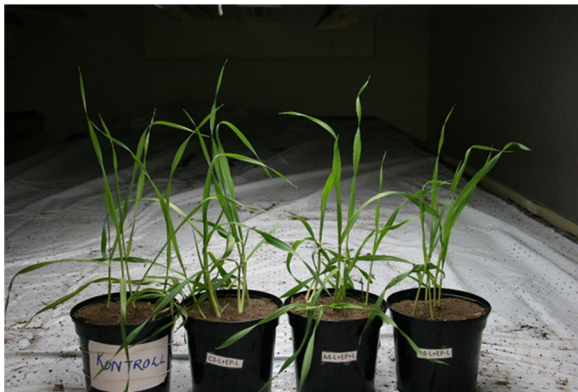
Figur 7. Illustrasjonsbilder som viser forskjeller i spiring. Bildet øverst til venstre ble tatt 15.08.18 og bildene øverst til høyre og nederst ble tatt 17.08.18.



*(v-h) Bioretur-L + Ecopro-L, GGE-L + Ecopro-L, Flatanger-L + Ecopro-L*



*(v-h) Ecopro-L, NPK-L, Ecopro-H*



*(v-h) GGE-H, Flatanger-H, Waister-L+Ecopro-L*



*(v-h) Bioretur-H+halm, Waister-H+halm, Flatanger-H+halm, GGE-H+halm*



*(v-h) Flatanger-L, Waister-H, Bioretur-H*



*(v-h) NPK-H, Calcinit-H+halm, Ecopro-H+halm.*

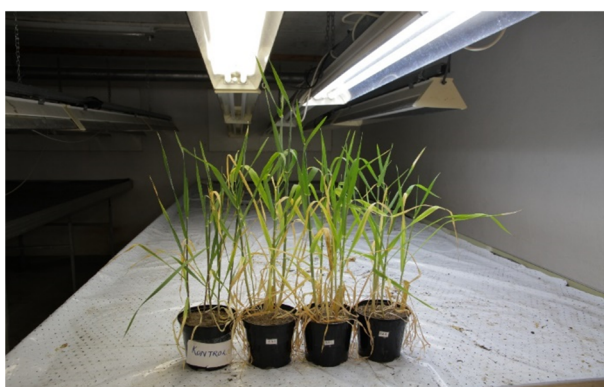
**Figur 8. Plantenes utviklingstrinn 29. august 2018. Kontroll-ledd lengst til venstre i alle bilder. Ikke avbildet: Bioretur-L, Waister-L, GGE-L.**



*(v-h) Bioretur-L+Ecopro-L, GGE-L+Ecopro-L, Waister-L+Ecopro-L*



*(v-h) Ecopro-L, NPK-L, Ecopro-H*



*(v-h) GGE-H, Flatanger-H, Waister-L+Ecopro-L*



*(v-h) Bioretur-H+halm, Waister-H+halm, Flatanger-H+halm, GGE-H+halm*



*(v-h) Flatanger-L, Waister-H, Bioretur-H*



*(v-h) NPK-H, Calcinit-H+halm, Ecopro-H+halm*



*(v-h) Bioretur-L, Waister-L, GGE-L*

**Figur 9.** Plantenes utviklingstrinn ved forsøkets slutt 8. oktober 2018. Kontroll-ledd lengst til venstre i alle bilder.

### 3.2.2 Opptak av makro- og mikronæringsstoffer i plantematerialet

Tabell 14. % TS og opptak av makro- og mikronæringsstoff i blad + skudd.

Behandling	N-Nivå	TS	N	P	K	S	Mg	Ca	Cu	Zn	B	Mo	Fe
		%	mg					µg					
Kontroll	Null	16	35,4	1,3	16,4	2,5	8,4	1,6	7	35	8	1	56
GGE-L	Lav	19	42,9	3,4	22,7	3,7	14,3	1,6	5	37	11	2	68
WA-L	Lav	20	74,4	4,9	32,3	6,7	26,0	3,5	10	67	22	3	108
BR-L	Lav	21	80,5	4,1	32,3	5,9	19,6	3,1	9	55	19	3	155
F/S-L	Lav	16	75,1	3,9	29,7	5,6	20,5	2,9	14	65	18	3	145
EP-L	Lav	18	75,0	2,6	54,9	3,7	12,7	2,9	15	78	12	3	86
NPK-L	Lav	24	72,5	4,7	70,9	4,3	12,5	3,3	15	68	18	3	104
GGE-L+EP-L	Lav+lav	23	133,2	16,2	327,8	17,9	67,4	17,1	70	341	82	14	1707
WA-L+EP-L	Lav+lav	20	140,3	16,0	116,0	12,2	36,5	8,3	41	237	44	8	340
BR-L+EP-L	Lav+lav	22	106,4	6,6	48,7	7,2	25,3	4,3	17	102	16	5	162
F/S-L+EP-L	Lav+lav	17	114,9	4,7	102,1	4,9	16,3	4,7	20	123	9	4	175
GGE-H	Høy	22	51,7	4,8	30,3	4,4	15,8	2,5	8	53	15	2	170
WA-H	Høy	26	92,0	15,2	155,0	18,0	61,6	11,1	44	249	83	12	422
BR-H	Høy	20	98,1	7,2	51,4	5,7	19,5	4,0	12	67	18	4	134
F/S-H	Høy	18	77,5	4,4	24,0	5,8	21,8	2,6	13	62	17	3	91
EP-H	Høy	10	66,0	1,8	54,0	2,6	12,0	2,4	10	59	10	1	81
NPK-H	Høy	19	78,6	8,8	186,9	8,8	39,0	6,8	43	166	63	5	317
GGE-H+HL	Høy	23	78,8	13,6	163,8	10,5	38,5	8,7	23	136	42	7	217
WA-H+HL	Høy	21	80,5	15,5	78,8	13,3	45,5	7,2	27	161	46	9	233
BR-H+HL	Høy	22	48,1	3,8	23,8	5,1	17,9	2,7	7	51	11	4	115
F/S-H+HL	Høy	17	71,7	3,7	49,7	4,1	17,8	3,0	11	66	10	2	137
EP-H+HL	Høy	13	106,3	2,3	69,8	4,4	21,6	4,1	17	120	19	2	134
KP-H+HL	Høy	16	47,4	1,4	30,4	2,4	9,7	1,7	8	41	5	2	55

Tabell 14 viser opptak av næringsstoffene i blad + skudd. Sammenligning av opptak fra de ulike gjødselproduktene er ikke mulig siden behandlingene ble tilført ulike mengder næringsstoff, bortsett fra N (se avsnittene lengre ned og fig. 10). Sammenligning mellom gjødslingsnivåer av det samme produkt, derimot, lar seg gjøre. Gjødsling med 44 kg N/daa tilførte 100% mer næringsstoff enn med 22 kg N/daa men responsen til doblingen varierte veldig. Ingen gjødselprodukt hadde en økning i N-opptak tilsvarende økningen i tilførselen og varierte fra en lav på 3% (F/S) til 24% (Waister) økning fra «L» til «H». For biorest var det en 12% nedgang og for NPK en 8% økning i N-opptak. Forskjellene mellom fiskeslam «L» og fiskeslam «H» resulterte i en økning for de fleste næringsstoffene (med noen få unntak) for alle produktene. Kun for Waister var det en økning tilsvarende 100% eller mer med et opptak av P, K, S, Mg og Ca med henholdsvis 209, 381, 168, 137 og 217% mer enn «L»-nivået. Økt

opptak av næringsstoffene for F/S-H var det laveste i gjennomsnitt og det var faktisk en nedgang for K (-19%) og Ca (-10%). Opptak minket for alle næringsstoffene i EP-H i forhold til EP-L (-32, -2, -31, -5 og -19% for henholdsvis P, K, S, Mg og Ca), men dette kan også ha en sammenheng med en betydelig lavere avling (3,7 mot 2,0 g TS). NPK hadde en økning av 87, 163, 105, 212, 105% (P, K, S, Mg, Ca) til tross for en litt mindre avling (5,2 mot 4,9 g TS)

Kombinasjonen av fiskeslam og biorest ga et klart større opptak av næringsstoffer sammenlignet med tilsvarende N-tilførsel (44 kg/daa) fra biorest og fiskeslam alene, men i noen tilfeller var opptaket av visse næringsstoffer mindre enn med fiskeslam alene. To unntak var forskjellen mellom GGE-L+EP-L, EP-H. Siden avlingen for begge to alene var blant de minste men sammen blant de største, er det ikke rart at relativt opptak er såpass større. Opptak av P var i gjennomsnitt 514% større en EP-H og i gjennomsnitt 60% større enn fiskeslam-H. Det eneste unntaket fra dette mønsteret var Waister alene, som ga høyere opptak av K, Mg og Ca (henholdsvis 15,5, 1,4 og 6,2 mg/potte) ved høyeste N nivå enn de andre. Dette samsvarer med at dette behandlingsleddet hadde høyest avling i denne kategorien. Det er også interessant å sammenligne opptak av næringsstoffene mellom fiskeslamproduktene, biorest og fullgjødning.

Opptak av P og K ser ut til å være noe påvirket av tilførselen. Biorest inneholdt lite P (0,77 mg/100 g TS, tabell 11 s. 28) og Calcinit inneholdt ikke P. Plantene som fikk disse to gjødselproduktene tok opp mindre P (EP-L: 2,6 mg; EP-H: 1,8 mg; KP-H+HL: 1,4 mg) sammenliknet med tilsvarende fullgjødning (NPK-L: 4,7 mg; NPK-H: 8,8 mg) og fiskeslam (3,4-4,9 mg («L») og 4,4-15,2 mg («H»)). WA-H hadde høyest opptak av P for begge gjødslingsnivåer til tross for at tilførselen var den nest minste av fiskeslammene. Jorda inneholder 3,05 mg/100 g P-AL (eller 27,5 mg per potte), en mengde som tilsvarer det som ble tilført med høyt nivå av fullgjødning. Dette forklarer hvorfor det var P-opptak også ved tilførsel av Calcinit.

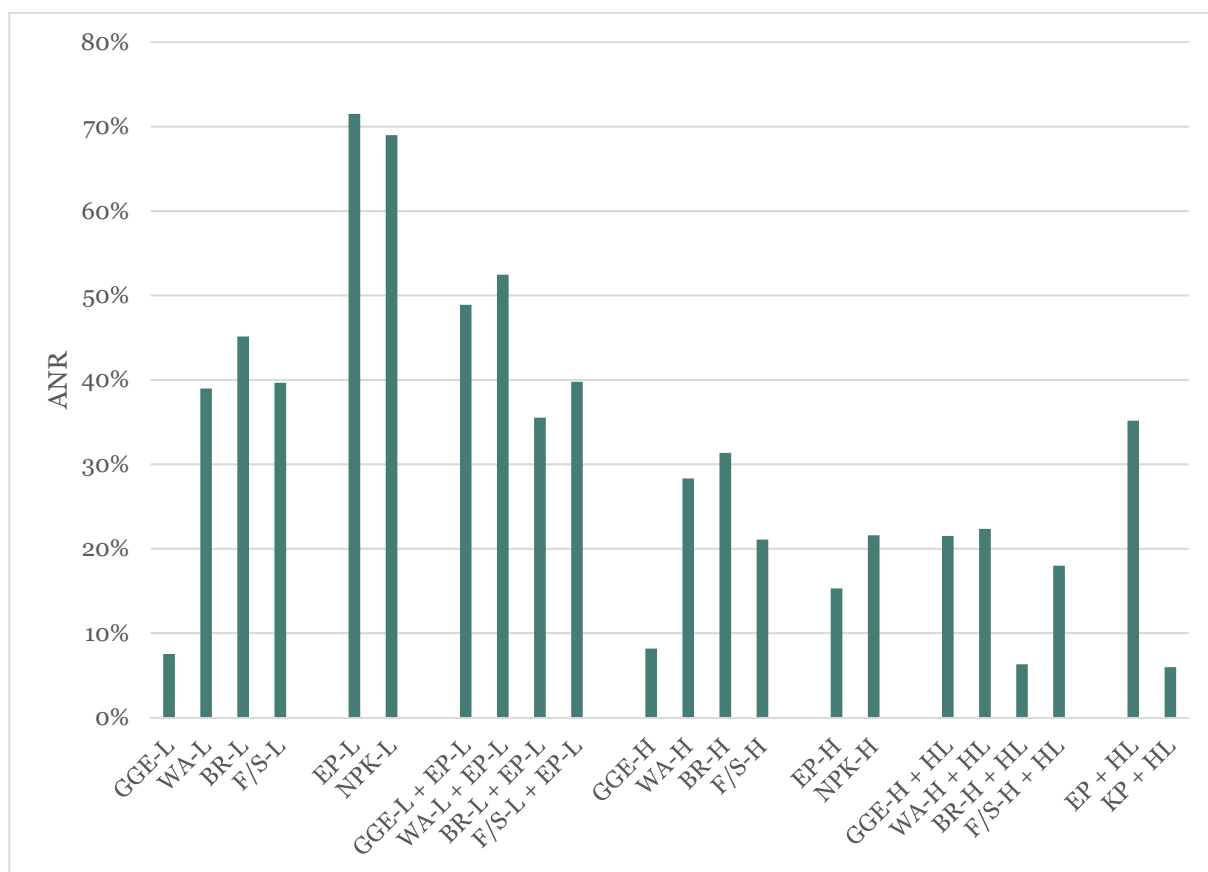
Plantene som fikk en kombinasjon av fiskeslam og biorest tok opp mest K. Behandlingen med GGE + Ecopro tok opp betydelig mer kalium enn andre behandlingsleddene, hele 328 mg per potte. Tilførte alene, ga komposten fra GGE AS et lavt opptak av K. Waister-H også tok opp mye K (155,0 mg) sammenlignet med andre fiskeslamprodukter (24,0-51,4 mg). Plantene som fikk GGE+Halm tok opp betydelig mer K og hadde høyere konsentrasjoner enn GGE alene. Vanligvis kan halm være en kilde til K, men i dette tilfellet inneholdte det lite (0,55 mg/100g TS) og behandlingene med halm fikk litt under 1 mg Tot-K per potte. Dette er mindre enn K-AL som ble tilført fra fiskeslammene (2-17 mg) og som var allerede i jorda (28,4 mg/potte) og burde derfor ikke hatt et så stort utslag.

