



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon som gjødsel

Vurdering av kjemiske analyser (2010 – 2023)

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 123 | 2023



Eva Brod og Anne Falk Øgaard  
Divisjon for miljø og naturressurser

**TITTEL**

Fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon som gjødsel – Vurdering av kjemiske analyser (2010 – 2023)

**FORFATTERE**

Eva Brod og Anne Falk Øgaard

<b>DATO:</b>	<b>RAPPORT NR.:</b>	<b>TILGJENGELIGHET:</b>	<b>PROSJEKT NR.:</b>	<b>SAKSNR.:</b>
25.10.2023	9/123/2023	Åpen	51081/52317	17/02538
<b>ISBN:</b>	<b>ISSN:</b>	<b>ANTALL SIDER:</b>	<b>ANTALL VEDLEGG:</b>	
978-82-17-03366-0	2464-1162	24	1	

**OPPDRA GSGIVER:**

NFR (280312)

**KONTAKTPERSON:**

Anita Johansen Tomic

**STIKKORD:**

Organisk gjødsel, organisk avfall, resirkulering, nitrogen, fosfor, tungmetaller

**FAGOMRÅDE:**

Gjødsling

**SAMMENDRAG:**

Rapporten viser gjennomsnittlig kjemisk sammensetning av 30 tørkede fiskeslamprøver fra smolt- og postsmoltproduksjon analysert i tidsrommet 2010 til 2023. Alle prøver var tillatt å bruke som gjødsel etter gjeldende gjødselvereforskrift med mengdebegrensninger pga. sink- og kadmiumkonsentrasjoner. Fiskeslamprøvene inneholdt mye nitrogen og fosfor, men næringsstoffinnholdet var ubalansert sammenlignet med plantenes behov. Spesielt fosforinnholdet var høyt i forhold til nitrogen, kalium og svovel. Regresjonsanalyse viste at nitrogeninnhold og N/P-forholdet i tørket fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon har gått ned i perioden 2010 til 2023, mens fosforinnhold, C/N-forholdet og sinkkonsentrasjon har gått opp. Selv om gjødselkvaliteten har gått ned over tid og nedgangen kan skyldes redusert andel fôrrester og økt andel ekskrementer, må det fra et ressursperspektiv være et overordnet mål at mest mulig fôr blir til fisk istedenfor til fiskeslam. Det var ikke tydelige forskjeller i gjødselkvaliteten til fiskeslam fra gjennomstrømnings- og resirkuleringsanlegg.

**GODKJENT**

Erik Joner

**PROSJEKTLEDER**

Eva Brod

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Prosjektet *FishBash* (*Fra blått avfall til grønn ressurs: Fiskeslam som gjødsel i jordbruket*) er et personlig postdoktorstipend finansiert av Norges Forskningsråd i Havbruk2 programmet. Prosjektet skal bidra til utviklingen av resirkuleringsgjødsel basert på fiskeslam som kan erstatte mineralgjødsel i jordbruket.

Et av formålene med *FishBash* er å undersøke effekten av ulike typer smoltanlegg og behandlingsteknologier på kvaliteten til tørket fiskeslam som gjødsel. I arbeidet presentert i denne rapporten, ble analyser gjennomført som del av *FishBash* prosjektet kombinert med analyser av fiskeslamprøver tatt gjennom tidligere prosjekter i tidsrommet mellom 2010 og 2023. Å sette samme gamle og nye analyser, har gitt muligheten til å undersøke utviklingen av kvaliteten til tørket fiskeslam som gjødsel over tid.

Gjermund Bahr (NIBIO) har bidratt til kvalitetssikring av rapporten.

Ås, 25.10.23

Eva Brod

# Innhold

Forord .....	3
1 Innledning .....	5
2 Material og metode .....	7
2.1 Prøvetaking av fiskeslam .....	7
2.2 Analyser av fiskeslam .....	7
2.3 Statistisk databehandling .....	7
3 Resultater .....	9
3.1 Tørrstoff, organisk materiale og pH .....	10
3.2 Tungmetaller .....	10
3.3 Næringsstoffer .....	12
3.3.1 Nitrogen .....	12
3.3.2 Fosfor .....	14
3.3.3 Kalium .....	17
3.3.4 Kalsium .....	17
3.3.5 Magnesium .....	17
3.3.6 Svovel .....	18
4 Konklusjon .....	19
Referanser .....	20
Vedlegg .....	22

# 1 Innledning

Fiskeslam er en blanding av fiskens ekskrementer og fôrrester og et svært næringsrikt avfallsprodukt fra oppdrettsnæringen. Fiskeslam samles opp fordi forurensingsloven pålegger nye landbaserte produksjonsanlegg og anlegg som utvider kapasiteten sin å rense avløpsvannet for suspendert og organisk stoff, før det slippes ut i sjøen. Formålet er å unngå overbelastning av kystområder med lav bæreevne (Lovdata FOR 2004-06-01-931). På landbaserte resirkuleringsanlegg (RAS) oppstår fiskeslam også uavhengig av forurensingslovens krav til utslipp, når vannet renses før det gjenbrukes. Oppsamlet fiskeslam er for det meste fra ferskvannsbasert smoltproduksjon, men siden fisken vennet gradvis til saltvann før utsett (postsmolt), kan slammet inneholde noe salt. Det er i dag ikke vanlig å samle opp fiskeslam fra matfiskproduksjon som for det meste foregår i åpne merder. Oppsamlet fiskeslam står derfor for bare ca. 2 % av total mengde ekskrementer og fôrrester produsert av norsk oppdrettsnæring (Aas & Åsgard 2017).

Avvanning og behandling av fiskeslam foregår i flere steg: Først blir vannet renses med trommelfilter. I noen tilfeller brukes kjemiske polymerer som hjelpemiddel for å samle og binde fiskeslammet i større partikler, før videre avvanning med båndfilter, sentrifuge, skruepresse eller gjennom sedimentering til mellom 15 og 30 % tørrstoff. I de fleste tilfeller blir fiskeslammet deretter tørket ved mellom 50 og 130 °C til rundt 90 % tørrstoff, og lagret i storekker. Alternativt kan fiskeslam behandles i sentraliserte eller desentraliserte biogassanlegg, med både biogass og biorest som sluttprodukter. I praksis byr biogassbehandling av fiskeslam på utfordringer: Ved anaerob nedbrytning av nitrogen- og fettriakt fiskeslam vil det dannes mye ammonium og fettsyrer som kan føre til at biogassprosessen blir ustabil og at metanproduksjonen kollapser (Gebauer m.fl. 2016). Det er derfor vanlig å kombinere fiskeslam med andre substrater som husdyrgjødsel, når det behandles i biogassanlegg.

I en sirkulær bioøkonomi er fiskeslam en ressurs som skal utnyttes og gå tilbake i et kretsløp. Bruk av tørket fiskeslam som gjødsel på jordbruksareal er et naturlig alternativ fordi fiskeslam inneholder alle næringsstoffer som plantene trenger. Spesielt fosfor i fiskeslam er av betydning fordi de globale reservene av råfosfat som inngår i mineralgjødsel, er begrenset på verdensbasis. Med økende andel plantebasert laksefôr, øker også oppdrettsnæringens avhengighet av mineralgjødsel og råfosfat. Oppdrettsnæringen bør derfor ta et ansvar for å utnytte fosforressursene i fiskeslam effektivt. I motsetning til mineralgjødsel inneholder fiskeslam dessuten organisk materiale, som kan bidra til økt karbonbinding og bedre jordkvalitet når det blir tilført til jorda.

Forholdet mellom andel fôr og ekskrementer vil i stor grad bestemme den kjemiske sammensetningen og dermed kvaliteten til fiskeslam som gjødsel. I dagens smoltanlegg er i gjennomsnitt rundt 50 % av slammet uspist fôr, men variasjonen er stor (Aas m.fl. 2016). Fôrrester i slammet har et høyt innhold av fett og protein, mens ekskrementer inneholder mindre av dette og relativt sett mer av karbohydrater og mineraler som i mindre grad tas opp av fisken (Aas 2021). Hvis andelen fôr i slammet går ned, vil mengde fett, nitrogen og energi gå ned, mens konsentrasjonen av aske, mineraler som fosfor og tungmetaller går opp. Fiskeslam med lav andel fôr vil derfor ha lavere innhold av lett tilgjengelig nitrogen, det næringsstoffet som i størst grad styrer plantevekst. Selv om gjødselkvaliteten til fiskeslam går ned med avtakende andel fôrrester, må det fra et ressursperspektiv være et overordnet mål at mest mulig fôr blir til fisk istedenfor til fiskeslam.

