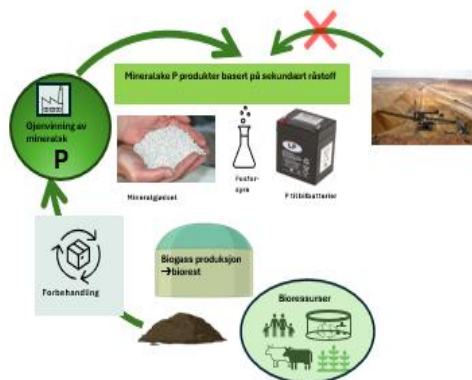


Veier til å resirkulere P-rike restråstoff til nye verdikjeder

Teknologi for gjenvinning av mineralsk fosfor og kartlegging av markeds-
muligheter for gjenbruk av resirkulerte produkter



Samarbeid med:



Finansiell støtte:



Trøndelag
fylkeskommune



Innovasjon
Norge

TITTEL:

Veier til å resirkulere P-rike restråstoff til nye verdikjeder

Teknologi for gjenvinning av mineralisk fosfor og kartlegging av markedsmuligheter for gjenbruk av resirkulerte produkter.

FORFATTERE:

Eggen, T., Kusoffsky, E., Rogstrand, G., Fischer, E., Fløan, T., Andersen, M., Brenden, D., Haarr, A., Jørem, Ø., Norum, T., Pedersen, R.E., Røed, K., Solberg, H., Svenningsen, J.A.,

DATO: 27.10.2026	RAPPORT NR. Nr. 1	TILGJENGELIGHET: Åpen	PROSJEKT.	SAKSNR
ISBN: 978-82-695121		ISSN:	ANTALL SIDER: 33	ANTALL VEDLEGG:
PROSJEKTEIER: Ecopro AS			KONTAKTPERSON: Tore Fløan, Ecopro, Prosjekteier Trine Eggen, NIBIO, Prosjektleder	
STIKKORD: Fosfor, mineralisk fosfor produkter, fosfor-gjenvinning, sirkulærøkonomi, nye verdikjeder, markeds, teknologiløsninger, barrierer				
FORSIDEFOTO/ILLUSTRASJON: KI-Generert illustrasjon. Foto mineralgjødsel: Jon Schärer, Bilde El-batteri: Annonse Thansen, Foto fosfatgruve: https://en.wikipedia.org/wiki/Mining_industry_of_Togo				

SAMMENDRAG:

Økende volum av fosforrike bioressurser, strengere regelverk og begrensede avsetningsmuligheter i landbruket, har gjort håndteringen av disse bioressursene til en betydelig utfordring i Norge. Store utfordringer trenger store visjoner, og prosjektets visjon har vært ambisiøs, «Nye verdikjeder for resirkulert fosfor til et betalingsvillig marked». Prosjektet har hatt fokus på avløpsslam og fiskeslam, men er relevant alle typer fosforrike bioressurser. For å lykkes ble næringsaktører langs hele verdikjedene fra råstoff til marked, inkludert i prosjektet: Ecopro (biogassvirksomhet), Norsk Vann (avløpsbransjen), NCE Aquatech cluster (sjømatnæringa), civac (industriklynge, resirkulering av ressurser), Solberg Industri (kjemikalieleverandør, marked for resirkulerte mineraliske P-produkter), Yara (gjødsel- og kjemikalieselskap, marked), og finansmarkedet med fokus på grønn finansiering (Danske Bank).