Når det gjelder opptak av N er det interessant å vurdere *tilsynelatende nitrogenutnyttelse* («apparent nitrogen recovery» på engelsk eller ANR). Det måler mengden N tatt opp av biomassen i forhold til mengden tot-N tilført og tiltrukket bidraget fra jorda. ANR (%) beregnes slik (Eltervåg 2018):

$$\text{ANR (\%)} = \frac{N_{\text{opptak (N+)}} - N_{\text{opptak (kontroll)}}}{N_{\text{tilført}}}$$

Her er  $N_{\text{opptak (N+)}}$  mengden N som ble tatt opp i blad + skudd i hver behandling som fikk gjødning, og  $N_{\text{opptak (kontroll)}}$  er opptaket i leddet uten gjødning.  $N_{\text{tilført}}$  er mengden tot-N tilført pottene (enten 100 eller 200 mg i dette forsøket). I litteraturen ligger ANR-verdier rundt 33% på friland og 55% i vekstforsøk ifølge Eltervåg (2018). ANR-verdiene i dette forsøket varierte fra en lav på 6% (BR-H+HL) og en høy på 72% (EP-L). NPK-L var like bak med 69% ANR. Det var generelt høyere ANR-verdier i behandlingsleddene som ble gjødslet med 22 kg N/daa sammenlignet med tilsvarende behandlinger med 44 kg N/daa. Igjen, som nevnt tidligere, at nitrogenutnyttelse er lavere ved sterkere gjødsling er ikke uventet når gjødsling er så sterk i utgangspunktet.

ANR-verdiene innad grupper (for eksempel alle behandlingsleddene tilsatt 22 kg N/daa i form av fiskeslam eller mineral gjødsel) var relativt like, med noen unntak (fig. 10). For eksempel, ANR-verdiene til GGE-L og GGE-H var mye lavere (8% for begge) enn de andre produktene som var mellom 33% og 45% (L) og 21% og 31% (H). I kombinasjon med biorest fikk GGE en ANR-verdi (49%) som var i overenstemmelse med de andre produktene (36-52%). ANR-verdien til Bioretur blandet med halm var mye lavere enn de andre produktene (6% mot 17-22%). Behandlingene som fikk en kombinasjon av fiskeslam og biorest hadde ANR-verdier mellom 36 og 52%, mens de andre behandlingene gjødslet med 44 kg N/daa lå mellom 8-31% (fiskeslam-H), 15% (EP-H), 22% (NPK-H), 6-22% (fiskeslam-H med halm), 6% (KP-H+HL) og 25% (EP-H+HL). Ved tilsetning av halm var det en svak nedgang i ANR-verdiene for alle fiskeslamproduktene bortsett fra GGE. Biorest blandet med halm resulterte og i en høyere ANR-verdi sammenlignet med uten halm. Den lave avlingen, og dermed lav ANR-verdien for Calcinit, kan være et resultat av ubalansert gjødsling (mangel på P eller K), eller denitrifisering. Hvorfor GGE hadde så lave ANR-verdier alene kan også være på grunn av høyere innhold av min-N enn de andre fiskeslamproduktene. Samtidig, biorest og fullgjødsel inneholder nesten kun min-N og disse to fikk de høyeste ANR-verdiene ved 22 g N/daa.



Figur 10. Tilsynelatende nitrogenutnyttelse (ANR) i prosent.

### 3.3 Nitrogen og vanning

N-nivået i dette forsøket var lagt såpass høyt at det ikke var grunn til å forvente full utnyttelse av alt tilført N. Siden konsentrasjonsnivået av N var såpass høyt, var det ikke overraskende med spirehemming og forsinkelser i utvikling, spesielt i leddene med høy konsentrasjon mineralsk N (fullgjødning og biorest).  $\text{NH}_4^+$  kan virke spire- og veksthemmende på grunn av såkalt ammoniumforgiftning. Bygg er blant kulturplantene som er mest utsatt for slik forgiftning (Britto og Kronzucker 2002). Det er mange mekanismer involverte i en slik forgiftning, som enda ikke er helt forstått.

$\text{NH}_4^+$  vil vanligvis nitrifiseres raskt i dyrka jord, men under våte forhold, slik det var i den aktuelle perioden i dette forsøket etter dag 30, dannes det et anaerobt miljø i jorda som hemmer nitrifisering. I våt og varm jord med mye  $\text{NH}_4^+$  vil det kunne dannes  $\text{NH}_3$ -gass, som kan virke spirehemmende for frø og skadelig for planter (Openshaw 1970). Omdannelsen av  $\text{NH}_4^+$  til  $\text{NH}_3$  øker ved økt temperatur og pH. Bioresten hadde både en høy andel  $\text{NH}_4^+$ -N og en pH på 8,2. Ifølge Emerson m.fl. (1975) utgjør  $\text{NH}_3$  5,9% av  $\text{NH}_4^+$ -N når temperaturen er 20 °C. Gjennomsnittstemperaturen i forsøket var 19°C (både natt og dag) og så høy som 30°C på dagtid de første ukene. Til sammenligning hadde fiskeslamproduktene en pH på 6,7 (GGE) og 5,8-5,9 (resterende) og langt mindre andel  $\text{NH}_4^+$ -N.

Den fuktige jorda kan også ha medført at N gikk tapt, både ved utvasking og gjennom denitrifisering (Smith og Tiedje 1979). Med hjelp av denitrifiserende bakterier omdannes  $\text{NO}_3^-$  til lystgass ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Lystgassen skader ikke plantene, men fører til tap av N. N-tap fra pottene vil gi mindre tydelige utslag av gjødning, og hvis gjødning fra en potte forsvant ut med overflødig vann kunne denne gjødning komme andre pletter til gode. Imidlertid var alle pottene fordelt slik at ledd med høyt eller lavt N nivå var på samme brett (kontroll-pottene sto for seg selv på eget brett). De betydelige avlingsforskjellene mellom ulike behandlinger tyder ikke på at mye N gikk tapt fra pottene gjennom vannet, eller beveget seg over i andre pletter, til tross for at vanningen var for sterk i starten.

### 3.4 Konklusjoner vekstforsøket

Vekstforsøket viser at gjødning med tørket og kompostert fiskeslam gir en betydelig økt avlingsutbytte målt som prosent meravling av kontroll-leddet med både 22 kg/daa og 44 kg/daa tot-N, og var i to tilfeller like under avlingen oppnådd med fullgjødning. Gjødning med biorest ga et avlingsutbytte bedre enn to typer tørket fiskeslam ved lavt N-nivå. Generelt sett ga kombinasjonen av fiskeslam og biorest der halvparten av N kom fra hver gjødningstype de aller beste resultatene.

Forsøket er gjennomført med langt høyere nitrogen tilsetning enn vanlig (22 og 44 kg tot-N/daa i forhold til vanlig rundt 12 kg tot-N/daa). Ettersom biorest og fullgjødning har langt høyere andel mineralsk N, kan slike mengder føre til overgjødning, og ble observert i forsøket i form av spirehemming og redusert mervekst ved tilsetning av høyeste mengde N av biorest. Høyeste mengde NPK var ingen økning i forhold til den lavere. Ved 44 kg/daa var resultatene mer varierende med større spredning mellom avlingsutbyttene. Både biorest og fullgjødning hadde redusert avlingsutbytte sammenlignet med 22 kg N/daa, mens alle typer fiskeslam hadde en økning. Det er viktig å poengtere at dette kan være et resultat av at N-konsentrasjonen var høyere enn det som er vanlig både i felt og i pletter og at andre mekanismer kan ha påvirket resultatene som blant annet mangel på eller/og konkurranse mellom næringsstoffer. Biorest, som ellers er dokumentert til å ha god gjødnings effekt, er spesielt utsatt for spirehemming og omdanning av  $\text{NH}_4^+$  til  $\text{NH}_3$  under visse forhold. At NPK-H og EP-H kom senest i gang med spiring og hadde blant de laveste utviklingsnivåene ved avslutning tyder på at spirehemming var en faktor som påvirket avling.

Tørket fiskeslam fra Waister AS og Bioretur AS kom best ut når slam ble tilført alene ved begge gjødningsnivåer. I kombinasjonen med biorest og halm var det GGE som fikk størst avlingsutbytte. Resultatene kan tyde på en synergieffekt mellom N i fiskeslam, som i hovedsak foreligger i organisk



form, og mineralsk N i biorest. Kalium-tilførselen i biorest kan også ha spilt en rolle for dette resultatet.

Utnyttelsen av N (andel opptatt N av totalt tilsatt N minus bidraget fra jorden) målt som ANR («apparent nitrogen recovery») var noe lavere enn det som kan forventes i et innendørs vekstforsøk (cirka 55%). Likevel, var det i noen tilfeller høyere enn forventet (69% for EP-L og 72% for NPK-L). Klart beste ANR-verdier var med 22 kg N/daa, bortsett fra kombinasjonen av fiskeslam og biorest som hadde ANR-verdier på samme nivå som 22 kg N/daa (36-52%). Lavest N utnyttelse var det med bruk av slam fra GGE AS (8% for begge N-nivåer) og med høyt N-nivå av slam fra Bioretur sammen med halm og Calcinit sammen med halm (begge på 6%).

Resultatene viser at fiskeslam er en god N-gjødsel, men at det ville vært fordelaktig om slammet kunne tørkes på en måte som tok vare på  $\text{NH}_4^+$  som er til stede i råslammet, jfr. Kapittel 2. Dette hadde gjort fiskeslam til en mer fullverdig gjødsel uten å måtte blandes med andre råvarer enn tilsats av K.

## 4 Delprosjekt III: Markedsvurdering

### 4.1 Innledning

I denne delen av prosjektet har vi gjennomgått kunnskap om fiskeslam brukt som gjødsel, og diskutert den med et mål om å resirkulere mest mulig som gjødsel-/jordforbedringsprodukt for landbruket. En stor andel ufordøyd fôr i slammet har sannsynligvis en positiv effekt på jordsmonnet, men fett kan være en utfordring. Fiskeslam oppsamles i dag hovedsakelig i landbaserte og kystnære smoltanlegg der det for tiden er et stort fokus og FoU virksomhet for å ta hånd om fiskeslammet på en best mulig måte.

En gjennomgang av forslag til ny gjødselvereforskrift for gjødselvarer/jordprodukter viser nye, viktige krav til bruken av fiskeslam i jordbruket som i første omgang kan bli en stor økonomisk belastning for anleggene, men som på sikt kan vise seg å bli nyttige ved at produktet framstår som kvalitetssikret og trygt å bruke. Foreløpig er det landbaserte smolt-/postsmoltanlegg som viser veien med gode muligheter for kvalitetsstyring og teknisk utvikling for avvanning. Det er særlig fokus på slammets innhold av P, tungmetallene Zn og Cd samt medisinrester og plantevernmidler som de ansvarlige myndigheter (Mattilsynet) forventer må bli bedre dokumentert. Slammet må hygieniseres før tilbakeføring til jordsmonn og kan blandes inn i kanskje opptil 30% i andre organiske avfallsprodukter. I en sirkulær økonomi forventes det en økning i bruken av organiske gjødselprodukter og mulighetene for eksport av norske gjødsel-/jordforbedringsprodukter anses som gode.