I Norge er bruk av fiskeslam som gjødsel i jordbruket regulert i gjødselvereforskriften (Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav, FOR-2003-07-04-951). For at fiskeslam skal kunne erstatte mineralgjødsel i jordbruket, må det være stabilisert for å unngå lukt. Produktet må dessuten ha gjennomgått et hygieniseringsstrinn for å unngå risiko for spredning av sykdommer. Konsentrasjonen av tungmetaller på tørrstoffbasis vil bestemme om og hvor mye av produktet som er tillatt å tilføre til et jordbruksareal. Jo høyere innhold av tungmetaller, desto lavere mengde fiskeslam kan brukes. For innholdet av organiske miljøgifter og andre stoffer som kan medføre skade på helse eller miljø, er det

aktsomhetsplikt hos produsenten som gjelder. Gjødselevarsforskriften har vært under revidering i over 10 år, og ny gjødselevarsforskrift vil trolig medføre endringer for hvordan fiskeslam kan brukes som gjødsel.

God kjennskap til innhold og plantetilgjengelighet av næringsstoffer, samt innhold av tungmetaller, er en forutsetning, hvis fiskeslam skal kunne erstatte mineralgjødsel i jordbruket. Tidligere har først og fremst lokale bønder tatt imot fiskeslam og spredd det på jordene sine alene eller i kombinasjon med husdyrgjødsel. Nå tar også sentrale produsenter av organiske gjødselprodukter fiskeslam inn i produksjonen sin. Kvaliteten til fiskeslam som gjødsel har lenge vært lite dokumentert, og bruksanbefalinger for fiskeslam har derfor vært basert på bare få studier med enkeltprøver (Uhlig & Haugland 2007; Brod m.fl. 2012; Vangdal m.fl. 2014). De senere årene har tilgangen til fiskeslamprøver blitt bedre og antall studier med tema gjødselkvalitet til fiskeslam har økt, men det mangler fortsatt en systematisk oversikt over innhold av næringsstoffer og tungmetaller i fiskeslam, tilsvarende til det som det finnes for husdyrgjødsel (Daugstad m.fl. 2012).

I denne rapporten har vi derfor satt sammen analyser av fiskeslamprøver fra smolt- og postsmoltproduksjon tatt gjennom ulike prosjekter i tidsrommet mellom 2010 og 2023. De fleste prøver av fiskeslam som denne rapporten er basert på er tørket ved ulike teknologier. Innhold av næringsstoffer og tungmetaller i tørket fiskeslam blir sammenlignet med mekanisk avvannet fiskeslam uten påfølgende tørking.

Formålet med arbeidet har vært tredelt:

- Presentere gjennomsnittstall for innhold av tungmetaller og næringsstoffer i fiskeslam som vurderingsgrunnlag i et gjødselperspektiv
- Klarlegge hvordan ulike faktorer (dvs. type smoltanlegg, behandlingsteknologi) påvirker kvaliteten til tørket fiskeslam som gjødsel
- Vurdere utvikling av den kjemiske sammensetningen til fiskeslam mellom 2010 og 2023

## 2 Material og metode

### 2.1 Prøvetaking av fiskeslam

Datasettet omfatter totalt 45 fiskeslamprøver fra forskjellige prosjekter analysert i tidsrommet mellom 2010 og 2023. I Ytrestøyl m.fl. (2016) er det presentert månedlige analyser av fiskeslam tatt fra tre forskjellige smoltanlegg i løpet av ett år. For å unngå vekting av dataene mot prøver fra disse anleggene, er det tatt et gjennomsnitt av analysetallene.

Av de 45 fiskeslamprøvene er:

- 30 prøver tørket fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon
- 15 prøver mekanisk avvannet fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon

For prøvene fra smolt- og postsmoltproduksjon er det kartlagt om det er fra gjennomstrømningsanlegg eller RAS-anlegg.

Alle prøver er tatt fra oppdrettsanlegg i drift, og fiskeslamprøvene er behandlet med teknologien som var installert på anleggene ved prøvetaking.

### 2.2 Analyser av fiskeslam

I alle prosjektene ble fiskeslamprøvene sendt til kommersielle laboratorier for analyse. Enkelte analyser ble utført ved jord- og vannkjemilaboratoriet til MINA/NMBU.

Tørrestoff i prøvene ble bestemt ved tørking på 105 °C. Organisk materiale ble bestemt ved gløding på 550 °C (glødetap). pH ble målt i deionisert vann. Elektrisk konduktivitet ble bestemt etter NS-EN ISO 7888 (1993).

Totalnitrogen ble bestemt ved modifisert Kjeldahl metode (EN 13654-1 2001), eller ved Dumas-metoden og bruk av et CN-måleinstrument (EN 13654-2 2001). Også karbon (C) innhold ble bestemt ved Dumas-metoden, eller beregnet basert på analyser av glødetap delt på faktor 1,92. Faktoren ble bestemt basert på 16 fiskeslamprøver som ble analysert for både glødetap og karboninnhold som beskrevet.

Ammonium (NH<sub>4</sub>-N) og nitrat (NO<sub>3</sub>-N) ble målt ved spektroskopi (FIA) etter ekstraksjon i 2 M KCl eller direkte i det flytende produktet. Totalkonsentrasjonen av alle andre elementer ble målt på ICP-OES eller ICP-MS etter oppslutning i konsentrert salpetersyre (HNO<sub>3</sub>) i mikrobølgeovn. Konsentrasjon av klorid ble målt på ionekromatograf.

For bestemmelse av andel AL-løselig fosfor (P-AL) og kalsium (Ca-AL) ble prøvene ekstrahert i 1,5 timer i en blanding av 0,1 M ammoniumlaktat og 0,4 M eddiksyre justert til pH 3,75 (Egnér et al. 1960). Ekstraktet ble analysert på ICP-OES. For bestemmelse av Olsen-P ble et utvalg av fiskeslamprøvene ekstrahert i 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> i 0,5 timer (Olsen m.fl. 1954), før ekstraktet ble analysert på ICP-OES.

### 2.3 Statistisk databehandling

Statistisk databehandling ble gjennomført med Minitab®.

Resultater er vist som gjennomsnitt ± standardavvik. Ikke alle prøver ble analysert for alle parametere, og antall prøver (n) er derfor oppgitt hvis færre prøver enn totalt antall inngikk i gjennomsnittet. Ved konsentrasjoner lavere enn kvantifiseringsgrense (limit of quantification, LOQ), er konsentrasjonen satt til null.

Signifikansnivå ble satt til  $\alpha = 0,05$ . Det ble gjennomført t-tester for å sammenligne to grupper. For å sammenligne flere produktgrupper, gjennomførte vi variansanalyse (ANOVA) etterfulgt av Tukey's post-hoc test for multiple sammenligninger ved signifikante effekter. Sammenhenger mellom ulike parametere ble undersøkt med lineær regresjon.

Antagelsen om normalfordeling (normaltestplot) og konstant varians (fitted vs. residualt plot) ble vurdert for de enkelte analysene. Omvendte brøker ble brukt for den statistiske databehandlingen i situasjoner der forutsetningen om normalfordeling ikke var oppfylt.



### 3 Resultater

Tabell 1 viser gjennomsnitt, standardavvik, minimum og maksimum verdi av relevante parametere målt i tørket fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon. Tabell V1 i vedlegg viser gjennomsnitt, standardavvik, minimum og maksimum verdi av de samme parametere målt i mekanisk avvannet fiskeslam uten påfølgende tørking.

**Tabell 1. Gjennomsnitt, standardavvik, minimum- og maksimumsverdier av utvalgte parametere i tørket fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon målt i tidsperioden mellom 2010 og 2023**

Parameter	Enhet	Antall prøver	Gjennomsnitt	Standardavvik	Minimum	Maksimum
Tørrstoff	%	29	90,9	7,8	61,4	98,2
Organisk materiale	% av tørrstoff	23	79,7	8,3	50,3	91,9
pH		25	5,7	0,5	4,8	6,6
Elektrisk ledningsevne	mS/m	16	288	146	81	570
Nitrogen	g/kg tørrstoff	30	58,3	15,1	27,0	82,7
NH <sub>4</sub> -N	g/kg tørrstoff	25	1,6	1,6	0,0	6,2
NO <sub>3</sub> -N	g/kg tørrstoff	20	0,0022	0,0047	0	0,0200
NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	% av total-N	25	2,7	2,3	0,0	8,3
C/N-forhold		26	8,2	2,5	3,7	15,5
Fosfor, total	g/kg tørrstoff	30	24,9	8,4	6,9	45,8
N/P-forhold		30	2,8	1,7	0,7	9,1
P-AL	% av total-P	17	43	19	7	72
Olsen P	% av total-P	17	5,6	3,3	1,6	14
Kalsium, total	g/kg tørrstoff	29	47,3	16,9	14,0	84,0
Ca/P		30	1,8	0,4	0,0	2,4
Ca-AL	% av total-Ca	16	57	21	35	111
Kalium, total	g/kg tørrstoff	25	1,2	1,1	0,1	4,9
N/K-forhold		25	104	142	17	648
Magnesium, total	g/kg tørrstoff	21	3,3	1,5	0,6	6,5
Svovel, total	g/kg tørrstoff	25	3,4	1,8	0,0	6,3
Natrium, total	g/kg tørrstoff	22	3,1	2,3	0,3	7,7
Klorid	g/kg tørrstoff	14	1,8	1,4	0,1	5,0
Jern	g/kg tørrstoff	29	0,7	0,4	0,1	2,2
Aluminium	g/kg tørrstoff	24	0,4	0,3	0,0	1,0
Kadmium	mg/kg tørrstoff	26	0,5	0,3	0,2	1,1
Kadmium/fosfor	mg Cd/kg P	26	22,8	11,1	7,7	46,1
Bly	mg/kg tørrstoff	14	0,8	0,6	0,3	2,4
Kvikksølv	mg/kg tørrstoff	24	0,1	0,1	0,0	0,4
Nikkel	mg/kg tørrstoff	19	4,9	6,5	0,8	29,0
Sink	mg/kg tørrstoff	29	373	136	130	740
Kobber	mg/kg tørrstoff	26	16,5	5,5	5,3	27,0
Krom	mg/kg tørrstoff	24	4,6	4,0	1,0	16,0
Arsen	mg/kg tørrstoff	16	1,4	0,6	0,6	2,7