Leveransene for prosjektet var: i) identifisere mineraliske fosfor-produkter og nye verdikjeder som ikke konkurrerer med landbruket egne ressurser, ii) økt verdiskaping av fosforrike sekundære råvarer, iii) fjerne begrensningen for investering og utvidelse for næringer hvor høye kostnadene ved håndtering av råstoffene har vært et hinder, iv) legge grunnlaget for etablering av et anlegg for håndtering og prosessering av bioråstoffene i regionen (Trøndelag) iv) forbedring av organisering og delingskultur for data og informasjon, til fordel for fremtidig utvikling av vitenskapelig baserte forskrifter. Et bredt spekter av teknologiprosesser – ulike teknologimodenhet, forbehandling av organisk materiale og mineraliske P produkter - ble vurdert opp mot ulike kriterier før en teknoøkonomisk vurdering ble gjort for to ulike case-studier. En case-studie var tenkt lokalisert på Østlandet, og basert på avløpsslam i et befolkningstett område med stort P potensiale. Det andre case-studie, var tenkt lokalisert i Trøndelag. Dette var tilpasset bruk av ulike typer råstoffer, og teknologiløsningen var modulbasert slik at størrelse kan tilpasses avhengig av råmaterialetilgangen i en region. For begge casene ble det gjort en overordnet teknologivurdering i henhold til EUs taksonomiregelverk for grønn finansiering. For å lykkes med en økonomisk, bærekraftig og trygg resirkulering av fosfor fra organiske bioressurser, må ulike flaskehalser /barrierer identifisere, og det var også del av prosjektet.

Viktig lærdom fra prosjektet er listet under.

- Fiskeslam og avløpsslam er begge P-rike ressurser, men likevel noen viktige ulikheter.
 - For avløpsslam, relativt sikre data for dagens avsetning og bruksområder.
 - For fiskeslam, estimert tilgjengelig P-mengden har blitt betydelig redusert som følge av at mye av P er vannløst og dermed krevende å fange. Det antas at oppsamlet volum vil øke betydelig med årene, men omfang og når det skjer, er usikkert.