En gjennomgang av mulige bruksområder viser at potensialet for bruk i landbruket er størst i deler av landet med lavt P-innhold i jordsmonnet. Selv om det forventes en økning i bruken av organiske gjødselprodukter, viser gjødslingsplaner basert på mineralgjødsel sammenliknet med en tilsvarende plan basert på tilgjengelig organisk gjødselvare både økte innkjøpskostnader og økte kostnader tilknyttet bruken. Det er tydelig at diskusjonen rundt tilgang og bruk av næringsstoffet P i jordbruket spisser seg til, og at det framtidige markedet for organiske gjødselprodukter synes å være best på sør-Østlandet, nærmere bestemt Østfold/Akershus, hvor interessen er betydelig innen økologisk produksjon. Vi finner også et stort område med økologisk korndyrking i nordre deler av Trøndelag, men her er det fortsatt god tilgang på husdyrgjødsel fra husdyrproduksjon.

Den viktigste kundegruppen for gjødsel framstilt av organiske råvarer synes å være husdyrløse økologiske planteproduksjonsbruk der det bare i Østfold/Akershus er ca. 60.000 da omlagt areal. Per i dag er imidlertid gjødsel basert på fiskeslam ikke tillatt brukt i økologisk dyrking.

Som en del av arbeidet ble det gjennomført flere samtaler med et utvalg produsenter i segmentet organiske jordforbedrings-/gjødselvarer som viser både betalingsvilje og interesse for fiskeslam, noe som bør anspore til en økt innsats for å snu et problem til en ressurs.

En SWOT analyse oppsummerer våre funn i en enkel matrise.

### 4.2 Fiskeslam

#### 4.2.1 Karakterisering og sammensetning

Fiskeslam er fellesbetegnelsen på all biomasse som i form av avfall går ut fra et oppdrettsanlegg til resipient eller som gjennom ulike tekniske prosesser skilles ut fra sirkulasjonsvannet. Død fisk inngår ikke som bestanddel i fiskeslammet, men enkelte små fisk som dør kan forekomme i bunnslam. Kjemisk innhold i fiskeslam varierer etter vekststadiet, årstider, renseteknologi og driftstype

(resirkuleringsanlegg vs. gjennomstrømmings), men fettinnholdet kan være høyt når det inngår fôrrester i slammet. Ytrestøyl m.fl. (2016) viser at i noen tilfeller består slammet av opptil 50% fôrrester. Fiskeslammet karakteriseres med lavt og noe varierende tørrstoffinnhold. Ved oppbevaring går slammet hurtig i forråtnelse med tilhørende luktproblemer. Slambehandling for stabilisering og hygienisering kreves derfor for å kunne bruke produsert slam som gjødsel, som representerer en ressurs i form av organisk stoff og næringssalter.

Fiskeslammet vil kunne inneholde rester fra:

1. Faeces fra fisk
2. Fiskefôrspill
3. Kjemikalier for notimpregnering og desinfisering
4. Medisinrester (lusemiddel, for eksempel)
5. Plantevernmidler (fra produksjon av soya og andre vegetabiliske fôrkluder)
6. Tungmetaller (sink som er tilsatt fôr og kadmium fra råvarer av marint opphav)

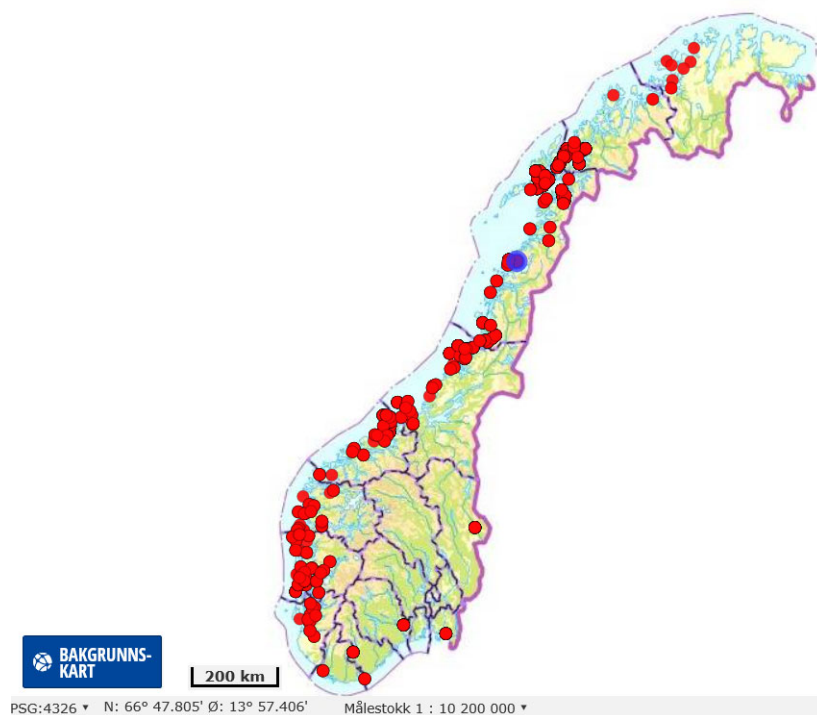
Det er mulig å bruke fellingskjemikalier for oppkonsentrering av slammet, men bruk av syntetiske fellingskjemikalier er ikke tillatt i økologisk landbruk. Av hensyn til etterbruken som gjødsel for landbruket, er medisinrester en svært uønsket bestanddel i fiskeslammet. For landbaserte oppdrettsanlegg vil slammet som oppstår i forbindelse med medisinerings gjennom fôret kunne sluses bort for særskilt destruksjon inntil innholdet av medisinrester er tilfredsstillende lavt igjen. Mye av medisinerings i oppdrettsanlegg for slaktefisk skjer i dag gjennom individuell vaksinerings, noe som også har bidratt sterkt til å redusere innholdet av medisinrester i fiskeslammet. Man bør være oppmerksom på at fiskeslam fra havbaserte anlegg kan ha et problematisk høyt innhold av salt (særlig natrium og klorid) og magnesium sulfat.

Fettinnholdet fra fôrrester er fordelaktig med tanke på bruk som substrat i biogassanlegg. Behandling av fiskeslam alene er mulig men utfordrende på grunn av omdanning av flyktige fettsyrer fra fett og  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  fra protein. Flere forsøk har funnet ut at blandet med andre karbon-rikt substrat eller husdyrgjødsel gir fiskeslam økt metanutbytte enn substratene hver for seg (Gebauer m.fl., 2016; Cabell m.fl., 2018)

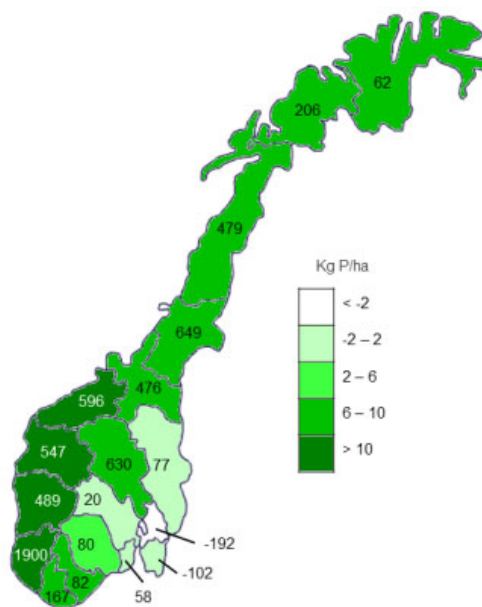
NOFIMA har i rapporten «Karakterisering av slam fra tre kommersielle settefiskanlegg gjennom ett produksjonsår - Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller» konkludert med at *innholdet av PCB og klorerte pesticider i prøvene var så lave at det ikke utgjør noen risiko for bruk som jordforbedringsmiddel, men innholdet av sink og til en viss grad kadmium setter noen begrensninger for bruk av fiskeslam som gjødselprodukt til matproduksjon* (Ytrestøyl et al, 2016). Innholdet av kalium ble også karakterisert som lavt i forhold til plantes behov for dette viktige næringsstoffet. De fant at sammensetningen av slammet varierte sterkt fra dag til dag. Årsaken er mest sannsynlig variasjon i mengde fôrspill, både fra dag til dag og gjennom døgnet, noe som har stor betydning for sammensetningen av næringsstoff i slam tatt ut på ulike tidspunkt. Siden fôrspillet i sum kan utgjøre hele 50% av slammet, er det viktig at oppsamlingen av slammet gjøres på en måte som utjevner de store variasjonene. Generelt bør fôrspillet reduseres, både av hensyn til økonomien i anleggene og for å redusere tapet av verdifulle næringsstoff som belaster resipientene.

## 4.2.2 Lokasjon og mengder

Settefiskanleggene ligger langs kysten, som vist på kartet i Figur 11. Dette byr på utfordringer i forhold til utnyttelse av fiskeslam som gjødsel iht. transportavstander til dit det er behov (fig. 13). Mer om dette i kapittel 4.6.

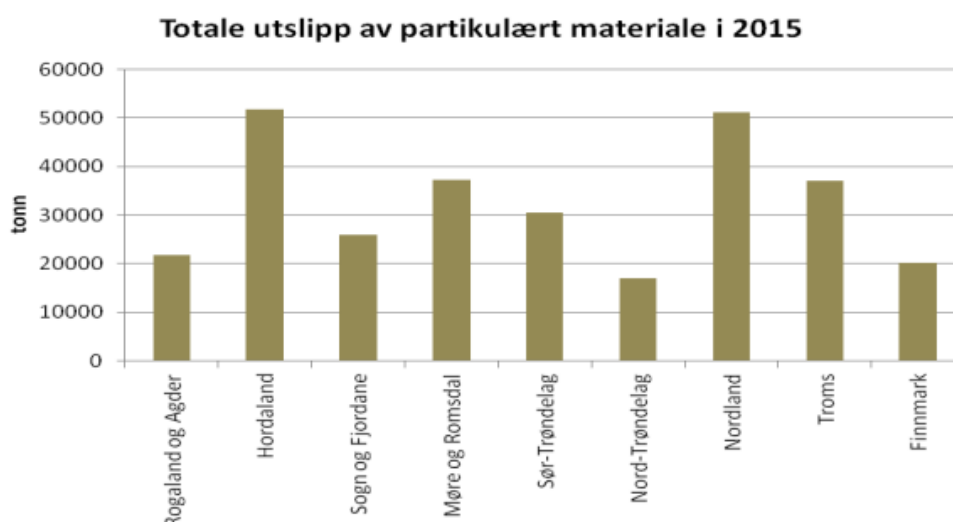


Figur 11. Kart over settefiskanleggene i Norge. Tatt fra Fiskeridirektoratet.



Figur 12. Årlig fosforoverskudd for tonn P/år (gitt i tallene i hvert fylke) og gjennomsnittlig overskudd per hektar (kg P/ha og år, gitt i farge). Fra Blytt m. fl. (2017)

Det ligger en stor økonomisk utfordring i at slam fra anleggene forefinnes i svært tynne konsentrasjoner og derfor må avvannes. I 2016 ga Møreforskning Molde AS ut rapporten «Logistikk og forretningsmodeller for behandling av fiskeslam». I rapporten beskrives kostnadene ved å transportere ubehandlet slam som store, og de trekker konklusjon om at behandling av slam bør foregå i nær tilknytning til anleggene (Oterhals og Oppen 2016).



Figur 13. Estimat av utslipp av partikulært materiale (fekalier og spillfôr) fra produksjon av laksefisk i hvert fylke basert på oppgitt fôrforbruk i 2015. Fra Torrissen m. fl. (2016).

I vår gjennomgang av forekomst og mengder av tilgjengelig fiskeslam fra oppdrettsnæringen, finner vi varierende tall for hvor mye det faktisk årlig produseres av slam. I Blytt m.fl. (2017) estimerer de en forekomst mellom 0,7 og 2,0 L slam per kg fôr (10% TS). For å gi et presist bilde av situasjonen, må mengden tilgjengelig slam oppgis på tørrstoffbasis. Årsaken til de sprikende tallene ligger sannsynligvis i bruk av ulike metoder for å regne seg fram til utslippets størrelse. Utslippene er i seg selv ikke mulig å måle direkte, men må basere seg på mengde fisk som er omsatt. Tallene for omsetningen av laksesmolt og slaktefisk er statistisk sett målbare og oftest regner man mengden fiskeslam ut fra hvor mye en fisk slipper ut og legger til et tall for fôrutnyttelsen. Det årlige utslippet av P fra norsk havbruk er ca. 9000 tonn per år (Hamilton m.fl.. 2016).

Mengden av P som samles opp i fiskeslam og brukes til gjødsel/jordforbedring, er foreløpig forsvinnende liten i forhold til dette store tallet.