### 3.1 Tørrstoff, organisk materiale og pH

I de tørkede fiskeslamprøvene var gjennomsnittlig tørrstoff  $90,9 \pm 7,8$  %. De fleste prøvene hadde  $> 90$  % tørrstoff og kan dermed anses å være lagringsstabile. Seks av 29 prøver hadde  $< 90$  % tørrstoff.

Organisk materiale var  $79,7 \pm 8,3$  % av tørrstoff i de tørkede fiskeslamprøvene. Innhold av organisk materiale i fiskeslam er høyt, men ved vanlig gjødslingsmengde vil årlig tilførsel av organisk materiale per areal likevel være relativt lite. Det er derfor behov for mange års tilførsel av fiskeslam før en kan forvente å se en effekt på organisk materiale i jord.

Gjennomsnittlig pH i tørket fiskeslam var  $5,7 \pm 0,5$ . Dette er noe lavere enn optimal pH i landbruksjord (pH 6-6,5; NIBIO 2023). Det er likevel ikke noen effekt å forvente på pH i jorden når fiskeslam brukes som årlig gjødsel i mengder tillatt etter gjødselverforskriften.

### 3.2 Tungmetaller

#### *Regulering etter gjødselverforskrift*

Bruken av fiskeslam som organisk gjødsel er regulert i gjødselverforskriften (Lovdata FOR-2003-07-04-951). Konsentrasjonen av tungmetaller på tørrstoffbasis vil bestemme om produktet kan brukes i fri mengde styrt av plantenes behov for næringsstoffer (klasse 0), med mengdebegrensninger (klasse I og II) eller ikke tillatt brukt på jordbruksareal ( $>$  klasse II), men tillatt på grøntarealer uten matproduksjon (klasse III) (Tabell 2). Mengdebegrensningen for tilførsel av produkter i kvalitetsklasse II til jordbruksarealer er 2 tonn tørrstoff/dekar i løpet av en 10-årsperiode, i gjennomsnitt 200 kg tørrstoff/dekar/år. Mengdebegrensningen for produkter i kvalitetsklasse I til jordbruksarealer er 4 tonn tørrstoff/dekar i løpet av en 10-årsperiode, i gjennomsnitt er 400 kg tørrstoff/dekar/år.

**Tabell 2. Maksimumsgrenser for tillatt innhold av tungmetaller i de enkelte kvalitetsklassene angitt som mg/kg tørrstoff (Lovdata FOR-2003-07-04-951)**

Kvalitetsklasse	0	I	II	III
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

\*Foreslåtte grenseverdier i revidert gjødselverforskrift (Landbruksdirektoratet 2018a)

#### **Tungmetallinnhold**

Bruken av fiskeslam som gjødsel i jordbruket er som regel begrenset av sink- og kadmiuminnholdet etter gjeldende gjødselverforskrift (Lovdata FOR-2003-07-04-951). Sink er både et tungmetall hvor høye konsentrasjoner er uønsket, og et nødvendig næringsstoff. Det tilsettes fiskefôret for å sikre fiskens helse og for å erstatte antibiotika (Silva m.fl. 2019). Kadmium derimot er kun et uønsket og giftig tungmetall som kommer med de marine fôringrediensene.

Av 26 tørkede fiskeslamprøver var 50 % i kvalitetsklasse II, og kan dermed brukes i mengder opptil 200 kg tørrstoff/dekar/år. Totalt 46 % av de tørkede fiskeslamprøvene oppfylte kriteriene for kvalitetsklasse I og kan dermed brukes i mengder opptil 400 kg tørrstoff/dekar/år. Bare én prøve hadde lave nok konsentrasjoner av tungmetaller til å tilfredsstille kravene til kvalitetsklasse 0 som tillater bruk i ubegrenset mengde, men tilpasset plantenes behov for næringsstoffer. Ingen av de

analyserte fiseslamprøvene var i kvalitetsklasse III. Alle var dermed tillatt å bruke som gjødsel på landbruksjord etter gjeldende gjødselvereforskrift.

Selv om tillatt tilførselsmengde av fiseslam som gjødsel i jordbruket ofte er begrenset av sink, var gjennomsnittlig sinkkonsentrasjon i de tørkede fiseslamprøver analysert her ( $373 \pm 136$  mg sink/kg tørrstoff) lavere enn gjennomsnittet i 14 prøver av sivegjødsel ( $637$  mg sink/kg tørrstoff) og gjennomsnittet i tre prøver av sauegjødsel ( $600$  mg sink/kg tørrstoff) rapportert av Daugstad m.fl. (2012). Gjennomsnittlig sinkkonsentrasjon i de tørkede fiseslamprøver var høyere enn gjennomsnittet i syv gjødselprøver av storfe ( $184$  mg sink/kg tørrstoff; Daugstad m.fl. 2012).

Gjennomsnittlig kadmiumkonsentrasjon i de tørkede fiseslamprøver var  $0,5 \pm 0,3$  mg kadmium/kg tørrstoff. I mineralgjødsel er grenseverdier for kadmium satt i forhold til fosfor, siden råfosfat er hovedkilden til forurensninger med kadmium i mineralgjødsel. Etter norsk regelverk skal mineralgjødsel ikke inneholde mer enn  $100$  mg kadmium/kg fosfor (Forskrift om handel med gjødsel og kalkingsmidler mv.; Lovdata FOR-2003-07-04-1063). Gjennomsnittlig forhold mellom kadmium og fosfor i tørkede fiseslamprøver var betydelig lavere,  $23 \pm 11$  mg kadmium/kg fosfor ( $n = 26$ ), og ingen av fiseslamprøvene inneholdt  $> 46$  mg kadmium/kg fosfor (Tabell 1). I en undersøkelse av Mattilsynet gjennomført i 2015, hadde åtte Yara NPK gjødsel mellom  $25$  og  $85$  mg kadmium/kg fosfor (Mattilsynet 2017). Gjennomsnittlig kadmiuminnhold i de tørkede fiseslamprøvene var også lavere enn gjennomsnittet ( $69$  mg kadmium/kg fosfor) i 414 mineralgjødselprodukter prøvetatt i EU-28 pluss Norge analysert av Verbeek m.fl. (2020).

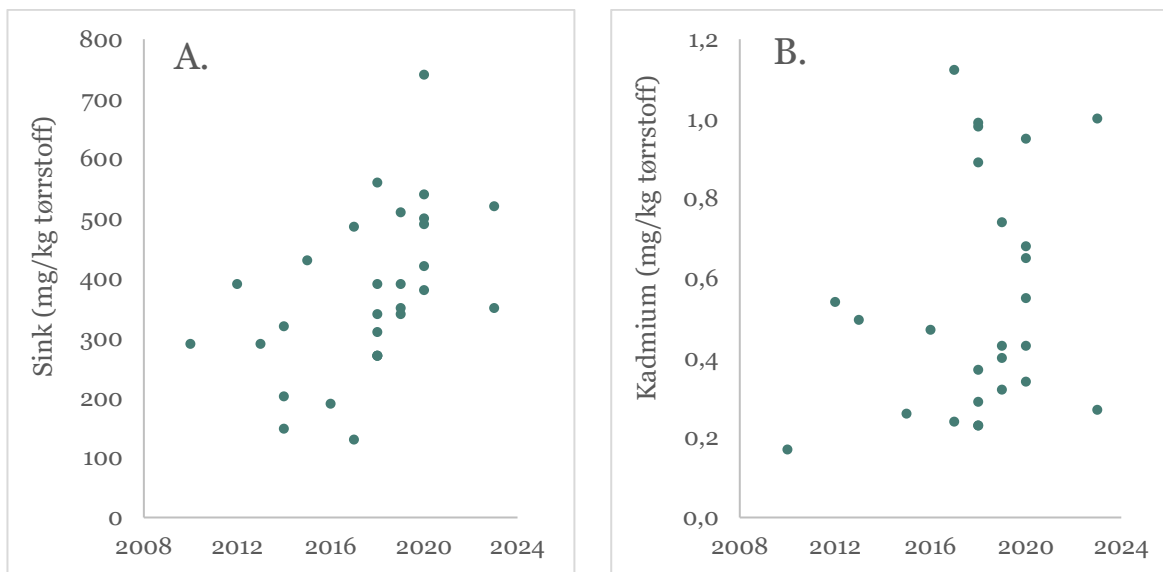
Ingen av de tørkede fiseslamprøvene hadde konsentrasjoner av bly, kvikksølv, nikkel, kobber eller krom som var høyere enn det som er tillatt for å oppfylle kravene til i kvalitetsklasse 0. Heller ikke arsenkonsentrasjoner var høyere enn det som er foreslått som grenseverdi for kvalitetsklasse 0 i revidert gjødselvereforskrift.