- Avløpsslam har lang tradisjon for kartlegging av uønskede stoffer/miljøgifter, har regulatoriske begrensninger som grenseverdier for organiske miljøgifter og bruksbegrensninger, mens nasjonalt kan fiskeslam fra ferskvann brukes i landbruket uten bruksbegrensninger og grenseverdier for organiske miljøgifter.
- Avløpsslam kan være råvare for CMC13, 14 og 15, og er etablert i praksis, mens en vurdering av om tilsvarende skal etableres for fiskeslam, er under vurdering.
- Prioritering av mineralske P-produkt.
 - Prosjektet har prioritert marked med høy betalingsvilje gitt samme kvalitet som dagens produkt; fosforsyre, kalsiumfosfat og elementært fosfor. Ikke bare grønt – men «dollar-grønt».
- Vurdering av teknologiløsninger.
 - Det finnes et stort spekter av teknologiløsninger for gjenvinning av fosfor med stor variasjon av modenhet, forbehandlingsløsninger og ulike mineralsk P-produkter. I prosjektet ble teknologimodenhet vektlagt i valg eksemplifiserende case-studier. For case-studie på Østlandet ble det valgt monoforbrenning og ekstrahering av P fra askefraksjonen mens i for case-studie Trøndelag ble det valgt HTC (hydrotermisk karbonisering) med våtekstraksjon av P.
 - Gate-fee er sterkt koblet til fosfor på verdensmarkedet og kan variere kraftig.
 - Investeringsbehov for case-studie Østlandet er basert på referanseanlegg i Tyskland ca 210 mill Euro og med en Gate-fee på ca 130 Euro/tonn (25% ts) (basert på kurs på 10,39).
 - Investeringsbehov for case-studie Trøndelag er basert på produsentenes estimater ca 5 mill Euro og med en Gate-fee på ca 52 Euro/tonn (25%).
I begge tilfeller er estimatet av Gate-fee sterkt avhengig av verdensmarkedsprisen på fosfor, som i disse eksemplene antas å være 600 Euro/tonn kalsiumfosfat
- Temaet barrierer og hva som skal til for å overkomme disse, ble diskutert gjennom hele prosjektet. I løpet av prosjektperioden ser vi tydelig det er nødvendig med et tankeskifte – et paradigmeskifte.
- Viktige barrierer:
 - Lav modenheten og høy usikkerhet i kostnadsbildet på investering av driftskostnader.
 - Tilgang til risikokapital i prosjekter til pilotering av teknologi med lav modenhet.
 - Fragmentert ressursbase og komplekse verdikjeder.
 - Manglende oversikt over tilgjengelige materialstrømmer.
 - Logistikk og behov for forhåndsbehandling.
 - Kompetanse og ansvar for kjemiske prosesser.
 - Svakt og umodent marked for resirkulerte fosforprodukter
 - Å tenke løsninger for hele verdikjeden fra råstoff til sluttprodukt og marked
 - Å finne løsninger på barrierer på tvers av verdikjeder; teknologi uten marked; marked uten regelverk, regelverk uten økonomiske signaler, og økonomiske virkemidler uten verdikjedelogikk.
 - Det viktigste spørsmålet for å lykkes med gjenvinning av mineralsk fosfor er hvilke verdikjeder trenger vi – og hvilke rammer må på plass for at de skal fungere. Dette krever tid, systemforståelse og arbeid på tvers av sektorer, fag og mellom ulike type forvaltning, kommunale og private næringsaktører og FoU-miljøer. Den type prosjekter og arbeid som sjelden lønner seg for enkeltsiloer (uten kobling til resten av systemet som det er avhengig av), men som er helt nødvendig for samfunnets omstillingsevne.
 - Til tross for at det investeres betydelige ressurser i store FoU og FoUI prosjekter som dekker flere deler av verdikjeden samtidig, er det disse løsningene vi trenger? Det er kanskje ikke mangelen på FoUI som er problemet, men fraværet av arbeid som tar ansvar for helheten utenfor prosjektets rammer.
 - Regelverk med dokumentasjonskrav til kvalitet og uønskede stoffer er nødvendig for at et produkt har tillitt i markedet.
 - Det er behov for mer kunnskap og et større datagrunnlag for gjennomføring av risikovurderinger som forvaltningen trenger til regelverksutvikling for en bærekraftig og økonomisk sirkulærøkonomi.
 - Det er behov for at eksisterende og kommende data og kunnskap for bruk for risikovurderinger samles og er lett tilgjengelig for forvaltning og de som gjennomfører risikovurderinger.
- Det er høy risiko knyttet til å lykkes med å gjenvinne fosfor fra fosfor-rike organiske ressurser til et betalingsvillig marked. Det er ikke nok å være grønt, det må være «dollargrønt». Den risikoen kan ikke bæres av én eller få aktører, når verdien tilfaller (alle næringsaktører i en verdikjede og) hele samfunnet.
- Veien videre
 - Funnene fra prosjektet er svært interessante. Samfunnet har stort behov for å resirkulere mer av avfallsstrømmene hvor P er en av de kritiske mineraler som EUs land har svært begrenset naturlig tilgang til. Men barrierene er mange og krevende.
 - Det er i prosjektet bygget kontakt, tillit og kompetanse på tvers av ulike næringer som har deltatt i konsortiet. Tverrsektorielt samarbeid på dette nivået er relativt unikt og utgjør en styrke. Dette er kunnskap vi kan ta med oss i et eventuelt videre arbeid. Basert på dette har vi tro på at helt eller deler av konsortiet vil benytte funnene og kunnskapen, slik at en på sikt finner løsninger som er økonomisk og miljømessig bærekraftige gjennom målrettet arbeid og nye prosjekter.

FORORD

Situasjonen i Norge, med større mengder fosfor (P) rike bioressurser enn hva landbruket kan ta imot, medfører store kostnader og problemer for å finne løsninger til omsetning slike ressurser. Nå etterlyser både kommunale/offentlige og private næringsaktører, og forvaltningen løsninger. Situasjonen er i ferd med å bli kritisk, og det haster med å finne gode løsninger; både fremtidens løsninger og produkter for et betalingsvillig marked, men også å finne midlertidige løsninger mens en rigger seg for framtidens løsninger.

Dette prosjektet, «*Veier til å resirkulere P-rike restråstoff til nye verdikjeder – teknologi for gjenvinning av mineralsk fosfor og kartlegging av markedsmuligheter for gjenbruk av resirkulerte produkter*», er et bidrag for å tenke nytt for å utvikle løsninger for problemene som har oppstått.