### 4.2.3 Oppsamling av fiskeslam fra landbaserte anlegg

Det foregår et stort arbeid for å konstruere lukkede oppdrettsanlegg. Tidlige smoltanlegg var basert på en energikrevende gjennomstrømmingsteknologi, Flow Through. I dag er de aller fleste anlegg basert på resirkuleringsteknologien RAS (Recirculating Aquaculture Systems) som reduserer behovet for å pumpe vann. Fordelen med RAS anleggene er lavere energikostnader, bedre helautomatisk kontroll med vannets CO<sub>2</sub> innhold, salinitet, temperatur, gjennomstrømningshastighet og mulighet for mer kompakte anlegg der fjerning av slam inngår. En viktig trend er også at driftskostnadene målt i kr/kg fisk mellom havbaserte og landbaserte anlegg er i ferd med å jamne seg ut. Dette skyldes også sterkt økende kostnader ved merder i sjøen knyttet til avlusing og fôrkostnader. Moderne anlegg resirkulerer i dag opp mot 98 % av vannet. Se Rosten (2013) for en mer omfattende oversikt over dagens teknologi.

## 4.3 Lovreguleringer

### 4.3.1 Oppdrettsnæringen

All akvakultur må følge lovverket nedfelt i Akvakulturloven (LOV-2019-06-21-67). Med hjemmel i loven er det vedtatt tre forskrifter:

- Forskrift om krav til teknisk standard for landbaserte akvakulturanlegg for fisk (FOR-2017-06-19-941), med formål om å sikre at landbaserte akvakulturanlegg har tilfredsstillende teknisk standard til å forebygge at fisk kan rømme fra anleggene.
- Forskrift om særskilte krav til akvakulturrelatert virksomhet i eller ved nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder (FOR-2009-06-22-961). Formålet med forskriften er å bidra til at et utvalg av de viktigste laksebestandene gis en særlig beskyttelse ved å stille særskilte krav til akvakulturrelatert virksomhet i eller ved nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder.
- Forskrift om endring i akvakulturdriftsforskriften og forskrift om reaksjoner, sanksjoner med mer ved overtredelse av akvakulturloven (FOR-2013-12-20-1675).

For at et oppdrettsanlegg skal få konsesjon, kreves det at det er gitt tillatelser etter følgende lover:

- lov 19. desember 2003 nr. 124 om matproduksjon og mattrygghet mv.
- lov 13. mars 1981 nr. 6 om vern mot forurensning og om avfall
- lov 17. april 2009 nr. 19 om havner og farvann

- lov 24. november 2000 nr. 82 om vassdrag og grunnvann

For økologisk akvakultur må *Forskrift om økologisk produksjon og merking av økologiske landbruksprodukter, akvakulturprodukter, næringsmidler* (FOR-2017-03-18-355) og før følges.

*Forskrift om rammer for vannforvaltningen (Vannforskriften)* (FOR-2018-12-20-2231) fastsetter miljømål for vannforekomster og inndeler vannforekomster i fem tilstandsklasser. Miljømålene i vannforskriftens §§ 4 - 6 går ut på at tilstanden i vannforekomstene skal beskyttes mot forringelse, og forbedres med mål om å oppnå god økologisk tilstand og god kjemisk tilstand. Dersom utslippet fører til at de aktuelle vannforekomstene endrer tilstandsklasse i negativ retning, vil det foreligge en forringelse. Miljømålene skal nås, og forringelse er ikke tillatt med mindre vilkårene for å gjøre unntak er oppfylt, jf. vannforskriftens § 12. Fylkesmannen har derfor vurdert om kravene i vannforskriften er til hinder for å gi tillatelse etter forurensningsloven.

Utslippkonsesjonen gitt med hjemmel i forurensningsloven (LOV-2018-06-22-83) § 11 jf. § 16. vil angi de grenseverdiene for utslipp fra virksomheten som anlegget vil måtte forholde seg til.

### 4.3.2 Fiskeslam som gjødsel

Bruken av fiskeslam til landbruksformål reguleres av gjødselvereforskriften: *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav* (FOR-2019-01-30-58). Forskriften er under revidering og heter foreløpig *Utkast til forskrift om produksjon, omsetning og import av gjødselvarer av organisk opphav og visse uorganiske gjødselvarer*. Revidert forskrift er ikke endelig vedtatt. Det er derimot avgjort at forskriften deles i en gjødselvaredel (kapittel II), en gjødselbruksdel (kapittel III) og en merking- og markedsføringsdel (kapittel IV) (Landbruksdirektoratet 2018).

Med gjødselvarer menes produkter som brukes til å tilføre planter næring, som dyrkingsmedier eller for å påvirke planters vekstvilkår på andre måter. Organiske gjødselvarer er produkter som helt eller delvis har organisk opphav og omfatter organisk gjødsel, organiske jordforbedringsmidler, organiske dyrkingsmedier, organiske jorddekkingsmidler og organisk-mineralske gjødselvarer. Forskriften gjelder også uorganiske dyrkingsmedier, uorganiske jordforbedringsmidler, biostimulanter og tilsetninger. Forskriften har spesielle regler for husdyrgjødsel. Virksomheter som omsetter eller produserer organiske gjødselprodukter plikter å være registrert hos Mattilsynet.

I forskriftens vedlegg 1 (med tittel «Vedlegg med konsekvensvurderinger, gjødselregelverket»), som beskriver råvarer som kan inngå i gjødselvarer, merker vi oss at for fiskeslam som råvare er slam fra marine akvakulturanlegg og slam som inneholder rester av lakselusmidler ikke tillatt brukt. Selv om det i dag er tilgjengelig fiskeslam fra semi-lukkende anlegg i sjø, og bunnslam fra akvakulturanlegg i sjø, har Mattilsynet ikke fått vurdert risikoen med dette enda. De foreslår derfor inntil videre at det marine slammet ikke omfattes av tillatelsesordningen. Fiskeslam er i forskriftens § 3 definert som: *slam fra akvakulturanlegg som består av fôrrester og tarminnhold uten innhold av dødfisk*. Forslaget til ny gjødselvereforskrift innfører også et krav om at omsetning av fiskeslam krever en hygienisering av slammet (Landbruksdirektoratet 2018).

Det nye forslaget til gjødselvereforskrift - kapittel III om tilvirkning - opererer med maksimumsgrenser for tillatt innhold av tungmetaller angitt i mg/kg tørrstoff (totalinnhold). Gjødselvereforskriftens §18 angir følgende maksimumsgrenser for innhold av tungmetaller for de ulike kvalitetsklassene:

Tabell 15. Maksimalt tungmetallinnhold i produkter i de ulike klassene tungmetall. Tabellen er fra forslag til revidert forskrift § 18, endringer fra gjeldende forskrift er innhold av krom i klasse I og at det er innført grenseverdier for maksimalt innhold av arsen (Landbruksdirektoratet 2018).

Maksimalt tungmetallinnhold i produkter i de ulike klassene Tungmetall	Tungmetallklasser i milligram per kilogram tørrstoff			
Klasse	0	1	2	3
Kadmium	0,4	0,8	2	5
Bly	40	60	80	200
Kvikksølv	0,2	0,6	3	5
Nikkel	20	30	50	80
Sink	150	400	800	1500
Kobber	50	150	650	1000
Krom	50	70	100	150
Arsen	5	8	16	32

Ved bruk av gjødselvarer skal den samlede bruksmengden i løpet av en tiårsperiode ikke overskride (§28):

- fire tonn tørrstoff per dekar ved bruk av gjødselvarer i tungmetallklasse I
- to tonn tørrstoff per dekar ved bruk av gjødselvarer i tungmetallklasse II
- 800 kg tørrstoff per dekar ved bruk av gjødselvarer i tungmetallklasse III som bare inneholder forbrenningsprodukter av rent plantemateriale
- ett tonn tørrstoff per dekar ved bruk av gjødselvarer tungmetallklasse III på grøntarealer
- en mengde som medfører at tungmetallmengden som kan tilføres ved bruk av produkter i klasse II ikke overskrides, ved bruk av en kombinasjon av gjødselvarer i ulike tungmetallklasser og gjødselvarer med P-baserte grenseverdier for tungmetallinnhold.

I kapittel III i den nye forskriften om gjødselbruk angis en mer detaljert bruk av P for å unngå overgjødning.

En oversikt over P-bruken i norsk landbruk viser at vi har et stort og problematisk overskudd av P som påvirker vassdragene våre negativt. Landbruksdirektoratet påpeker i sitt oversendelsesbrev til gjødselregelverket at «det finnes og brukes allerede langt mer P enn det avlingene nyttiggjør. Vi kunne i prinsippet fint klart oss uten P fra mineralgjødsel. Problemet er imidlertid at mye av P for øvrig befinner seg på et sted eller i en form der det er lite eller ikke raskt nok tilgjengelig.

Hvis en i tillegg tar hensyn til P-bidraget fra jord, blir P-overskuddet større. Overskudd av P er spesielt stort i fylkene på Sørvest-, Vest- og Nord-Vestlandet, med Rogaland i en særstilling. I Rogaland ble det tilført 1900 tonn P mer enn behovet per år i perioden 2009-2011. I fylkene Hordaland, Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal ble det tilført ca. 500-600 tonn P mer enn behovet per år.

Oslo/Akershus og Østfold er de eneste fylkene som hadde et P-underskudd uten mineralgjødsel når P-nivået i jord ble tatt hensyn til. Matproduksjonsnivået og gjødselbruken har holdt seg ganske stabile siden 2011, og vi antar at tallene også representerer dagens situasjon. P-underskuddet i Oslo/Akershus og Østfold kompenseres i dag med mineral P-gjødsel, men kan i framtiden helt eller delvis dekkes av organiske gjødselvarer importert fra andre fylker».

Dette er meget interessant med tanke på hvor i landet det i framtida vil være et fokus på bruken av organiske gjødselmidler.

Verdens tilgang på rene P-kilder for gjødselproduksjon er begrenset (Ravnum 2016). Selv om det hvert



år pøses ut enorme mengder av både P og N fra jordbruk, oppdrettsvirksomhet og kommunale avløp som forurensere og ødelegger vannforekomstene, er lønnsomme P-kilder i dag en mangelvare. Det forskes derfor mye på å finne lønnsomme teknikker for gjenvinning av P til erstatning for de mineralske P-kildene. Gjenvunnet P fra landbaserte settefiskanlegg peker seg ut som en svært aktuell kilde pga. mengder, tilgjengelighet og kvalitet.

### 4.3.3 Hygiene og smitteperspektiv

Oppmalt, død fisk må behandles etter animaliebioprodukt (ABP) forskriften (FOR-2016-09-14-1064). Stabilisering av slam er en fellesbetegnelse på de prosesser som har til hovedhensikt å redusere lukt og andre miljøproblemer som ellers vil oppstå ved håndtering av råslam. Dette kan skje ved kontrollert nedbryting av organisk materiale i slammet (aerob eller anaerob stabilisering/biogassanlegg) eller midlertidig ved tilsetning av kjemikalier (for eksempel kalk) som hindrer nedbryting fram til slammet er tilført dyrka jord. Ved hygienisering av slam er hovedhensikten å redusere faren for overføring av sykdomssmitte til mennesker, dyr og planter ved lagring og bruk av slam på jordarealer.

Vitenskapskomiteen for mattrygghet (VKM) uttaler: *VKM har konkludert med at det er svært lite sannsynlig at smittestoff (virus, bakterier og parasitter) i slam fra klekkeri og settefiskanlegg representerer en fare for mennesker når dette blir brukt som gjødsel eller jordforbedringsmiddel. Den samme gjelder slam fra marine oppdrettsanlegg. VKM mener derimot at man ikke kan utelukke at spredning av fiskesykdommer kan skje dersom uhygienisert slam blir brukt som gjødsel eller jordforbedringsmiddel (VKM 2011).*

## 4.4 Mulige bruksområder

Fiskeslam har en sammensetting som gjør det velegnet til jordbruksformål. Vi snakker om verdifulle næringsstoffer som i en sirkulær økonomi bør føres tilbake til næringskjeden og ikke gå tapt som forurensing til havvann. Det ligger en stor økonomisk utfordring i at slam fra anleggene forefinnes i svært tynne konsentrasjoner og derfor må avvannes.

Vi har sett mest på prosessering av slammet til jordforbedringsprodukter som i dag markedsføres helt opp til 98 % TS, mens alternativet som substrat i biogassanlegg eller kompostering ikke krever så sterk oppkonsentrering. Alle industripartnere som deltok i Fish2Farm har på ulike måter forsøkt å utvikle et handelsprodukt med fiskeslam som næringskilde. Dette kan bli en viktig P-kilde for jordbruket i en tid da P på verdensbasis både blir vanskeligere tilgjengelig og dermed dyrere å utvinne.