### ***Trender i løpet av prøvetakingsperioden***

Figur 1A viser at sinkkonsentrasjonen (mg sink/kg tørrstoff) i de tørkede fiseslamprøvene har gått opp i løpet av prøvetakingsperioden ( $R^2 = 0,22$ ; p-verdi =  $0,01$ ). Det kan tyde på at sinktilsetninger i fôret har gått opp i løpet av prøvetakingsperioden. Trenden kan også skyldes at andelen fôrrester i det oppsamlede slammet har blitt redusert over tid, eller at oppsamling av ekskrementer, som vil inneholde ufordøyde mineraler, har blitt mer effektiv.

Det kan se ut som om også kadmiumkonsentrasjonen (mg kadmium/kg tørrstoff) i tørket fiseslam har gått noe opp i løpet av prøvetakingsperioden (Figur 1B), men det var ikke noe statistisk signifikant sammenheng mellom kadmiumkonsentrasjon og prøvetakingsår ( $R^2 = 0,06$ ; p-verdi =  $0,23$ ).

Selv om sink- og kadmiumkonsentrasjonene er innenfor tillatte verdier etter gjeldende gjødselvereforskrift, bør det søkes løsninger for å redusere disse nivåene, siden det er uønsket å akkumulere tungmetaller i matsystemet vårt. Reduksjon av tungmetaller vil også bidra til å øke aksepten av fiseslam som gjødsel blant gårdbrukere og konsumenter. Tungmetallinnhold i fiseslam vil bare gå ned, dersom laksen utelukkende spiser høykvalitetsfôr med lavt tungmetallinnhold. Det finnes i dag ikke noe lønnsom mulighet til å redusere tungmetallinnholdet i fiseslam i etterkant av oppsamling og tørking.



Figur 1. Sammenheng mellom prøvetakingsår (fra 2010 til 2023) og A. innhold av sink (mg/kg tørrstoff) i tørket fiskeslam (n = 29) og B. kadmium (mg/kg tørrstoff) i tørket fiskeslam (n = 26) fra smolt- og postsmoltproduksjon

### Effekt av type smoltanlegg

Det var en tendens til at kadmiumkonsentrasjon var høyere i tørkede fiskeslamprøver fra resirkuleringsanlegg ( $0,6 \pm 0,3$  mg kadmium/kg tørrstoff) sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg ( $0,5 \pm 0,3$  mg kadmium/kg tørrstoff), men effekten var ikke statistisk sikker ved signifikansnivå  $\alpha = 0,05$ . Effekten var derimot sikker for arsenkonsentrasjonen som var signifikant høyere i slam fra resirkuleringsanlegg ( $2,1 \pm 0,4$  mg arsen/kg tørrstoff) sammenlignet med slam fra gjennomstrømningsanlegg ( $1,1 \pm 0,4$  mg arsen/kg tørrstoff) (n = 16; p-verdi = 0,02).

### Forventete endringer med ny gjødselvereforskrift

Det er viktig ikke bare å se på tungmetallkonsentrasjonene i fiskeslamproduktene for å vurdere potensiell tungmetallbelastning. Relevante tilførselsmengder av de ulike produktene bestemmer hva som blir den faktiske tungmetallbelastningen på et areal ved bruk som gjødsel.

I forslaget til revidert gjødselvereforskrift er det en begrensning på hvor mye fosfor som kan tilføres på et areal (Landbruksdirektoratet 2018b). Når ny gjødselvereforskrift med forventet fosforbegrensning er på plass, vil tillatt tilførselsmengde av de fleste fiskeslamproduktene bli begrenset av fosfor istedenfor av sink eller kadmium. Vanlige kornavlinger trenger mellom 1,5 og 2 kg fosfor/dekar. Det strengeste forslaget til fosforbegrensning i ny gjødselvereforskrift er 2,1 kg fosfor/dekar/år, det minst strenge forslaget er satt til 3 kg fosfor/dekar/år (Landbruksdirektoratet 2018b). Den strengeste foreslåtte fosforbegrensningen tilsvarer 84 kg tørrstoff/dekar av fiskeslam med et gjennomsnittlig fosforinnhold. Det er betydelig mindre fiskeslam enn mengden som er tillat brukt som gjødsel etter gjeldende gjødselvereforskrift (400 eller 200 kg tørrstoff/dekar/år i henholdsvis kvalitetsklasse I eller II). Dermed vil også faktisk tungmetallbelastning på et areal bli lavere enn med dagens gjødselregelverk.

## 3.3 Næringsstoffer

### 3.3.1 Nitrogen

Næringsstoffene som plantene trenger mest av er nitrogen, kalium og fosfor. Av disse er det særlig nitrogen som styrer hvor stor avlingen blir. Vanlige kornavlinger trenger mellom 10 og 15 kg nitrogen/dekar.

## **Totalnitrogen**

De tørkede fiskeslamprøvene hadde i gjennomsnitt  $58,3 \pm 15,1$  g totalnitrogen/kg tørrstoff. Mekanisk avvannet fiskeslam uten påfølgende tørking hadde i gjennomsnitt  $68,5 \pm 15,3$  g totalnitrogen/kg tørrstoff (Tabell V1 i vedlegg). Innhold av totalnitrogen i fiskeslam er dermed i samme størrelsesorden som gjennomsnittlig innhold av totalnitrogen i bløtgjødsel fra storfe (50,6 g totalnitrogen/kg tørrstoff), sau (45,8 g totalnitrogen/kg tørrstoff), gris (63,5 g totalnitrogen/kg tørrstoff) og i kyllingsgjødsel (55,8 g totalnitrogen/kg tørrstoff) rapportert av Daugstad m.fl. (2012).

Det var et stort spenn i nitrogeninnhold i tørkede fiskeslamprøver med variasjon fra 27,0 g til 82,7 g totalnitrogen/kg tørrstoff. Det var også stor variasjon i nitrogeninnholdet til fiskeslam fra samme anlegg og behandlet ved samme teknologi. For eksempel varierte nitrogeninnholdet i syv tørkede fiskeslamprøver tatt fra samme smoltanlegg mellom 2014 og 2020 fra 32 til 75 g totalnitrogen/kg tørrstoff. Det var ikke signifikant forskjell i innhold av totalnitrogen mellom prøver som ble tørket ved lav temperatur (rundt 50 °C) eller høy temperatur (> 100 °C).

For fiskeslam i kvalitetsklasse II, betyr det at med maksimal tillatt tilførselsmengde kan det i gjennomsnitt gjødsles med 11,7 kg totalnitrogen/dekar/år (mellom 5,4 og 16,5 kg totalnitrogen/dekar/år). For fiskeslam i kvalitetsklasse I kan det i gjennomsnitt tilføres maksimalt 23,3 kg totalnitrogen/dekar/år (mellom 10,8 og 33,1 kg totalnitrogen/dekar/år).

Plantene kan bare utnytte en del av nitrogenet i fiskeslammet den første vekstsesongen etter gjødsling (Brod 2021). Plantene tar opp nitrogen i mineralsk form, som ammonium eller nitrat (Nmin), mens nitrogenet i tørket fiskeslam består av både mineralsk og organisk nitrogen. Om tilført nitrogenmengde med tørket fiskeslam er nok til å dekke plantenes behov, er derfor avhengig av andel mineralsk nitrogen og nedbrytningshastigheten til det organiske nitrogenet.