Prosjektet er drevet av et bredt samarbeid mellom næringsaktører fra ulike sektorer. Disse representerer hele verdikjeden fra råstoffleverandører - avløpsslam og slam fra oppdrettsanlegg og slakterier, nedstrøms behandlingsløsninger som biogassproduksjon, og markedsaktører som i dag importerer mineralske fosforprodukter. I tillegg, var finansnæringen med kompetanse på virkemidler som EU taksonomiregelverket og grønn finansiering med i prosjektet.

Sammen med FoU-miljøene RISE Research Institutes of Sweden og NIBIO Norsk Institutt for bioøkonomi, har næringsaktørene vurdert: i) teknologiske løsninger og deres modenhetsgrad, ii) ulike mineralske P-sluttprodukter analysert opp mot relevante markedsområder og pris, iii) gjeldende regelverk, iv) barrierer, muligheter og tilgjengelige virkemidler, og v) to ulike geografiske case med ulike teknologiløsninger hvor det er gjennomført en teknoøkonomisk vurdering.

Prosjekt har ikke blitt en realitet uten støtte og heiarop fra Innovasjon Norge Trøndelag og Trøndelag fylkeskommune under prosjektutforming, og deres finansering, så en stor stor takk til dem.

Denne rapporten er en modifisert versjon av sluttrapportering til Innovasjon Norge Trøndelag og Trøndelag fylkeskommune. Alt annen kunnskap utarbeidet i prosjekt holdes lukket for prosjektgruppa, som kan bruke den for videre utvikling.

BIDRAGSYTERE TIL PROSJEKTET HAR VÆRT:

Prosjekteier: Ecopro AS v/ Tore Fløan

Prosjektleder på vegne av Ecopro: NIBIO v/ Trine Eggen

Prosjektpartnere:

Norsk Vann v/ Arne Haarr

NCE aquatech cluster v/ Morten Andersen og Jon A. Svenningsen

Yara International AS v/ Knut Røed og Øystein Jørem

Solberg Industri AS v/ Halfdan Solberg

Danske Bank v/ Rolf Einar Pedersen og Daniel Brenden

Civac v/ Trond Norum

Referansegruppe:

IVAR v/ Geir Skogerbø

Tønsberg Renseanlegg v/ Jørgen Fidjeland og Petter Silden Jahre

Bergen kommune v/ Ingvild Sveinsgjerd Fenne

Oslo kommune v/Lars J. Hem og Anette Margaretha Åkerstrøm

Andfjord Salmon AS v/Erling Bøhn Hilstad og Andreas Wæhre

Multigen v/ Kristoffer Høyning

FoU-miljøer:

RISE. Elin Kusoffsky (prosjektleder fra RISE) & Gustav Rogstrand (Avdelingssjef for seksjonen for prosess- og miljøteknikk ved Institutt for landbruksmat og biovitenskap. I tillegg har følgende bidratt: Erik Fisher, Nils Finnstedt, Caroline Hillforth, Elin Ulinder.

NIBIO. Norsk Institutt for Bioøkonomi. Trine Eggen (prosjektleder for prosjektet). I tillegg har følgende bidratt: Hanne Ugstad, Kristian Bjerke (nå Statistisk Sentralbyrå), Simen Wilsher Lohre, Monica Fongen.

Finansiell støtte fra:

Innovasjon Norge Trøndelag: kontaktpersoner Torill Margrete Mevik & Roger Hatling

Trøndelag fylkeskommune: kontaktpersoner Ellinor Bævre Heggset & Odd Arne Bratland