### 4.4.1 Organiske jord-/gjødselprodukter

En gjødselvare inneholder konsentrasjoner av løselige plantenæringsstoffer som gjør produktet egnet til årlig bruk i forhold til plantenes behov for næringssalter. Et organisk gjødselprodukt skal ha forutsigbar effekt som gjødsel. En vanlig målestokk er husdyrgjødsel, som tilføres dyrkajord i mengder på 200 - 400 kg TS/daa/år. Gjødselvarer omsettes hovedsakelig i pelletert form. Det er så vidt oss kjent per mai 2019 kun to produsenter av organiske gjødselprodukter i Norge som bruker fiskeslam i kommersielle gjødselvarer: Grønn Gjødsel AS i Østfold, og Høst Verdien i avfall i Agder. Gjødselvaren Hybrid N 17-4-8 som produseres av Grønn Gjødsel AS i Rakkestad inneholder mineralgjødsel (urea) og organisk materiale, derav navnet hybrid. I en artikkel i nettavisa iLaks i november 2017, uttaler kvalitetsansvarlig Goran Radanovic ved Grønn Gjødsel at de har god erfaring med å bruke tørket slam fra Lødingen fisk og Sisomar (> 90 % TS), og ønsker å utvide tilgangen på fiskeslam ved å gjøre avtaler med flere produsenter av hygienisert slam (<https://ilaks.no/ser-stort-potensiale-i-slam-fra-fiskeoppdrett/>). Fettinnholdet er en fordel ved pelletering, og slammet er en god kilde til sink og P. I samarbeid med avfallselskapet IVAR i Rogaland produserer Høst produktet Minorga, som er tørket avløpsslam tilsatt urea (N) og kaliumklorid (Tornes og Norgaard 2014). Et omfattende arbeid er satt i gang for å inkludere fiskeslam som ingrediens i Minorga (Bie 2017).

Høst/IVAR produserer en Minorga 5-3-2 gjødsel til det vietnamesiske markedet hvor fiskeslam inngår (pers. med. Erik Norgaard).

#### 4.4.2 Andre bruksområder

**Som jordforbedringsmiddel:** Dette beskrives som materialer som har positiv virkning på en eller flere jordegenskaper (kjemisk, biologisk, fysisk) og som tilføres som en engangstilførsel med flerårig virkning. Målestokken er her avløpsslam og ulike typer kompost, som typisk tilføres i en mengde på 2 - 4 tonn TS/daa om lag hvert 10. år. Det er et voksende marked for alle typer jordforbedringsprodukter der også fiskeslam inngår, både pga. høyt næringsinnhold (lavt C/N forhold) og fordi det inneholder viktige mikronæringsstoffer og sporelementer som er positive for plantevekst. Både jordforbedringsmidler og vekstjord omsettes gjerne i løs vekt og er nøye beskrevet med deklarasjonskrav i den nye gjødselvereforskriften.

**Som vekstjord:** Det lages mer og mer spesialblandinger tilpasset ulike bruksområder. Vekstjord har lave konsentrasjoner av næringsstoffer på tørrstoffbasis, ikke kritisk høye konsentrasjoner av tungmetaller eller andre veksthemmende stoffer, og gode, stabile, fysiske egenskaper. Dette produktet domineres i dag av ulike torvprodukter, men regjeringen ble i 2016 bedt om å snarest lage en nasjonal plan for utfasing av torv fra torvmyrer brukt til hagejord eller dyrkingsmedier. Planen er enda ikke ferdig, men det er forventet at utfasingsplanen bør kunne settes i verk fra ca. 2025. En utfasing av torv i jordblandinger åpner veien for at organiske avfallsprodukter som kompost, biorest og fiskeslam kan få innpass på markedet. Noen jordprodusenter bruker fiskeslam i sine kompostprodukter sammen med kildesortert matavfall.

**Som substrat i biogassanlegg:** Slammet fra landbaserte settefiskanlegg kan etter avvanning tilsettes et biogassanlegg. Fiskeslam er karakterisert som energirikt (omkring 20 MJ/kg tørrstoff) grunnet et stort innhold av fett, men dette avhenger av fôrspill. Fettet gjør slammet velegnet som tilsetningsvare til biogassanlegg, men et høyt innhold av  $\text{NH}_4^+$  og omdanning av fett til flyktige fettsyrer er en utfordring. Det er mulig å behandle fiskeslam alene i et biogassanlegg men da er det med lavt TS-innhold og kort oppholdstid med relativt lite metangassutbytte. NIBIO har sjekket effekten av fiskeslam blandet med husdyrgjødsel i biogassanlegg og konkluderer med at et forhold på cirka 20% fiskeslam og 80% husdyrgjødsel ga nesten tre ganger mer metan enn husdyrgjødsel alene og var stabilt over tid (Gebauer m.fl., 2016).

Dersom bioresten (biogjødsel) fra biogassanlegget anvendes til jordbruksformål vil de viktigste næringsstoffene (N og P) fortsatt være intakt, men spredningen av den svært vandige bioresten kan ikke forsvare økonomisk lang transport og må brukes lokalt.

I dag brukes fiskeslam ved biogassanlegget til Ecopro AS (Verdal), Smøla Klekkeri og settefisk, Cermaq på Forsan (Steigen) og Biokraft (Skogn). Flere er under planlegging eller bygging.

Fiskeslam kan også brennes etter avvanning, noe som er en lite ønsket løsning da næringsstoffene ikke utnyttes. Inntil 2009 kunne også fiskeslam deponeres på avfallsdeponi.

## 4.5 Markedet for organiske gjødselprodukter

Bruken av organiske gjødselprodukter har i dag størst utbredelse innen økologisk landbruk der interessen og behovet for alternative gjødselprodukter er stort. I det konvensjonelle jordbruket er bruken liten da slike produkt på flere områder ikke konkurrerer med mineralgjødsel. Med en relativt svak økonomi og et stort arbeidspress på våren ofte under ustabile værforhold, velger de aller fleste konvensjonelle kornbøndene den enkleste løsningen i form av mineralgjødsel. Veiledningsapparatet som ofte setter opp de obligatoriske gjødslingsplanene pleier å anbefale gjødsling med NPK fullgjødsel,

særlig ved delt gjødsling. Dette inntrykket ble forsterket i samtale med veiledningsapparatet som i dag ikke har bruk av konvensjonelle organiske gjødslingsmidler på agendaen (pers. med. Jan Stabbetorp). Vi ser den samme tendensen i spørsmålet om bruk av biorest (biogjødsel) fra biogassanlegg; et produkt som også er krevende å selge inn til konvensjonelle bønder.

Vurdert som klimatiltak er det i dag mye mer fokus på hvordan jordas innhold av karbon kan økes. Organisk materiale i jorda, som består av karbon, er både et forebyggende tiltak mot klimaendringer og et bidrag til langtidslagring av CO<sub>2</sub> (IPCC 2019). Som et forebyggende tiltak, jord med høyt karboninnhold (organisk materiale) bidrar til redusert avrenning av næringsstoffer og bedre vannlagringsevnen som gjør landbruk mer motstandsdyktig mot både et våtere og tørrere klima.

Når det gjelder karbonlagring er dette et mer komplisert spørsmål. Tilførsel av karbon i form av organisk gjødsel og plantevekst må vurderes mot nedbryting av organiske forbindelser i jorda hovedsakelig til CO<sub>2</sub>. Flere forskere mener at dette er faktorer som kan påvirkes f.eks. ved riktig valg av planter, redskap, jordarbeidingsstidspunkt og dyrkingsteknikk. Det nevnes at en varig eng kan binde opp mot 100 kg C/daa/år (Grønlund 2009). Biokull, som er en veldig stabil form av karbon, er ofte nevnt som en løsning for lagring av CO<sub>2</sub> i jorda.

Et eventuelt offentlig tilskudd til karbonbinding i jord vil kunne dreie etterspørselen over til organiske gjødselprodukter. På samme vis vil en øket pris på P kunne favorisere resirkulerte organiske avfallsprodukter som fiskeslam.

Det dyrkes i dag økologisk korn på ca. 66000 daa der Østfold, Oslo/Akershus og Nord-Trøndelag utmerker seg med over 50 % av arealet (tabell 16) (Debio 2018). Det dyrkes som regel økologisk korn enten på husdyrløse gårdsbruk uten egenprodusert gjødsel eller i kombinasjon med en form for økologisk husdyrbruk (storfe, melk, høns, svin) der egenprodusert gjødsel er tilgjengelig.

Tabell 16. Økologisk areal i daa fordelt på fylker og arealbruk (Debio 2018).

Fylke	Eng og innmarks-beite	Grønn-gjødsling	Korn	Engfrø og annet frø	Poteter	Grønnsaker (inkl. erter/bønner og veksthus-kulturer)
Østfold	28785,6	1329,9	16223,5	32	86	1884,9
Akershus/Oslo	25517,4	1214,6	10422,5	181,1	140,7	359,63
Hedmark	39231,85	337,9	4835,75	46	313,85	820,725
Oppland	20755,1	129	2708	38	256,3	491,54
Buskerud	25494,7	1351,8	6335,6	434	19	894,6
Vestfold	15876,5	300,7	5794	1185,5	246,5	1512,5
Telemark	12750,8	186,7	2006,6	0	52,6	246,46
Aust-Agder	4827,3	65,2	0	10	10,1	2
Vest-Agder	4914,6	0	0	0	12,5	10,6
Rogaland	6557,1	11,2	63	0	45	75,73
Hordaland	7907,4	9,7	13	0	4	26,5
Sogn og Fj.	14113,6	38,3	0	0	6	4,1
Møre og R.	16909,2	33	96,9	0	21,5	5,2
Sør-Tr.lag	45472,54	98,3	5291,3	0	57,1	75
Nord-Tr.lag	47825,4	137,6	11996,53	149	133,6	381,615
Nordland	23581,3	0,8	326,7	0	20,9	8,025
Troms	5915,2	1,5	0	0	43	21,95
Finmark	597,8	32,2	7	0	1,25	6,95
<b>Totalt*</b>	<b>347033,39</b>	<b>5278,4</b>	<b>66120,38</b>	<b>2075,6</b>	<b>1469,9</b>	<b>6828,025</b>

Anbefalt mengde organisk gjødsel er ca. 100 kg gjødsel pr. daa. Hvis organisk gjødsel ble brukt på alt areal der økologisk korn dyrkes uten tilgang på husdyrgjødsel, anslagsvis 30 000 daa, ville dette blitt anslagsvis 3 mill. tonn organisk gjødsel. Med en 20 % innblanding av fiskeslam i gjødselproduktet, ville dette utgjort et marked for ca. 600 000 tonn TS fiskeslam.

Det pågår for tiden en diskusjon rundt muligheten til å bruke fiskeslam som ingrediens i økologisk gjødsel. Kunnskapen om innholdet av mulige organiske miljøgifter og medisinerester i fiskeslam er imidlertid fremdeles for dårlig. Det er utført noen undersøkelser, men til nå er disse undersøkelsen ikke tilstrekkelige til å ta i bruk fiskeslam i økologisk landbruk. Videre er det grunn til å anta at fiskeslam ikke nødvendigvis vil bli akseptert av EU-kommisjonen som tillatt gjødsel i økologisk dyrking. Norge er underlagt EUs regelverk for økologisk produksjon.

## 4.6 Logistikk

Plasseringen av settefiskanlegg og landbasert oppdrett, som foreløpig er langs kysten, er lite gunstig for bruk av fiskeslam som gjødsel i landbruket. Landbruket er oppimot mettet med gjødsel der anleggene er plassert, og fiskeslammet, som er i svært vandig form, er kostbart å transportere til de delene av landet der markedet har størst potensiale for å være. Sammenlikner man i tillegg landbrukets behov for P, noe fiskeslammet inneholder mye av, ser man av figur 15 at det kun er Østfold og Akershus som har behov for ekstra P, resten av landet er mettet.

Figur 16 viser estimert fylkesvis fordeling av totale utslipp av fekalier og spillfôr fra produksjon av laksefisk i forhold til oppgitt fôrforbruk i 2015. Av dette ser vi at omtrent 47 % av Norges totale fiskeslamproduksjon ligger på Vestlandet, resten lengre fra det antatt største markedet på Østlandet. Dette understreker viktigheten av lokal behandling av fiskeslam. Transportkostnaden fra Vestlandet til Østlandet (Rakkestad) oppgis av Grønn Gjødsel å være 50-100 øre/kg for storsekker med fiskeslam som holder 98 % TS. De understreker også viktigheten av å tørke slammet ved lav temperatur for å ivareta næringsstoffene i slammet. Vi ser også at Nord-Trøndelag ligger gunstig til med kort avstand til oppdrettsanlegg på Trøndelag og Nordlandskysten. Her er det i tillegg store mengder økologisk areal, men med bedre tilgang på husdyrgjødsel enn i Akershus og Østfold.