## **Mineralsk nitrogen**

Andelen Nmin/totalnitrogen var lavt i alle tørkede fiskeslamprodukter. I gjennomsnitt bare  $2,7 \pm 2,3$  % av totalnitrogen i tørket fiskeslam var i løst mineralsk form, hovedsakelig som ammonium-N (Tabell 1). I mekanisk avvannet fiskeslam uten etterfølgende tørking var andelen Nmin/totalnitrogen signifikant høyere enn i tørket fiskeslam, i gjennomsnitt  $14,9 \pm 5,1$  % (Tabell V1; p-verdi < 0,001). Ammonium (NH<sub>4</sub>-N) tapes under avvanning ved at NH<sub>4</sub>-N følger avløpsvannet under avvanningen. Under påfølgende tørking blir det ytterligere tap ved at mesteparten av ammonium som er igjen i fiskeslammet etter avvanningen tapes som ammoniakk til luft (Brod 2021).

## **Organisk nitrogen og C/N-forhold**

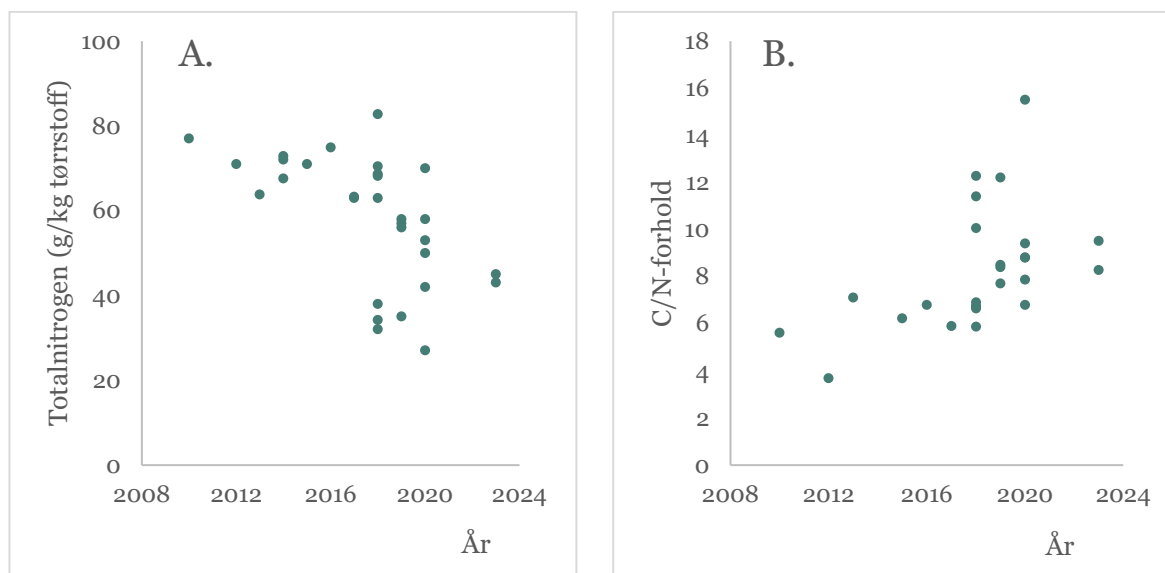
I tørket fiskeslam foreligger nitrogen hovedsakelig som organisk nitrogen. Organisk nitrogen i fiskeslam må brytes raskt ned av mikroorganismene i jorda for at plantene skal kunne ta det opp i samme vekstsesong som det gjødsles. Nedbrytningshastigheten blir påvirket av jordas temperatur- og fuktighetsforhold og av sammensetningen av det organiske materialet i fiskeslammet.

Forholdet mellom karbon og nitrogen (C/N-forhold) i organisk gjødsel kan brukes til å vurdere hvor raskt organisk nitrogen blir tilgjengelig for plantene etter gjødsling (Henriksen et al. 2023). Jo lavere C/N-forholdet i organisk gjødsel, desto større er andelen organisk nitrogen som raskt blir tilgjengelig for plantene. Gjennomsnittlig C/N-forhold i de tørkede fiskeslamprøvene var  $8,2 \pm 2,5$ .

Gjennomsnittlig C/N-forhold i tørket fiskeslam er dermed i samme størrelsesorden som C/N-forholdet funnet i bløtgjødsel av storfe (C/N-forhold = 9,3) i en undersøkelse av Delin m.fl. (2012). I samme undersøkelse hadde storfegjødselen en relativ nitrogengjødseffekt på 52 % sammenlignet med mineralgjødsel. Brod (2021) undersøkte nitrogenkvaliteten til fire tørkede fiskeslamprodukter, en flytende biorest og en tørket biorest ved hjelp av både vekstforsøk i felt og inkuberingsforsøk på laboratoriet, og fant at det var stor variasjon i nitrogenkvaliteten som gjødsel. En viktig faktor som forklarte variasjonen, var fiskeslammetts C/N-forhold. Tørket fiskeslam med C/N-forhold på 15,5 hadde en relativ nitrogengjødseffekt på bare 7 % sammenlignet med mineralgjødsel, mens fiskeslam

med C/N-forhold på 6,8 hadde en relativ nitrogengjødseffekt på 48 % sammenlignet med mineralgjødning.

Jo høyere andel fôr i fiskeslammet, desto høyere vil andel fett, nitrogen og energi i fiskeslammet være. I samme studie til Brod (2021) var C/N-forhold i rent fôr mellom 5,9 og 7,2. Det betyr at fiskeslam med høy andel fôr, vil ha et lavere C/N-forhold og bedre nitrogengjødseffekt enn fiskeslam med høy andel ekskrementer. Det må likevel være et mål at andelen fôr i fiskeslam er så lav som mulig, og at mest mulig fôr blir til fisk istedenfor til fiskeslam. Samtidig er det viktig å vite hva fiskeslam består av for å optimalisere bruken som gjødning f.eks. i kombinasjon med mineralgjødning.



Figur 2. Sammenheng mellom prøvetakingsår (fra 2010 til 2023) og A. innhold av totalnitrogen (g/kg tørrstoff) i tørket fiskeslam (n = 30) og B. C/N-forhold i tørket fiskeslam (n = 26) fra smolt- og postsmoltproduksjon

### Trender i løpet av prøvetakingsperioden

Figur 2A viser at innhold av totalnitrogen i tørket fiskeslam har gått ned i løpet av prøvetakingsperioden ( $R^2 = 0,27$ ; p-verdi = 0,003). Samtidig har C/N-forholdet gått opp over tid (Figur 2B;  $R^2 = 0,40$ ; p-verdi = 0,001 basert på den omvendte brøken). Det kan tyde på at mengden fôr i det oppsamlede slammet har blitt redusert over tid, eller at oppsamling av ekskrementer har blitt mer effektiv.

### Effekt av type smoltanlegg

Det var ikke noe signifikant effekt av type smoltanlegg på innhold av totalnitrogen. Det var derimot en signifikant høyere andel av nitrogen i mineralsk form i fiskeslam fra resirkuleringsanlegg ( $4,8 \pm 2,5$  % Nmin/totalnitrogen) sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg ( $1,6 \pm 1,3$  % Nmin/totalnitrogen). Likevel foreligger også nitrogen i fiskeslam fra resirkuleringsanlegg for det meste som organisk nitrogen.

## 3.3.2 Fosfor

### Fosfor og N/P-forhold

Gjennomsnittlig innhold av totalfosfor i tørket fiskeslam var  $24,9 \pm 8,4$  g fosfor/kg tørrstoff med variasjon fra 6,9 til 45,8 g fosfor/kg tørrstoff (Tabell 1). Til sammenligning rapporterer Daugstad m.fl. (2012) at gjennomsnittlig fosforinnhold var 8,3 g fosfor/kg tørrstoff i bløtgjødsel fra storfe og 17,1 g fosfor/kg tørrstoff i svinegjødning.

Med tanke på bruk som gjødsel, var gjennomsnittlig N/P-forhold i tørket fiskeslam lavt ( $2,8 \pm 1,7$ ), men det var stor variasjon mellom prøvene (mellom 0,7 og 9,1). Til sammenligning er N/P-forholdet i gjødselnormen til bygg 6,3 (NIBIO 2023). Et lavt N/P-forhold i tørket fiskeslam vil føre til overdosering med fosfor, hvis gjødselmengden beregnes ut fra nitrogeninnholdet, og særlig om man tar hensyn til den faktiske nitrogenereffekten til tørket fiskeslam (Brod 2021).