Forord	4
Innledning	8
Beskrivelse av situasjonen	8
Regelverket	8
For lite spredeareal for P-rikt gjødsel og gjødsevarer	9
Økt mengder P-rike bioressurser	9
Dagens situasjon med hensyn til håndtering av bioressurser	10
Mål og leveranser i prosjektet	10
Hovedmål og delmål	10
Leveranser i prosjektet	11
Bærekraftsmål	11
Konseptutvikling	11
Marked for prioriterte resirkulerte mineralske P produkter	12
Regelverk og regelverksutvikling for resirkulering av bioressurser til nye verdikjeder – avløpsslam og fiskeslam	14
Situasjonsbeskrivelse avløpsslam og fiskeslam	14
Nasjonalt gjødselregelverk og miljøgifter	15
Mattilsynet og Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM) sin rolle innen sirkulærøkonomi....	16
Analysen av avløpsslam og fiskeslam	17
Sammenstilling av utvalgte miljøgifter i avløpsslam og fiskeslam	19
Teknologi vurdering, p-gjenvinningspotensialet og prioritering for case-studier	21
Fra mange teknologier til to case-studier/lokaliteter	21
Case 1 Forbrenning & våtkjemisk ekstraksjon fra aske fra avløpsslam - sluttprodukt kalsiumfosfat (CaP)	22
Case 2 HTC (hydrotermisk karbonisering) & utfelling av fosfor fra væskefraksjon – ulike råstoff som fiskeslam og avløpsslam - sluttprodukt CaP	22
Gjenvinningspotensiale for P i avløpsslam og fiskeslam	23
Taksonomivurdering	23
EU taksonomiregelverk – grønn finansiering	23
Barrierer	24
Barrierer og løsninger knyttet til våre case-studier	24
Barrierer på langs og på tvers av verdikjeder	25
Kunnskap og datagrunnlag for regelverksutvikling	27
Forlag veien videre	27
Forlag veien videre ressurser og sluttprodukter	27
Forlag veien videre – teknologiløsninger	28
Leveranser i prosjektet	28
Resultater i forhold til leveranser	28
Beskrivelse av prosjektgjennomføring	31

Arbeidsform.....	32
Formidling.....	32
Utvalgte referanser	33

INNLEDNING

Situasjonen i Norge, med større mengder fosfor (P) rike bioressurser enn hva landbruket kan ta imot, medfører store kostnader og problemer for å finne løsninger til omsetning slike ressurser.

At en livsviktig og kritisk råvare som fosfor – spesielt i disse geopolitiske urolige tider, er et problem, er et stort paradoks. Det er flere årsaker til dette, blant annet at nye regelverk setter begrensninger på bruksområdene og muligheten for landbruket å ta imot, samtidig som mengde P-rike bioressurser øker, og at en ikke tidlig nok har gjort grep for å snu et problem til en verdifull ressurs.

Nå etterlyser både kommunale og private næringsaktører, og forvaltningen løsninger. Situasjonen er i ferd med å bli kritisk, og en må kanskje finne midlertidige løsninger mens en rigger seg for framtidens enda mer bærekraftige og økonomiske løsninger.

Dette prosjektet, «*Veier til å resirkulere P-rike restråstoff til nye verdikjeder – teknologi for gjenvinning av mineralisk fosfor og kartlegging av markedsmuligheter for gjenbruk av resirkulerte produkter*», er et bidrag for å tenke nytt og å utvikle nye løsninger.

Prosjektet er drevet av et bredt samarbeid mellom næringsaktører fra ulike sektorer. Disse representerer hele verdikjeden fra råstoffleverandører - avløpsslam og slam fra oppdrettsanlegg og slakterier, nedstrøms behandlingsløsninger som biogassproduksjon, og markedsaktører som i dag importerer mineralske fosforprodukter. I tillegg, var finansnæringen med kompetanse på virkemidler som EU taksonomiregelverket og grønn finansiering med i prosjektet.

Sammen med FoU miljøene RISE Research Institutes of Sweden og NIBIO Norsk Institutt for bioøkonomi, har næringsaktørene vurdert: i) teknologiske løsninger og deres modenhetsgrad, ii) ulike mineralske P sluttprodukter analysert opp mot relevante markedsområder og pris, iii) gjeldende regelverk, iv) barrierer, muligheter og tilgjengelige virkemidler, og v) to ulike geografiske case med ulike teknologiløsninger hvor det er gjennomført en teknoøkonomisk vurdering.