## 4.7 Økonomi

For å gi et bilde av utfordringene knyttet til gjødsling med et organisk gjødselprodukt, har vi benyttet en standard gjødslingsplan der mineralgjødsel fra Yara er sammenliknet med et organisk gjødselprodukt. Sammenlikningen er utarbeidet av Romerike Landbruksrådgiving. Gjødsling med organisk gjødselvarer er ikke vanlig, men brukes noe ved økologisk dyrking. En gjødslingsplan tar utgangspunkt i forventet avling, jordanalyser, forgrøde, jordtype og geografi og ender opp med en anbefalt mengde gjødsel per daa og skifte. Man kan også ut ifra tallene regne ut kostnadene pr dekar. I praktiske planteforsøk viser det seg ofte at ikke alt N i en organisk gjødselvarer er plantetilgjengelig i dyrkingsåret. Mengden plantetilgjengelig N uttrykkes da som en viss prosent av gjødselens totale N-innhold (tot-N). I eksemplene nedenfor forutsetter vi at alt N er plantetilgjengelig første året. (Pers. med. Jan Stabbetorp).

En tenkt gjødslingsplan for «Langjordet» viste følgende resultat:

<i>Areal, daa</i>	126
<i>Jordtype</i>	Mellomleire
<i>Jordanalyse 2011</i>	pH 6,4, P-Al 5, K-Al 15
<i>Forventet avling i kg havre</i>	450

Gjødselbehov (kg/da):

	N	P	K	S
<i>Vekstbehov havre</i>	9,0	1,6	7,5	1,3
<i>Justert for jordanalyser</i>	2,2	0,0	-3,8	0,3
<i>Ettervirkning husdyrgjødsel Status P</i>		0,4		
<i>Behov som dekkes ved gjødsling</i>	11,5	2,0	3,8	1,5

Sammenlikningsgrunnlag:

Type gjødsel	Kg/daa	N	P	K	S	Kostnad i kr/daa
<i>Fullgjødsel 22-3-10</i>	53	11,5	1,4	5,1	1,2	183,35

Eksemplet nedenfor viser at med organisk gjødsel Grønn 8K (8-2-5) vil vi tilføre for mye P og K dersom hele N-behovet skal dekkes opp, og gjødslinga blir veldig dyr. Her har vi lagt inn en pris på 2,39 kr/kg gjødsel, det vil si en pris på ca. 30 kr pr. kg N.

Type gjødsel	Kg/daa	N	P	K	S	Kostnad i kr/daa
<i>Grønn 8 K 8-2-5</i>	146	11,5	3,8	8	0	347,98

I konvensjonelt landbruk vil det være mer aktuelt å kombinere et organisk gjødselslag med mineralgjødsel, f.eks. ved å kjøre ut pelletert gjødsel i en sentrifugalspreder før harving, og såing med N-gjødsel i en kombimaskin.

Type gjødsel	Kg/da	N	P	K	S	Kostnad i kr/da
<i>Grønn 8 K 8-2-5</i>	70	5,5	1,8	3,9	0,0	167,30
<i>OPTI -NS 27-0-0</i>	22	6,0	0	0	0	62,83
<i>Sum</i>						230,13

I det siste eksempelet må bonden kjøre en ekstra arbeidsoperasjon fordi de vanlige kombinerte gjødsel/såmaskinene kun tar ett gjødselslag og har begrensning på mengde per utkjøring. En ekstra operasjon koster fra 15-20 kr/daa. Interessant nok har fabrikanten av Rapid såmaskiner nå kommet med en kombimaskin med ekstra stor gjødselkasse for å kunne spre større mengder pelleterte organiske gjødselslag, noe som sikrer ganske jamn dosering.

Til sammenligning med kommersielle gjødselprodukter er innholdet av N, P og K i fiskeslam og biorest fra forsøket regnet om til g/kg «gjødsel» (tabell 17). For å få et bilde av hvilke priser ulike typer gjødsel ligger på og hva man vil konkurrere mot om man vurderer å produsere gjødselprodukter til landbruket, har vi i tabell 18 satt opp pris per kg gjødsel og pris per kg N og P. Prisene er basert på oppgitt markedspris på produsentenes hjemmeside og ikke pris i butikk eller hos leverandør. De rene organiske gjødselproduktene har i dag ingen etablert markedspris. I mange tilfelle gis de bort gratis fordi produsenten ellers måtte ha betalt et gjenvinningsanlegg for å bli kvitt produktet. Prisene som er oppgitt her må derfor betraktes som en markedsramme man bør holde seg innenfor hvis man skal

kommersialisere et gjødselprodukt. Bonden som kjøper vil også måtte ta ekstra spredekostnader i betraktning, men her kan man tenke seg fellesløsninger som tilbyr leie/utlån av spredeutstyr.

Tabell 17. Næringsinnholdet til tørket fiskeslam fra forsøket omregnet til næringsstoff pr. kg gjødsel.

	Tot-N g/kg gjødsel	P g/kg gjødsel	K g/kg gjødsel	S g/kg gjødsel
GGE	24,3	32,6	2,1	4,5
Waister	36,9	24,3	2,3	2,0
Bioretur	29,6	33,8	1,1	2,4
Flatanger	59,6	24,6	0,6	3,8
Ecopro (bioest)	2,4	0,1	0,8	0,1

Da de organiske gjødselproduktene er særlig interessante i forhold til et forventet underskudd på P på verdensmarkedet, har vi i tabell 19 også regnet ut prisen per kg P i gjødsel for de gjødselslagene som inneholder P. Her ser vi at organiske gjødselslag gir mest for pengene.

Selv om de økologiske gjødselproduktene kommer godt ut regnet pr. kg N og P når de mest allsidige mineralgjødsel-slagene vurderes, vil spredekostnadene virke begrensende på bruken av denne type gjødsel. Det er imidlertid liten tvil om at resirkuleringsperspektivet med tilførsel av organisk materiale til dyrka mark og gjenvinning av verdifulle næringsstoffer på sikt vil være ønskelig både miljøpolitisk og agronomisk.

Tabell 18. Sammenlikning av priser per kg gjødsel, per kg nitrogen og per kg fosfor (i NOK).

Type gjødsel	Pris/kg gjødsel	Pris/kg N	Pris/kg P
<b>Fullgjødsel</b>			
Fullgjødsel 8-5-19 Mikro	5,49	68,63	109,80
Fullgjødsel 12-4-18 Mikro	5,92	49,33	148,00
Fullgjødsel 18-3-15	5,00	27,78	166,67
Fullgjødsel 22-2-12	4,30	19,55	215,00
Fullgjødsel 25-2-6	3,84	15,36	192,00
Opti-NK 22-0-12	4,10	18,64	-
Opti-NS 27-0-0 (4S)	2,89	10,70	-
<b>Helgjødsel</b>			
Helgjødsel 18-1-10	3,55	19,72	355,00
Helgjødsel 18-1-10 M/2 kg kobolt + selen	4,75	26,39	475,00
Helgjødsel 18-1-10 m/kobolt	4,05	22,50	405,00
Helgjødsel 18-1-10 m/selen	4,15	23,06	415,00
Helgjødsel 18-1-10 med 15 kg kobber	4,35	24,17	435,00
Helgjødsel 18-1-10 med 2 kg kobolt og 15 kg kobber	5,05	28,06	505,00
Helgjødsel 18-1-10 med 4 kg kobolt	3,85	21,39	385,00
<b>Økologisk</b>			
Øko Hønsegjødsel Pell Marihøne 4,5-1,5-2,2	2,39	53,11	159,33
Øko Marihøne Pluss 8-4-5	3,39	42,38	84,75
GrønnØko NPK 5-3-2	2,64		
Grønn NPK 8-3-5*	3,04	38,00	101,33
Grønn NPK 11-3-2*	4,29	39,00	143,00
Grønn NPK 14-2-1*	5,54	39,57	277,00

\*Grønn NPK er konvensjonell gjødsel tillat i økologisk drift.

## 4.8 Intervjuer

Som et ledd i markedsvurdering av fiskeslam som gjødsel eller gjødsetilskudd i korn og andre vekster har vi foretatt samtaler med noen potensielle produsenter/brukere av organiske jord-/gjødselprodukter der fiskeslam inngår/kan inngå. Vi kan på bakgrunn av våre samtaler fastslå at fiskeslam i jord-/gjødselprodukter i dag brukes i svært liten utstrekning, men at interessen og etterspørselen etter større volumer så absolutt er til stede. Vi har også innhentet synspunkter fra Mattilsynet.

Markedet for organiske gjødselprodukter i Norge er i skrivende stund svært lite, muligens bare noen hundre tonn. Noe ubehandlet fiskeslam har tidligere vært tillatt brukt direkte på jordbruksarealer, men kravet til hygienisering og stabilisering er kraftig innskjerpet for å unngå spredning av smitte ved avrenning fra jordbruksarealer til vann. Veiledningstjenesten for landbruket opererer ikke med organiske gjødseleverer i sine gjødselplaner og har begrenset med forsøk med denne type gjødsel ute hos bøndene. Bøndene er rasjonelle og velger det gjødselproduktet de kjenner, det som er billigst og det de er vant til å bruke. Egenskaper utover gjødseleverdien tillegges liten vekt. Veiledningen anser det derfor som nødvendig at prisen blir så lav at den også kompenserer for merarbeidet.

To ulike firmaer har funnet hvert sitt interessante bruksområde der fiskeslam inngår. Høst Verdien i Avfall AS fra Grimstad eksporterer organisk gjødsel til Vietnam og Grønn Gjødsel AS fra Rakkestad ser et stort potensial i organisk, pelletert fastgjødsel for økologisk korndyrking, forutsatt at slammet blir godkjent til slik bruk.

Grønn Gjødsel AS har i lengre tid brukt innblanding av fiskeslam fra flere ulike produsenter i sine organiske gjødselprodukter. De mottar i dag fiskeslammet gratis mot at de betaler transporten. De har både økologisk gjødsel uten fiskeslam og konvensjonell gjødsel der fiskeslam tilsettes pelletert, hygienisert hønsegjødsel. GrønnØko 5-3-2 er den originale organiske gjødsele, GrønnØko 5-3-2 er en allsidig organisk gjødsel laget av "behandlet" kyllingsgjødsel som inneholder 2,7 % kalsium og de essensielle plantenæringsstoffene. Råstoffet kommer fra økologiske høner. GrønnØko finnes i ulike N-styrker opp til Øko 14 -2-1. De produserer også konvensjonell gjødsel kalt Hybrid der fiskeslam inngår. Omsetningen av denne er begrenset, noe som begrenser mottaket av fiskeslam til noen hundre tonn. Deres muligheter for økt omsetning ligger i en økologisk godkjenning av fiskeslammet (pers. med. Goran Radanovic).

Av andre organiske gjødselprodukter selges det noe tørket hønsegjødsel produsert av Norsk Naturgjødsel AS, Rogaland, kalt Marihøne (4,5-1,5-2,2) til en pris av kr. 2,39/ kg. levert i 500 kg storsekk. Marihøne + (NPK 8-4-5) tilsettes også noe kjøttbeinmjøl og vinasse. Pris kr. 3,39/kg levert i 500 kg storsekk. Alle priser eks. MVA. Norsk Naturgjødsel har fiskeslam til vurdering i sine produkter, men da de er i tvil om kvaliteten (tungmetaller), har de foreløpig ikke tatt det inn. De har imidlertid et bra salg av konvensjonell spesialgjødsel som selges gjennom Felleskjøpet, Fiskå Mølle og Norgesfôr. De har også levert gjødsel til Vietnam (i original norsk emballasje) og framhever god norsk dyrevelferd og lavt forbruk av antibiotika som sterke konkurransefortrinn.

Andre positive verdier slik som f.eks. karbonbinding i jordsmonnet som klimatiltak tillegges liten verdi og anses av landbruket som et samfunnsproblem og ikke et problem for den enkelte bonde. Om klimatiltak skal komme til anvendelse i jordbruket, etterspørres salgbare klimakvoter som en farbar vei å gå. Selv ikke den pågående diskusjonen om klimatiltak i jordbruket nevner økt bruk av organiske gjødseleverer og er heller ikke nevnt blant Miljødirektoratets fem lønnsomme klimatiltak for jordbruket (Miljødirektoratet 2017). Vi kan derfor fastslå at det må til et betydelig arbeid for å få opp interessen for denne type gjødselprodukter.

SSB rapporten, *Bruk av gjødseleveresurser i jordbruket 2013*, omtaler kun husdyrgjødsel som organisk gjødselprodukt og nevner ikke pelleterte organiske gjødselprodukter (Gundersen og Heldal 2015).