### ***Plantetilgjengelig fosfor***

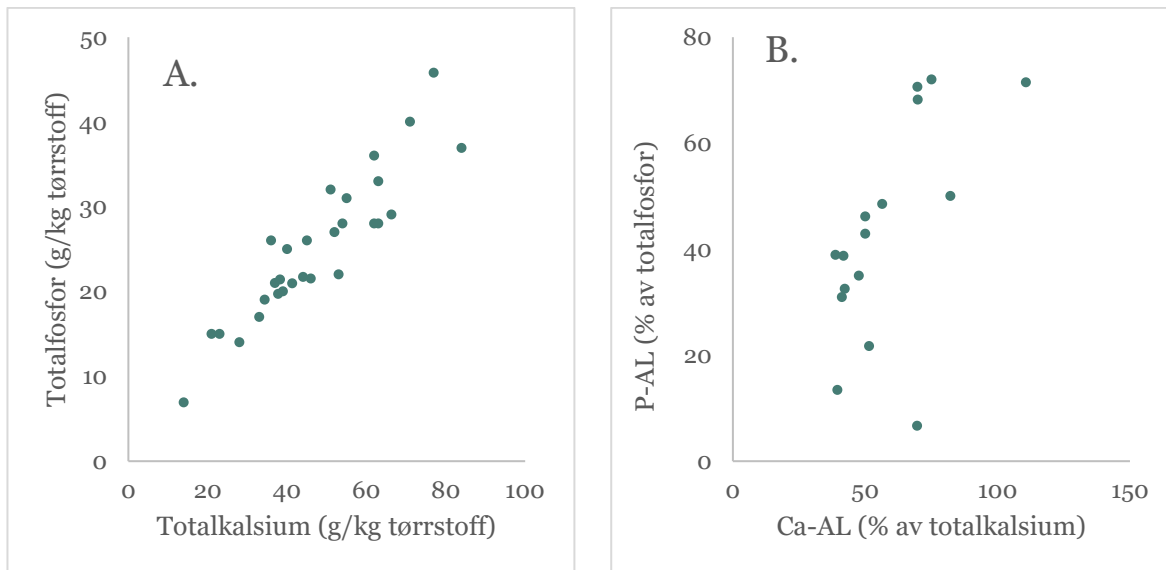
Fiskeslam har et høyt fosforinnhold, men bare en del av fosforet er plantetilgjengelig på kort sikt. I et pottforsøk med bygg hadde tre tørkede fiskeslamprodukter en fosforeffekt mellom 28 og 52 % sammenlignet med mineralgjødsel (Brod & Øgaard 2021).

Plantene tar opp fosfor som løst fosfat. Ved kjemisk fraksjonering av fosforet i husdyrgjødsel- og fiskeslamprodukter, fant vi at en stor del av fosforet i fiskeslam var bundet i tungt løselige kalsiumfosfater og bare en liten andel av dette er løselig (Brod & Øgaard 2021). I samsvar med disse resultatene viser Figur 2A en tydelig sammenheng mellom innhold av totalkalsium og totalfosfor i de tørkede fiskeslamprøvene ( $R^2 = 0,84$ ; p-verdi  $< 0,001$ ;  $n = 29$ ).

Plantetilgjengeligheten av fosforet kan måles ved ulike fosforekstraksjoner. I jord gir både P-AL- og Olsen-P-analyser et relativt mål på plantetilgjengeligheten av fosforet. Det vil si at med økende verdi kan en anta økende innhold av plantetilgjengelig fosfor, men verdien viser ikke den absolutte konsentrasjonen av plantetilgjengelig fosfor. I en tidligere studie fant vi at Olsen-P er noe bedre egnet enn P-AL til å beskrive plantetilgjengeligheten av fosfor i organiske gjødselprodukter (Brod & Øgaard 2021).

P-AL er en kraftigere ekstraksjon enn Olsen-P, og gir derfor høyere verdier både i jord og i organiske gjødselprodukter. Gjennomsnittlig andel P-AL/totalfosfor i tørket fiskeslam var  $43 \pm 19$  %. Det er lavere enn hva vi tidligere fant for storfe- og svin gjødsel ( $75 \pm 12$  % i gjennomsnitt for fem prøver; Brod & Øgaard 2021). Løselighet av fosfor i AL-ekstraksjonsløsningen i tørket fiskeslam ble gjenspeilet av løseligheten av kalsium i samme ekstraksjonsløsning. Gjennomsnittlig andel Ca-AL/totalkalsium i de tørkede fiskeslamprøvene var  $57 \pm 21$  %. Sammenhengen mellom P-AL/totalfosfor og Ca-AL/totalkalsium i de tørkede fiskeslamprøvene undersøkt her er vist i Figur 3B ( $R^2 = 0,38$ ; p-verdi =  $0,01$ ;  $n = 16$ ). Dette bekrefter at fosforet i fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon hovedsakelig er bundet til kalsium.

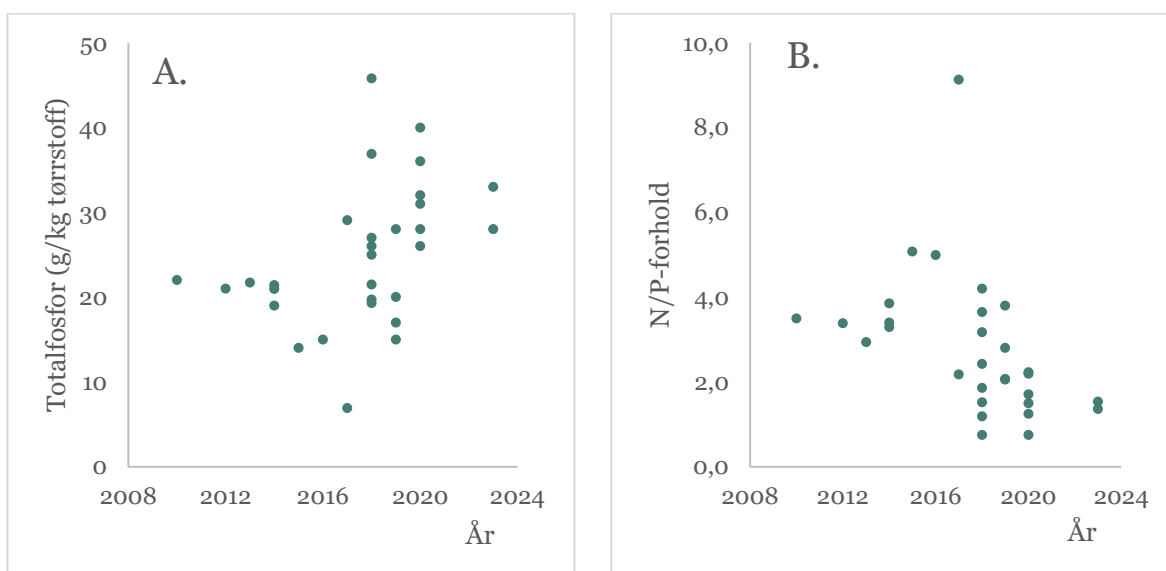
Gjennomsnittlig andel Olsen-P/totalfosfor var  $5,6 \pm 3,2$  %, betydelig lavere enn hva vi tidligere fant for storfe- og svin gjødsel ( $39 \pm 15$  % i gjennomsnitt for fem prøver; Brod & Øgaard 2021).



Figur 3. Sammenheng mellom A. innhold av totalkalsium og totalfosfor (g/kg tørrstoff) (n = 28) og B. andel Ca-AL av totalkalsium og andel P-AL av totalfosfor (%) (n = 16) i tørket fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon

### Trender i løpet av prøvetakingsperioden

Innhold av totalfosfor i fiskeslam har gått opp i løpet av prøvetakingsperioden (Figur 4A;  $R^2 = 0,18$ ; p-verdi =  $0,02$ ). Samtidig har N/P-forholdet i tørket fiskeslam gått ned (Figur 4B;  $R^2 = 0,22$ ; p-verdi =  $0,01$  basert på den omvendte brøken « $1/(N/P)$ »). Det støtter opp under antagelsen om at mengden fôr i det oppsamlede slammet har blitt redusert over tid, eller at oppsamling av ekskrementer har blitt mer effektiv.



Figur 4. Sammenheng mellom prøvetakingsår (fra 2010 til 2023) og A. innhold av totalfosfor (g/kg tørrstoff) i tørket fiskeslam (n = 30) og B. N/P-forhold i tørket fiskeslam (n = 30) fra smolt- og postsmoltproduksjon

### Effekt av type smoltanlegg

Type smoltanlegg hadde ikke signifikant effekt hverken på innhold av totalfosfor, andel P-AL/totalfosfor eller N/P-forhold i tørket slam.



### 3.3.3 Kalium

Gjennomsnittlig innhold av totalkalium i tørket fiskeslam var  $1,2 \pm 1,1$  g kalium/kg tørrstoff (Tabell 1). Det er svært lavt sammenlignet med gjennomsnittlig kaliuminnhold i bløtgjødsel av storfe (60 g kalium/kg tørrstoff; Daugstad m.fl. 2012). Kalium i organisk gjødsel foreligger hovedsakelig i løst mineralsk form ( $K^+$ ), og en stor del vil derfor følge vannfasen ved avvanning av fiskeslammet. Samtidig kan en gå ut fra at kaliumet som er igjen i fiskeslammet, vil være lett løselig og direkte plantetilgjengelig.