Gjenvinning av mineralisk fosfor er spesielt markedsmessig attraktivt fordi fosfor er en kritisk og strategisk råvare i EU, med høy geopolitisk risiko knyttet til importavhengighet og konsentrert global produksjon. Mineralisk fosfor er et standardiserbart høyverdig produkt som kan erstatte importert jomfruelig fosfor og bidra til økt europeisk egenforsyning og forsyningssikkerhet, uavhengig av avfallsråstoffets opprinnelse. Om en kan produsere mineralske P produkter som har tilgang til et felles EU marked gjennom CE merking under EUs gjødselregelverk, gir det en betydelig skalerings og eksportpotensial.

Det er et mål for landbruket å bevare organisk materiale til jordforbedring og opprettholdelse av god jordhelse. Der det er relevant og mulig, ønsker en både å behold organisk materiale og å gjenvinne mineralisk P. På lengre sikt kan det være relevant å utvikle teknologiløsninger som i størst mulig grad bevarer eller tilbakefører organisk materiale, parallelt med effektiv gjenvinning av fosfor. Det er derfor strategisk viktig å utforske løsninger som kan kombinere disse hensynene.

Det krever et langsiktig og helhetlig perspektiv, med tiltak innen mange sektorer, for å sikre at resirkulerte organiske sluttprodukt er trygge for miljø og helse.

Beskrivelse av situasjonen

Regelverket

Formålet med det nye gjødselregelverket (gjødselwareforskriften og gjødselbrukforskriften) er henholdsvis å

- Sikre trygge, sirkulære råvarer: Det skal bli enklere å produsere, selge og importere gjødsel av god kvalitet, samtidig som vi beskytter miljøet og helsen til både mennesker, dyr og planter, og
- Sikre miljøvennlig lagring og bruk: Regelverket skal gjøre det lettere å bruke gjødsel som en ressurs, samtidig som vi hindrer forurensning, smitte og helseskader under lagring og spredning. Forskriften skal legge til rette for god avling og god utnytting av næringsstoffer i gjødselvarer og jordsmonn, og begrense tap av næringsstoffer til vassdrag og luft.

Forskriften skal bidra til en miljøforsvarlig forvaltning av jordsmonnet og ivareta hensynet til biologisk mangfold.

Et mål for revideringen var å tilpasse gjødselregelverket til behovet for gjødsling av landbruksareal og å bidra til å nå målet om god økologisk tilstand i alle vannforekomster. Der det gamle regelverket tillot tilførsel av organisk materiale og næringsstoffer i mengder som oversteg plantenes næringsbehov, med økt risiko for utlekking av næringsstoffer til vannforekomstene, er det nye regelverket basert på prinsippet om balansejødsling. Det betyr at det ikke skal tilføres mer næringsstoffer enn den mengden en normal avling fjerner. Det betyr at tillatt mengde tilførte næringsstoffer fra all gjødsel blir redusert sammenlignet med tidligere. For P er det innført maksimale mengder tilført via både mineralgjødsel og organisk gjødsel.

Jordbruksjord med innhold av plantetilgjengelig P (P-AL) > 15 har ikke behov for ekstra tilført P for å gi en god avling. I områder med mye husdyrgjødsel, typisk langs kysten fra Trøndelag til Sørlandet, har en stor andel av jorda P-AL > 15. Det er ikke tillatt å bruke avløpsslam på arealer med P-AL > 15, men tilsvarende restriksjoner ikke gjelder ikke for annen gjødsel.

Spredesesongen for organisk gjødsel blir innskrenket til tidsrommet fra 1. mars til 1. september, mot tidligere siste frist 1. november. Dette medfører økt behov for mellomlagring, noe som allerede er en flaskehals for produsentene.

For lite spredeareal for P-rikt gjødsel og gjødselvarer

I de husdyrtette områder med overskudd av husdyrgjødsel (spesielt Jæren og steder langs kysten) må overskytende næringsstoffer fra husdyrgjødsel transporteres ut fra regionen, dersom ikke husdyrholdet skal reduseres. Det nye regelverket medfører dermed økt etterspørsel etter tilgjengelige spredearealer for organiske gjødselvarer. Organisk gjødsel som avløpsslam eller fiskeslam må i disse områdene finne annen avsetning, eller transporteres ut av regionen.