Høst Verdien i Avfall AS har også en interessant eksport av gjødsel til Vietnam som utnytter billig returtransport til frakt av en pelletert gjødsel der fiskeslam inngår med 5-6 % med mulighet til innblanding av >30%. Kalium tilsettes som en ekstern kilde. Selskapet ser et strengt norsk regelverk som en markedsfordel som innbyr til tillit og kvalitetsfortrinn. Når (og hvis) det kommer et krav om 20% reduksjon i utslipp av biomasse også fra slakteanlegg, vil bransjen stå overfor store investeringer også i utstyr for avvanning, hygienisering og stabilisering. Anleggene må påregne seg en gate-fee ved leveranse av fiskeslam til videre prosessering til organisk gjødselprodukt. Fiskeslammets positive verdier - som bl.a. en lett plantetilgjengelig N-kilde - er imidlertid såpass store at gjødselprodusentene også selv betaler sin andel f.eks. ved å selv dekke transporten fra Vestlandet til Østlandet. De framhever fiskeslammets høye fettinnhold som positivt også ved at fettene virker som smøring i registrene ved produksjon av pellets.

Lindum er en annen stor aktør på det organiske gjødselmarkedet og er en av de fremste aktørene i landet innen blant annet deponering av forurensede masser, behandling av ulike typer organisk avfall, lukttrensing og kverning av trevirke. I tillegg driver selskapet produksjon av energi, produksjon av kvalitetsjord og -kompost og containerutleie til private og næringskunder. Lindum har driftsansvaret for biogassanlegget Den magiske fabrikken på Taranrød utenfor Tønsberg. De har kun noen mindre forsøk i biogassanlegget med fiskeslam fra MOWI AS, men blander noe fiskeslam (8% TS) inn i sitt kompostprodukt kalt BTB (Biologisk Tørket Biomasse). Reaktorkomposten behandler kildesortert matavfall, næringsmiddelavfall og husdyrgjødsel der også litt saltholdig fiskeslam kan innblandes i små mengder. Den ferdige komposten blir brukt som råvare i jordprodukter som selges i sekk og bulk på det åpne marked.

Samtalen med Mattilsynet dreide seg om utvikling av regelverket for å kunne få et trygt og kvalitetssikret avfallsprodukt ut på markedet. Det arbeides for tiden med et felles europeisk regelverk for gjødsel som vil kunne åpne opp for en interessant norsk eksport av organiske gjødselvarer. Det er imidlertid fortsatt noe mangelfull kunnskap om fiskeslammets innhold av uønskede forbindelser som organiske miljøgifter, GMO, rester etter plantevernmidler, medisinrester mm. Dette gjelder særlig fiskeslam fra åpne merder som det vil kunne bli store mengder av. Siden fiskeslammet vil inneholde en del fett, vil en del kjemiske forbindelser også kunne forekomme som bundet til fettfraksjonen. *Her må bransjen selv ta et initiativ til en grundig undersøkelse om kjemisk innhold av slaktefiskeslam for å kunne gi en dokumentasjon som kan få alt fiskeslam godkjent som gjødselvarer.*

Mattilsynet har i lengre tid arbeidet med å få strammet inn på spredning av uhygienisert fiskeslam som teoretisk kan medføre smittefarlig avrenning til marine miljøer. Dette blir nå strammet inn med det nye forslaget til gjødselvarerforskrift. Ellers har det vært stort fokus på bruken og innholdet av P i alle gjødselvarer. Norge har fortsatt en lang vei å gå for å oppnå kravene til vannkvalitet i vassdragene våre satt i EUs vanddirektiv. Fokuset er derfor fortsatt meget stort på jordbrukets overforbruk av P som er noe av årsaken til eutrofieringen av vassdragene. Dette avspeiler seg tydelig i bakgrunns materialet til den reviderte gjødselvarerforskriften (Landbruksdirektoratet 2018).



## 4.9 SWOT-analyse

For å fremstille fiskeslam sitt konkurransegrunnlag i landbruket er det her satt opp en SWOT- analyse for å oppsummere interne styrker og svakheter og eksterne muligheter og trusler.

Styrker (S-strengths)	Svakheter (W-weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fordelaktig høyt fosfor- og nitrogeninnhold</li> <li>• Mulig å påvirke fiskeslammets kvalitet med hvilket fôr fisken får</li> <li>• Høyt fettinnhold forutsatt betydelig fôrspill – positivt teknisk og ved energiproduksjon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vandig produkt som er kostbart å transportere</li> <li>• Lite lagringsstabil i vandig form</li> <li>• Luktproblem før stabilisering</li> <li>• Lavt innhold av kalium og magnesium</li> <li>• Høyt kadmium- og sinkinnhold</li> <li>• Bruk av industrielle fellingskemikalier</li> <li>• Må behandles og blandes med andre produkter for å konkurrere</li> <li>• Varierende kvalitet på sluttprodukt</li> <li>• Kan inneholde medisinrester og plantevernmidler</li> <li>• Nødvendige analyser for å øke bruken av produktet er ikke på plass</li> <li>• Næringsstoffer kan forringes ved behandling</li> </ul>
Muligheter (O-opportunities)	Trusler (T-threats)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nødvendig å utføre etterspurte analyser for å bekrefte/avkrefte muligheter i et bredere marked</li> <li>• Regelverket åpner for endringer mot en mer sirkulær tankegang</li> <li>• Gjenvinning av fosfor på sikt: fosfor er en begrenset ressurs hvor prisene er på vei oppover</li> <li>• Et strengt norsk regelverk og god dyrevelferd kan gi konkurransefortrinn</li> <li>• Klimavennlig produkt i et sirkulært perspektiv</li> <li>• Størst mulighet hvis man kan få tillatelse til bruk i økologisk landbruk</li> <li>• Eksport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Markedet ligger langt unna</li> <li>• Konkurrerende produkter har sterk etablering på markedet</li> <li>• Allerede store mengder fosfor i jordsmonnet</li> <li>• Reguleres under begrepet «slam»</li> <li>• «Nytt/ukjent» produkt der føre var prinsippet følges, da nødvendige analyser ikke er på plass</li> </ul>

## 4.10 Konklusjon og anbefalinger markedsundersøkelse

Bruken av fiskeslam som gjødsel i norsk landbruk må sees i relasjon til målet om å dreie samfunnet over til en sirkulær økonomi. Et sterkere fokus på P, både som kilde til forurensning av vassdrag (eutrofiering) og for å unngå sløsing med en verdifull ressurs, vil på sikt – i alle fall i enkelte deler av landet - kunne redusere bruken av mineralgjødsel til fordel for organiske gjødselslag. Forslaget til ny gjødselreforskrift legger opp til en sterkere styring av P-bruken i jordbruket for å unngå overgjødning med P. Det er vanskelig å spå om dette vil kunne skje uten en eller annen form for offentlig regulering/avgiftsbruk. Vurderinger av priser og kostnader ved bruk av organiske gjødselvarer viser at det er en lang vei å gå for å øke anvendelsen av disse produktene i det konvensjonelle jordbruket der mineralgjødsel fortsatt er ganske enerådende. Vi kan derfor fastslå at det må til et betydelig arbeid for å få opp interessen for denne type gjødselprodukter. Ett unntak synes å være innen husdyrløs økologisk planteproduksjon der både betalingsvilje og behov for gjødsel er større enn i det konvensjonelle jordbruket, men dette forutsetter i så fall at fiskeslam blir godkjent i økologisk dyrking.

Vi skal heller ikke undervurdere mulighetene for eksport av organiske gjødselvarer til EU- området som - med et harmonisert regelverk for gjødsel - kan bli et interessant marked for et sertifisert, godt norsk gjødselprodukt. Dagens eksport til Vietnam er i så måte meget interessant og viser at gode norske produkter kan være konkurransedyktige. Fiskeslammets positive effekt som næringsrikt substrat til plantevekst synes nå å være tilstrekkelig godt dokumentert og godt i tråd med ideene bak «det grønne skiftet». Utfordringene ligger da på avvanning og transport av fiskeslammet fra kystnære områder til det antatt største markedet på Østlandet hvor det allerede foregår en viss produksjon av organiske jord-/gjødselprodukter.

Dersom kravene til redusert utslipp fra oppdrettsnæringen blir innført, kan det om få år komme store volum av fiskeslam på markedet som kan koste næringa dyrt dersom fiskeslammet kun blir et avfallsprodukt som det blir kostbart å bli av med. Det er derfor klokt av både oppdrettsbransjen og slamoppsamling- og behandlingsleverandører i å være proaktiv med å jobbe med dokumentasjon av innholdet og kvaliteten på innsatsfaktorene slik at alt fiskeslam kan inngå i jord- og gjødselprodukter.

## 5 Samlede konklusjoner Fish2Farm

Målet til Fish2Farm var å stimulere resirkulering av næringsstoffene fra fiskeoppdrett ved å vurdere kvaliteten på tørket slam fra settefisk som gjødsel, hvordan kvaliteten påvirkes av ulike behandlingsteknologier og markedspotensialet som organisk gjødselvarer. Resultatene fra alle tre delprosjekt tyder på at det er et stort potensial for anvendelse av fiskeslam som gjødsel i norsk og internasjonalt landbruk. Resultatene fra delprosjekt I («Kartlegging og karakterisering av fiskeslam») konkluderer med at alle teknologiene resulterte i lignende endringer av næringsssalter under behandling, med noen unntak. For slam Waister, Bioretur og Flatanger/Sterner ble det først observert en oppkonsentrering av tot-N i størrelsesorden 542, 123 og 43%, henholdsvis, deretter tap. Likevel, var oppkonsentrering såpass sterk på starten at sluttproduktene hadde en netto-oppkonsentrering av tot-N sammenlignet med råslam. For min-N ( $\text{NH}_4^+$  og  $\text{NO}_3$ ), derimot, var det kun tap i hvert behandlingstrinn, særlig under tørking. Konsentrasjonen ble redusert med 94, 90 og 98% for henholdsvis Waister, Bioretur og Flatanger/Sterner. Dette er som forventet siden N er lett påvirket av temperatur, ventilasjon/eksponering for luft, pH og utvasking. For P var mønstret likt tot-N men for Flatanger/Sterner var det registrert en 3% tap i sluttproduktet (Waister hadde 1127% og Bioretur 27% økning i P-konsentrasjon). Det var også en synkende trend i konsentrasjon av tungmetaller, for eksempel for Cd fra 0.4-0.6 til ned i 0.2-0.4 mg/kg TS. Både biorest og tre av fiskeslamproduktene som ble testet i vekstforsøket hadde kvalitetsklasse 0 eller I, mens ferdig slamprodukt fra GGE AS var opp mot kvalitetsklasse II og III for Cd, Zn, Cu og As. Det må jobbes med løsninger for å unngå tap av mineralsk N under avvanning og tørking.

I vekstforsøket med bygg ga alle fire slamproduktene og bioresten en avlingsøkning sammenlignet med null-ledd. Ved høyere gjødslingsnivå (44 kg N/daa) ga fiskeslam like bra eller bedre avling enn fullgjødsel, noe som delvis skyldes overgjødsling og det høye innhold av min-N i biorest og fullgjødsel. Særlig kombinasjonen av tørket/kompostert fiskeslam og flytende biorest (22 kg N/daa fra hver) resulterte i flere av de beste avlinger. Denne kombinasjonen resulterte også i planter som utnyttet N mer effektivt enn behandlinger med tilsvarende mengde N, dvs tørket/kompostert fiskeslam alene, fullgjødsel og biorest alene. Tørket fiskeslam er rik i P men fattig i min-N og K. Biorest, derimot, inneholder relativt mye min-N og K men er fattig på P. Resultatene tyder på en synergieffekt mellom tørket/kompostert fiskeslam og flytende biorest.

Del III («Markedsvurdering») konkluderte med at et sterkere fokus på P, både som kilde til forurensing av vassdrag (eutrofiering) og for å unngå sløsing med en verdifull ressurs, vil på sikt kunne redusere bruken av mineralgjødsel til fordel for organiske gjødselslag. Vurderinger av priser og kostnader ved bruk av organiske gjødselvarer viser at det er en lang vei å gå for å øke anvendelsen av disse produktene i det konvensjonelle jordbruket der mineralgjødsel fortsatt er ganske enerådende. Fiskeslammets positive effekt som næringsrikt substrat til plantevekst synes nå å være tilstrekkelig godt dokumentert og godt i tråd med ideene bak «det grønne skiftet». Utfordringene ligger da på avvanning og transport av fiskeslammet fra kystnære områder til det antatt største markedet på Østlandet hvor det allerede foregår en viss produksjon av organiske jord-/gjødselprodukter. Det er derfor klokt av både oppdrettsbransjen og slamoppsamlings- og behandlingsleverandører i å være proaktiv med å jobbe med dokumentasjon av innholdet og kvaliteten på innsatsfaktorene slik at det legges til rette at fiskeslam kan inngå i jord- og gjødselprodukter.