I henhold til gjødselingsnormen for korn skal N/K-forholdet i gjødsel være ca. 2 (NIBIO 2023). Gjennomsnittlig N/K-forhold i tørket fiskeslam var så høyt som  $104 \pm 142$ , men det var stor variasjon og noen ekstremverdier med meget høye N/K-forhold (237, 263, 371 og 650). Kaliuminnholdet i tørket fiskeslam er dermed altfor lavt sammenlignet med plantenes behov.

Det var ikke noe statistisk signifikant effekt av prøvetakingsår på innhold av totalkalium eller N/K-forhold i tørket fiskeslam. Det kan forklares ved at innhold av kalium i fiskeslam først og fremst er påvirket av avvanning og ikke av forholdet mellom fôrrester og ekskrementer i fiskeslammet.

Det var en tendens til høyere kaliuminnhold i tørket slam fra resirkuleringsanlegg ( $1,6 \pm 1,5$  g kalium/kg tørrstoff) sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg ( $0,9 \pm 0,5$  g kalium/kg tørrstoff), men effekten var ikke statistisk signifikant ved signifikansnivå  $\alpha = 0,05$ .

### 3.3.4 Kalsium

Gjennomsnittlig innhold av kalsium i de tørkede fiskeslamprøvene var høyt ( $47,3 \pm 16,9$  g kalsium/kg tørrstoff; Tabell 1) og mye høyere enn hva en kan forvente i bløtgjødsel av storfe (14,6 g kalsium/kg tørrstoff; Daugstad m.fl. 2012). Som vist ovenfor, har høyt kalsiuminnhold sammenheng med høyt fosforinnhold i fiskeslam (Figur 3).

Det var en tendens til at kalsiuminnholdet i tørket fiskeslam har økt over tid, men effekten var ikke statistisk signifikant ved signifikansnivå  $\alpha = 0,05$ .

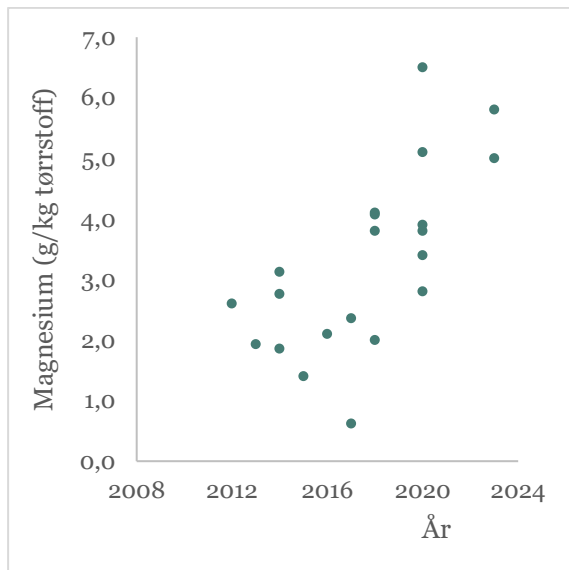
Det var ikke signifikant forskjell i kalsiuminnhold mellom tørket fiskeslam fra resirkuleringsanlegg og gjennomstrømningsanlegg.

### 3.3.5 Magnesium

Gjennomsnittlig innhold av totalmagnesium var  $3,3 \pm 1,5$  g/kg tørrstoff i tørket fiskeslam (Tabell 1). Fiskeslam inneholder dermed omtrent halvparten så mye magnesium som en kan forvente i bløtgjødsel av storfe (7,2 g/kg tørrstoff; Daugstad m.fl. 2012).

Figur 5 viser at magnesiuminnhold i tørket fiskeslam har gått opp i løpet av prøvetakingsperioden ( $R^2 = 0,47$ ; p-verdi = 0,001). Det støtter opp under antagelsen om at andelen fôr i det oppsamlede fiskeslammet har blitt redusert over tid, enten fordi fôrspillet har blitt mindre eller fordi oppsamling av ekskrementer har blitt mer effektiv.

Det var ikke signifikant forskjell i magnesiuminnhold i tørket fiskeslam fra resirkuleringsanlegg og gjennomstrømningsanlegg.



Figur 5. Sammenheng mellom prøvetakingsår (fra 2010 til 2023) og innhold av magnesium (g/kg tørrstoff) i tørket fiskeslam (n = 21) fra smolt- og postsmoltproduksjon

### 3.3.6 Svovel

Gjennomsnittlig innhold av svovel i tørket fiskeslam var  $3,4 \pm 1,8$  g/kg tørrstoff (Tabell 1), og er dermed på samme nivå med hva en kan forvente i bløtgjødsel av storfe (4,8 g/kg tørrstoff; Daugstad m.fl. 2012). Tørket fiskeslam inneholder dermed i gjennomsnitt omtrent ti ganger mer fosfor enn svovel (Tabell 1). Totalkonsentrasjoner av fosfor og svovel i planter er i samme størrelsesorden (Aasen 1997). Hvis tørket fiskeslam doseres etter plantenes fosforbehov, blir det derfor for lite svovel.

Det var ikke noe statistisk signifikant effekt av prøvetakingsår på innhold av svovel i tørket fiskeslam.

Det var heller ikke signifikant forskjell i svovelinnhold mellom tørket fiskeslam fra resirkuleringsanlegg og gjennomstrømningsanlegg.

## 4 Konklusjon

### *Tungmetaller i tørket fiskeslam*

Analyser av 30 tørkede fiskeslamprøver fra smolt- og postsmoltproduksjon viser at sink og kadmium er de tungmetallene som gir begrensning på hvor mye fiskeslam som kan tilføres et jordbruksareal. Alle de testede fiskeslamprøvene var tillatt å bruke som gjødsel etter gjeldende gjødselvereforskrift. Det bør likevel søkes løsninger for å redusere tungmetallkonsentrasjoner i fiskeslam for å unngå akkumulering i matsystemet vårt. Reduksjon av tungmetaller vil også bidra til å øke aksepten av fiskeslam som gjødsel blant gårdbrukere og konsumenter.

### *Næringsstoffer i tørket fiskeslam*

Tørket fiskeslam fra smolt- og postsmoltproduksjon inneholder mye nitrogen og fosfor, men næringsstoffinnholdet er ubalansert sammenlignet med plantenes behov. Spesielt fosforinnholdet er høyt i forhold til andre viktige plantenæringsstoffer som nitrogen, kalium, magnesium og svovel. Det betyr at hvis en gjødsler etter plantens behov for nitrogen, som er det viktigste næringsstoffet for å gi høy avling, vil det bli tilført mye mer fosfor enn det plantene trenger. Det er forventet at når ny revidert gjødselvereforskrift er på plass, vil det også være begrensning på hvor mye fosfor som kan tilføres per arealenhet. Da vil fiskeslamproduktets fosforinnhold i tillegg til tungmetallinnholdet begrense hvor mye av produktet som kan tilføres et jordbruksareal per år. Utfordringen kan løses ved å kombinere tørket fiskeslam med mineralske gjødselkomponenter, enten ved separat tilførsel eller ved anrikning. I kombinasjon med mineralsk gjødsel som inneholder nitrogen, kalium, magnesium og svovel vil man kunne oppnå et balansert næringsstofforhold i sluttproduktet, mer i samsvar med plantenes behov.

### *Effekt av type smoltanlegg på kvaliteten til tørket fiskeslam som gjødsel*

Det var ikke noe signifikant effekt av type smoltanlegg på innhold av totalnitrogen eller totalfosfor. Det var derimot en signifikant høyere andel av nitrogen i mineralsk form og en tendens til høyere kaliuminnhold i tørket slam fra resirkuleringsanlegg sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg. Det var en signifikant høyere arsenkonsentrasjon og en tendens til høyere kadmiumkonsentrasjon i slam fra resirkuleringsanlegg sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg. Datamaterialet tyder likevel på at forholdet mellom fôrrester og ekskrementer i fiskeslammet har større betydning for den kjemiske sammensetningen til tørket fiskeslam enn type smoltanlegg.

### *Utvikling av den kjemiske sammensetningen til tørket fiskeslam mellom 2010 og 2023*

Innhold av totalfosfor i tørket fiskeslam har gått opp i løpet av prøvetakingsperioden (2010 til 2023), mens innholdet av totalnitrogen har gått ned. Dermed har også N/P-forholdet i fiskeslammet gått ned i prøvetakingsperioden. C/N-forholdet har gått opp i løpet av prøvetakingsperioden. Disse endringene kan skyldes en mulig reduksjon i andel fôrrester i slammet, eller at oppsamling av ekskrementer har blitt mer effektiv. Det var en signifikant økende trend for sinkkonsentrasjonen i perioden 2010 til 2023, som kan skyldes enten økt sinktilsetning til fôret eller endring i andel fôrrester i slammet. Trenden i kadmiumkonsentrasjon var ikke signifikant.