Ledig spredeareal i andre deler av landet vil dermed være attraktivt som spredeareal fra regioner med overskuddsgjødsel.

Allerede i dag er det et press på levering av ulike P-rike gjødselprodukter til landbruket (som av mange aktører har vært sett på som eneste marked for slik avsetning):

- Bøndernes egen husdyrgjødsel som de er avhengig av å bruke for å opprettholde dyrebestanden (tilstrekkelig spredeareal per dyr)
- Biorest fra biogassanlegg – eget gårdsanlegg eller til nærliggende anlegg hvor en har avtale om levering.
- Kompost av matavfall, husdyrgjødsel, biorest
- ⊖ Avvannet avløpsslam

Økt mengder P-rike bioressurser

Tall fra Miljødirektoratet antyder et årlig nasjonalt overskudd på mer enn 20 000 tonn P i organisk gjødsel, sammenlignet med behovet.

Statsforvalteren i Vestland antyder at det nye gjødselregelverket med sterkere begrensninger på tilført mengde P til landbruk samt parker og hager, vil øke gårdsbrukenes behov for spredeareal med 60%.

Strengere EU-regelverk vil føre til økt produksjon av P-rike bioressurser som biorest og avløpsslam. Dette gjelder IED - Industrial Emissions Directive og revidert avløpsdirektiv. I tillegg kommer nasjonale krav til rensing av prosessvann fra landbasert oppdrett, og evt kommende krav til oppsamling av slam fra havbruk/oppdrett i sjø.

I mai 2025 bad Stortinget regjeringa om å legge for økt biogassproduksjon i Norge. Det skulle lages en plan for å øke biogassproduksjon til 5 TWh i 2030 og 10 TWh i 2035. Dette vil gi en betydelig økning i biorest og P-rike bioressurser som også skal finne et marked.

Dagens situasjon med hensyn til håndtering av bioressurser

- Lite spredeareal i landbruket og økende mengder P-rike bioressurser
- Avløpsslam har bruksbegrensninger som gjør at potensialet for utnyttelse i landbruket i praksis er begrenset til kornarealer.
- Fiskeslam er i utgangspunktet ikke balansert i forhold til planter behov, men brukes i dag blant annet som innsatsfaktor til gjødselvarer. Det er mange FoU- og næringsnære-prosjekter knyttet til å finne mer verdifulle produkter, men per i dag har ikke fiskeslam et stort marked, og enda få alternativer for anvendelse. For å kunne brukes for eksempel til førtilsetning, kreves det mer dokumentasjon og et regelverk som åpner for det.
- Statsforvalterne i noen fylker erfarer at mye av bioressursene blir deponert som organisk avfall, jmf. Avfallsregelverket (Forurensningsloven §32 og avfallsforskriften §§10a-13 og 10a-14, som i dag klassifiserer biorest som avfall).
- Statsforvalterne har avdekket enkelte behandlingsanlegg for bioressurser som ikke er i tråd med regelverk eller tillatelse.
- Kostnadene for behandling og avsetning av bioressurser er økende.
- Etablering av nye biogassanlegg eller annen type moderne slambehandling er kapitalintensivt, og krever derfor store mengder råvarer i form av organisk avfall eller avløpsslam. Det betyr i praksis en investering der flere renseanlegg og kommuner må gå sammen om å etablere anlegg, eventuelt industrielle aktører som ønsker å investere. Dette er tidkrevende prosesser. I tillegg kommer usikkerhet med hensyn til teknologivalg og strategi for utnyttelse for ressursene i ferdig behandlet biorest eller avløpsslam.