# Litteratur

- Ahuja, Ishita, and Anne-Kristin Løes. 2019. "Effect of Fish Bones and Algae Fiber as Fertilisers for Ryegrass." Tingvoll, Norge. [http://orgprints.org/36439/1/NORSØK REPORT\\_Potteforsøk-enderligversjon 06.09.2019\\_Org eprints.pdf](http://orgprints.org/36439/1/NORSØK_REPORT_Potteforsøk-enderligversjon_06.09.2019_Org_eprints.pdf).
- Bie, Elisabeth. 2017. "Oppdrettsslam Skal Bli Edel Gjødtsel - Stavanger Aftenblad." *Stavanger Aftenblad*, October 10, 2017. <https://www.aftenbladet.no/okonomi/i/dxRVB/Oppdrettsslam-skal-bli-edel-gjodtsel>.
- Blytt, Line Diana, E. Brod, A.F. Øgaard, E. Johannessen, E.M.E. Estevez, and B. Paulsrud. 2017. "Bedre Utnyttelse Av Fosfor." Oslo. <https://doi.org/A084596>.
- Blytt, Line Diana, Trond Knapp Haraldsen, Herman Helness, Bjarne Paulsrud, and YYngve Ulgenes. 2011. "Håndtering Av Slam Fra Rensing Av Avløp i Settefiskanlegg: Forprosjektrapport." *SINTEF Report SBF2011F0081*. <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/?pubid=SINTEF+A23587>.
- Britto, Dev T., and Herbert J. Kronzucker. 2002. "NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Toxicity in Higher Plants: A Critical Review." *Journal of Plant Physiology* 159 (6): 567–84. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>.
- Brod, Eva, Johan Oppen, Annbjørg Øverli Kristoffersen, Trond Knapp Haraldsen, and Tore Krogstad. 2017. "Drying or Anaerobic Digestion of Fish Sludge: Nitrogen Fertilisation Effects and Logistics." *Ambio*, June, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0927-5>.
- Cabell, Joshua, Ruth Gebauer, Linn Solli, Halvor Kittelsen, and Tormod Briseid. 2018. "Biogass Fra Marint Fiskeslam Sambehandlet Med Husdyrgjødtsel Og Myse: Kvalifiseringsprosjekt Finansierte Av Regionalt Forskningsfond Midt-Norge Og Fylkesmannen i Møre Og Romsdal i Samarbeid Med Tingvollst Og Tingvoll Fisk AS." *Vol. 4, Nr. 112*. NIBIO. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2567506>.
- Debio. 2018. "Statistikk Og Kartlegging - Debio." 2018. <https://debio.no/statistikk/>.
- Eltervåg, Tina Fattnes. 2018. "Utnyttelse Av Fiskeslam Fra Oppdrettsnæringen i Agronomisk Planteproduksjon." NMBU. [nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2565382](http://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2565382).
- Emerson, Kenneth, Rosemarie C Russo, Richard E Lund, and Robert V Thurston. 1975. "Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of PH and Temperature." *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32 (12): 2379–83. <https://doi.org/10.1139/f75-274>.
- FOR-2009-06-22-961. 2009. *Forskrift Om Særskilte Krav Til Akvakulturrelatert Virksomhet i Eller Ved Nasjonale Laksevassdrag Og Nasjonale Laksefjorder*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-06-22-961>.
- FOR-2013-12-20-1675. 2014. *Forskrift Om Endring i Akvakulturdriftsforskriften Og Forskrift Om Reaksjoner, Sanksjoner Med Mer Ved Overtredelse Av Akvakulturloven*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2014-08-21-1102>.
- FOR-2016-09-14-1064. 2016. *Forskrift Om Animalske Biprodukter Som Ikke Er Beregnet På Konsum (Animaliebiproduktforskriften)*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-09-14-1064>.
- FOR-2017-03-18-355. 2017. *Forskrift Om Økologisk Produksjon Og Merking Av Økologiske Landbruksprodukter, Akvakulturprodukter, Næringsmidler Og Fôr (Økologiforskriften)*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-03-18-355?q=økologiforskrift>.
- FOR-2017-06-19-941. 2017. *Forskrift Om Krav Til Teknisk Standard for Landbaserte Akvakulturanlegg for Fisk*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2017-06-19-941>.
- FOR-2018-12-20-2231. 2007. *Forskrift Om Rammer for Vannforvaltningen*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446?q=Vannforskriften>.
- FOR-2019-01-30-58. 2003. *Forskrift Om Gjødselvarer Mu. Av Organisk Opphav*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>.
- FOR-2019-06-17-753. 2004. *Forskrift Om Begrensning Av Forurensning (Forurensningsforskriften)*.

- <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931>.
- Gebauer, Ruth, Joshua Fenton Cabell, and Ola Ween. 2016. "Biogassproduksjon Fra Settefiskslam i Sentraliserte Og Desentraliserte Biogassanlegg." <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2423592>.
- Grønlund, Arne. 2009. "Hvordan Kan Agronomiske Tiltak Bidra Til å Binde Karbon i Jord?" 2009. <https://docplayer.me/38760399-Hvordan-kan-agronomiske-tiltak-bidra-til-a-binde-karbon-i-jord.html>.
- Gundersen, Geir Inge, and Johan Heldal. 2015. "Bruk Av Gjødselessurser i Jordbruket 2013. Metodebeskrivelse Og Resultater Fra En Utvalgsbasert Undersøkelse." [https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/\\_attachment/228465?\\_ts=158d8456b90](https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/228465?_ts=158d8456b90).
- Hamilton, Helen A., Eva Brod, Ola S. Hanserud, Erik O. Gracey, Magnus I. Vestrum, Anne Bøen, Franciska S. Steinhoff, Daniel B. Müller, and Helge Brattebø. 2016. "Investigating Cross-Sectoral Synergies through Integrated Aquaculture, Fisheries, and Agriculture Phosphorus Assessments: A Case Study of Norway." *Journal of Industrial Ecology* 20 (4): 867–81. <https://doi.org/10.1111/jiec.12324>.
- Henriksen, Trond Maukon, Annbjørg Øverli Kristoffersen, Eva Brod, and Anne Falk Øgaard. 2019. "Nitrogener-effekt Av Organisk Avfall Til Korn - et Forsøk i Laboratoriet." In *Jord- Og Plantekultur 2019. Forsøk i Korn, Olje- Og Proteinvekster, Engfrøavl Og Potet 2018.*, 1st ed., 140–47.
- IPCC. 2019. "Summary for Policymakers Climate Change and Land An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems." [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM\\_Approved\\_Microsite\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf).
- Kristoffersen, Annbjørg Øverli, Jostein Skretting, and Anne Kari Bergjord. 2013. "Gjødselvirkning Av Organisk Avfall Fra Storsamfunnet." Ås. [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/103857/019\\_GjodselvirkningAvOrgAvfallStorsamfunnet.pdf](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/103857/019_GjodselvirkningAvOrgAvfallStorsamfunnet.pdf).
- Lancashire, Peter D., H. Bleiholder, T. Van den Boom, P. Langelüddeke, R. Stauss, E. Weber, and A. Witzemberger. 1991. "A Uniform Decimal Code for Growth Stages of Crops and Weeds." *Annals of Applied Biology* 119 (3): 561–601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>.
- Landbruksdirektoratet. 2018. "Forslag Til Nye Forskrifter Levert: Gjødselessurser – Større Ressurs, Mindre Ulempe - Landbruksdirektoratet." 2018. <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/jordbruk-og-miljo/gjodsling/regelverk/forslag-til-nye-forskrifter-levert-gjodsel-storre-ressurs-mindre-ulempe>.
- Løes, Anne-Kristin, Anders Johansen, Reidun Pommeresche, and Hugh Riley. 2013. "SoilEffects - Start Characterization of the Experimental Soil." <https://core.ac.uk/download/pdf/17028023.pdf>.
- LOV-2018-06-22-83. 1983. *Lov Om Vern Mot Forurensninger Og Om Avfall (Forurensningsloven)*. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6>.
- LOV-2019-06-21-67. 2006. *Lov Om Akvakultur (Akvakulturloven)*. Norge: Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-79>.
- Miljødirektoratet. 2017. "Fem Rimelige Eller Lønnsomme Klimatiltak i Jordbruket." 2017. <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2017/februar-2017/fem-rimelige-eller-lonnsomme-klimatiltak-i-jordbruket/>.
- Openshaw, Martin David. 1970. "The Effect of Ammonia on Germination and Development of Seedlings in Soil." Iowa State University. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/4783>.
- Oterhals, Oddmund, and Johan Oppen. 2016. "Logistikk Og Forretningsmodeller for Behandling Av Fiskeslam: Arbeidspakke 5 i Prosjektet Fiskeslam Som Ressurs for Bioenergi Og Plantevekst (SLAM-BEP)." Molde. <https://doi.org/0803-9259>.
- Ravnum, Solveig. 2016. "På Kanten Av En Ny Krise?" Økokrim. 2016. <https://www.okokrim.no/paa-kanten-av-en-ny-krise.416403.no.html>.
- Rosten, Trond Waldemar, Kamal Azrague, and Bendik Toldnes. 2013. "Karakterisering Av Avløpsvann Fra Norske Landbaserte Settefiskanlegg." <http://vannforeningen.no/wp->

content/uploads/2015/06/2015\_935380.pdf.

- Smith, M.Scott, and James M. Tiedje. 1979. "Phases of Denitrification Following Oxygen Depletion in Soil." *Soil Biology and Biochemistry* 11 (3): 261–67. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(79\)90071-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(79)90071-3).
- Solli, Linn, Anna Schnürer, and Svein J. Horn. 2018. "Process Performance and Population Dynamics of Ammonium Tolerant Microorganisms during Co-Digestion of Fish Waste and Manure." *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.123>.
- Stefaniuk, Magdalena, Piotr Bartmiński, Krzysztof Różyło, Ryszard Dębicki, and Patryk Oleszczuk. 2015. "Ecotoxicological Assessment of Residues from Different Biogas Production Plants Used as Fertilizer for Soil." *Journal of Hazardous Materials* 298 (November): 195–202. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2015.05.026>.
- Tornes, Oddvar, and Erik Norgaard. 2014. "Gjødselabrikk På IVAR IKS, Sentralrenseanlegg Nord-Jæren (SjN)." *Vann*, 2014. [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014\\_902658.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014_902658.pdf).
- Torrissen, Ole, Pia Kupka Hansen, Jan Aure, Vivian Husa, Sissel Andersen, Tore Strohmeier, and Rolf Erik Olsen. 2016. "Naeringsutslipp Fra Havbruk-Nasjonale Og Regionale Perspektiv." Trondheim. [https://www.hi.no/filarkiv/2016/06/21-2016\\_neringsutslipp\\_fra\\_havbruk\\_ot.pdf/nb-no](https://www.hi.no/filarkiv/2016/06/21-2016_neringsutslipp_fra_havbruk_ot.pdf/nb-no).
- Uhlig, Christian, and Espen Haugland. 2007. "Gjødsel Kvalitet Av Fiskeslam Og Fiskeensilasje Fra Landbasert Røyeoppdrett for Dyrking Av Timotei (Phleum Pratense)." In *Landbruk i Barents Kunnskap for Framtida!*, edited by Espen Haugland and Lars Svenson, 53–56. Tromsø: Bioforsk FOKUS. [www.bioforsk.no](http://www.bioforsk.no).
- Vangdal, Eivind, Kristin Kvamm-Lichtenfeld, Roald Sørheim, Øystein Svalheim, and Bioforsk Ullensvang. 2014. "Fiskeslam Frå Oppdrettsanlegg Gjødsel Til Planter Eller Råstoff for Biogass?" *Bioforsk Rapport Bioforsk Report*. Vol. 9. <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2449026/Bioforsk-Rapport-2014-09-27.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- VKM. 2011. "Uttalelse Vedrørende Hygieniske Sider Ved å Bruke Slam Fra Klekkeri Og Settefiskanlegg, Og Slam Fra Oppdrettsanlegg Som Gjødsel Og Jordforbedringsmiddel: Uttalelse Fra Faggruppe for Hygiene Og Smittestoffer i Vitenskapskomiteen for Mattrygghet." <https://vkm.no/download/18.a665c1015c865cc85babe14/1501513587043/14eb7361a4.pdf>.
- Withers, P. J. A. 1991. "Removal of Phosphorus and Potassium from the Soil in Wheat and Barley Straw." *The Journal of Agricultural Science* 117 (2): 221–24. <https://doi.org/10.1017/S002185960006531X>.
- Ytrestøyl, Trine, Turid Synnøve Aas, Kristin Skei Nerdal, and Gerd Marit Berge. 2016. "Karakterisering Av Slam Fra Tre Kommersielle Settefiskanlegg Gjennom Ett Produksjonsår." <https://nofima.no/en/pub/1382702/>.



Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.

Forsidefoto: Ragnar Våga Pedersen. Bildet viser laksemerder utenfor Bodø og er ikke det samme som den type produksjon Fish2Farm og denne rapporten handler om, som er landbasert produksjon av settefisk i lukkede kar.