# Referanser

- Brod E, Haraldsen TK, Breland TA (2012) Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: results from a pot experiment. *Agricultural and Food Science* 21: 332-347
- Brod (2021) Fiskeslam som nitrogengjødning til korn. Resultater fra FishBash prosjektet. NIBIO rapport 7 (137) 41 sider
- Brod E, Øgaard AF (2021) Fosforeffekt av organisk avfall. NIBIO rapport 30 (7) 59 sider
- Daugstad K, Kristoffersen AØ, Nesheim L (2012) Næringsinnhold i husdyrgjødsel. Analyser av husdyrgjødsel fra storfe, sau, svin og fjørfe 2006-2011. *Bioforsk Rapport* 7 (24) 29 sider
- Delin S, Stenberg B, Nyberg A, Brohede L (2012) Potential methods for estimating nitrogen fertilizer value of organic residues. *Soil Use and Management* 28: 283-291
- Egnér H, Riehm H, Domingo WR (1960) Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199-215
- EN 13654-1 (2001) Soil improvers and growing media: determination of nitrogen. Part 1: modified Kjeldahl method. CEN, Brussels
- EN 13654-2 (2001) Soil improvers and growing media: determination of nitrogen. Part 2: Dumas method. CEN, Brussels
- Gebauer R, Cabell JF, Ween O (2016) Biogassproduksjon fra settefiskeslam i sentraliserte og desentraliserte biogassanlegg Rapport til AP3 i prosjektet "Fiskeslam som ressurs for bioenergi og plantevekst" (Slam BEP) finansiert av Regionalt Forskningsfond i Midt Norge med prosjektnummeret RFF 277401. NIBIO rapport 2 (121), 75 sider
- Henriksen TM, Kristoffersen AØ, Øgaard AF, Brod E (2023) Organiske avfallsprodukt som gjødning: Bestemmelse av nitrogeneffekten. NIBIO rapport 9 (72), 50 sider
- Lovdata (FOR-2003-07-04-951) Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951> (20.3.2023)
- Lovdata (FOR-2003-07-04-1063) Forskrift om handel med gjødning og kalkingsmidler mv. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-1063> (14.4.2023)
- Lovdata (FOR 2004-06-01-931) Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931> (12.10.2023)
- Landbruksdirektoratet (2018a) Forslag til gjødselvarerforskrift 15.3.2018 revidert 4.10.2018 [file:///C:/Users/evbr/Downloads/Forslag%20til%20gj%C3%B8dselvarerforskrift%20150318%20revidert%20041018%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/evbr/Downloads/Forslag%20til%20gj%C3%B8dselvarerforskrift%20150318%20revidert%20041018%20(1).pdf) (2.5.2023)
- Landbruksdirektoratet (2018b) Forslag til gjødselbrukforskrift 15.3.2018 revidert 4.10.2018 [file:///C:/Users/evbr/Downloads/Forslag%20til%20gj%C3%B8dselbrukforskrift%20150318%20revidert%20041018%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/evbr/Downloads/Forslag%20til%20gj%C3%B8dselbrukforskrift%20150318%20revidert%20041018%20(3).pdf) (2.5.2023)
- Mattilsynet (2017) Kadmium i mineralgjødning. Resultat av overvåkingsprogram 2015. [https://www.mattilsynet.no/planter\\_og\\_dyrking/gjodsel\\_jord\\_og\\_dyrkingsmedier/mineralgjodsel\\_og\\_kalk/kadmium\\_i\\_mineralgjodsel\\_2015.27667/binary/Kadmium%20i%20mineralgj%C3%B8dsel%202015](https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/gjodsel_jord_og_dyrkingsmedier/mineralgjodsel_og_kalk/kadmium_i_mineralgjodsel_2015.27667/binary/Kadmium%20i%20mineralgj%C3%B8dsel%202015) (14.4.2023)
- NIBIO (2023) Gjødningshåndbok. <https://www.nibio.no/tema/jord/gjodslingshandbok?locationfilter=true> (20.3.2023)
- NS-EN ISO 7888 (1993) Vannundersøkelse - Bestemmelse av konduktivitet. Standard Norge
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS, Dean LA (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular Nr 939*, US Gov Print Office, Washington, DC, sider 1-19
- Silva MS, Kröckel S, Prabhu PAJ, Koppe W, Ørnsrud R, Waagbø R, Araujo P, Amlund H (2019) Apparent availability of zinc, selenium and manganese as inorganic metal salts or organic forms in plantbased diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503: 562-570
- Uhlig C, Haugland E (2007) Gjødning kvalitet av fiskeslam og fiskeensilasje fra landbasert røyeoppdrett for dyrking av timotei (*Phleum pratense*). *Bioforsk FOKUS* (2) sider 53-56
- Vangdal E, Kvamm-Lichtenfeldt K, Sørheim R, Svalheim Ø (2014) Fiskeslam fra oppdrettsanlegg. Gjødning til planter eller råstoff for biogass? *Bioforsk Rapport* 9 (27) 30 sider
- Verbeeck M, Salaets P, Smolders E (2020) Trace element concentrations in mineral phosphate fertilizers used in Europe: A balanced survey. *Science of the Total Environment* 712: 136419

- Ytrestøyl T, Aas TS, Nerdal KS, Berge GM (2016) Karakterisering av slam fra tre kommersielle smoltanlegg gjennom ett produksjonsår: Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller. Nofima Rapport 33/2016, 28 sider + vedlegg
- Aas TS (2021) Kunnskapsgrunnlag – Slam fra lakseoppdrett. Nofima Rapport 23/2021. 14 sider
- Aas TS, Ytrestøyl T, Berge GM (2016) Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks. Nofima Rapport 32/2016. 19 sider
- Aas TS, Åsgård T (2017) Estimert innhold av næringsstoff og energi i fôrspill og faeces fra norsk lakseoppdrett. Nofima Rapport 18/2017. 8 sider
- Aasen I (1997) Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrningar hos kulturplanter. Årsaker – symptom – rådgjerder. Landbruksforlaget 96 sider + vedlegg

# Vedlegg

Tabell V1. Gjennomsnitt, standardavvik, minimum- og maksimumsverdier av utvalgte parametere i mekanisk avvannet fiskeslam uten påfølgende tørking fra smolt- og postsmoltproduksjon målt i tidsperioden mellom 2010 og 2023

Parameter	Enhet	Antall prøver	Gjennomsnitt	Standard avvik	Minimum	Maksimum
Tørrstoff	%	15	15,3	5,8	7,3	25,3
Organisk materiale	% av tørrstoff	10	82,4	4,4	74,8	88,1
pH		12	5,4	0,4	4,6	5,9
Elektrisk ledningsevne	mS/m	9	212	47	150	300
Nitrogen	g/kg tørrstoff	15	68,5	15,3	42,0	110,0
NH <sub>4</sub> -N	g/kg tørrstoff	10	10,2	3,5	3,7	15,0
NO <sub>3</sub> -N	g/kg tørrstoff	9	0,0051	0,0103	0	0,0270
NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	% av total-N	10	14,9	5,1	8,5	24,6
C/N-forhold		11	6,2	1,9	2,8	10,1
Fosfor, total	g/kg tørrstoff	15	31,5	9,9	19,3	53,0
N/P-forhold		15	2,4	0,8	1,2	3,7
P-AL	% av total-P	7	36	10	18	50
Olsen P	% av total-P	1	5,9			
Kalsium, total	g/kg tørrstoff	15	65,5	26,1	34,3	120,0
Ca/P		15	2,0	0,4	1,6	3,0
Ca-AL	% av total-Ca	7	39	6,8	27	48
Kalium, total	g/kg tørrstoff	15	2,0	1,9	0,8	8,2
N/K-forhold						
Magnesium, total	g/kg tørrstoff	10	3,4	1,2	1,5	5,7
Svovel, total	g/kg tørrstoff	10	6,3	1,7	3,6	9,8
Natrium, total	g/kg tørrstoff	12	4,0	2,8	0,7	9,0
Klorid	g/kg tørrstoff	8	1,6	1,9	0,0	5,5
Jern	g/kg tørrstoff	13	1,2	0,4	0,7	1,8
Aluminium	g/kg tørrstoff	12	0,5	0,3	0,0	1,0
Kadmium	mg/kg tørrstoff	14	0,8	0,3	0,5	1,7
Kadmium/fosfor	mg Cd/kg P	12	26,0	7,8	15,1	43,6
Bly	mg/kg tørrstoff	9	1,5	1,5	0,6	5,1
Kvikksølv	mg/kg tørrstoff	11	0,1	0,2	0,0	0,8
Nikkel	mg/kg tørrstoff	10	2,2	1,6	0,7	6,2
Sink	mg/kg tørrstoff	15	559	213	161	930
Kobber	mg/kg tørrstoff	12	26,8	6,9	17,0	40,0
Krom	mg/kg tørrstoff	9	7,4	3,5	2,8	13,0
Arsen	mg/kg tørrstoff	5	2,4	0,9	1,3	3,3



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.