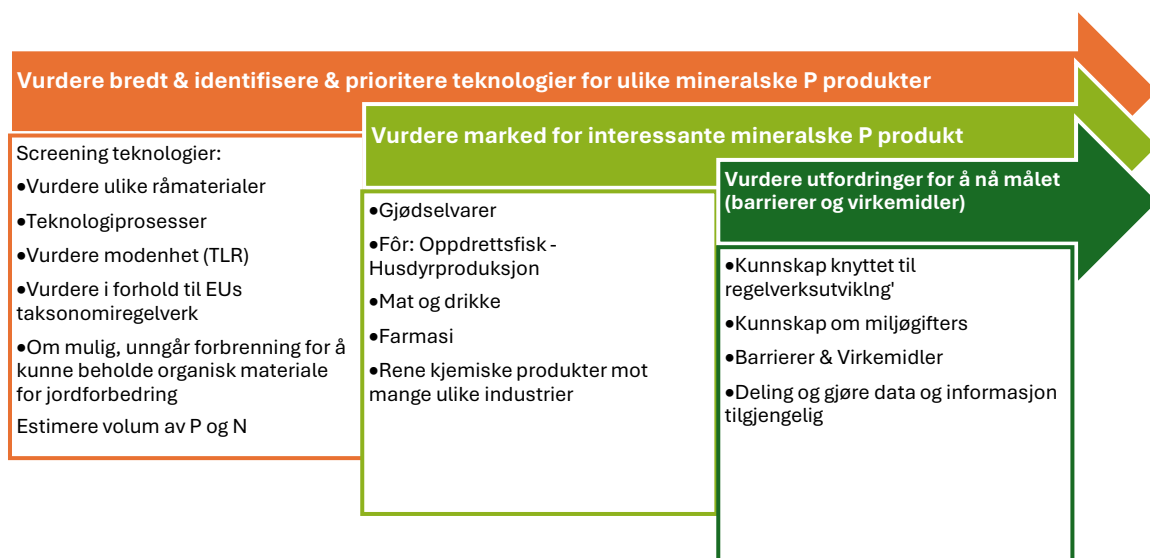
Gitt at det er allerede i dag et stort P-overskudd i Norge, og at mengden P-rike bioressurser vil øke betydelig i nær framtid, haster det å finne nye løsninger for å finne nye markeder for disse ressursene.

MÅL OG LEVERANSER I PROSJEKTET

Hovedmål og delmål

Hovedmål: Prosjektets hovedmål er å etablere nye verdikjeder for gjenvunnet mineralsk fosfor fra sekundære råvarer til et lønnsomt marked.

Prosjektets delmål er illustrert i Figur 1.



Figur 1. Delmål i prosjektet.

Prosjektet har valgt å fokusere på avløpsslam og fiskeslam, som i tillegg til fiskeslam fra oppdrettsanlegg, også vil inkludere slam fra slakterier.

Seks leveranser og tre bærekraftsmål var adressert i prosjektsøknaden. Disse er svart ut under punktet Svar på leveranser.

Leveranser i prosjektet

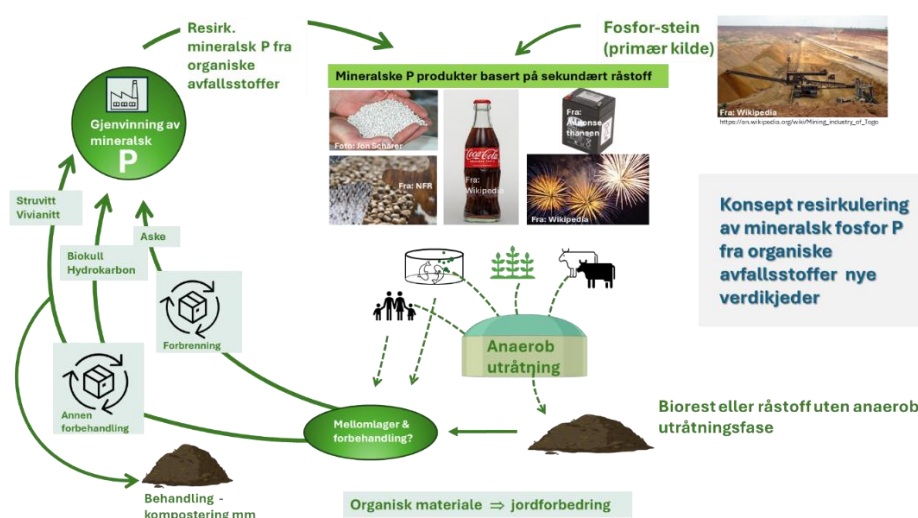
1. Nye produkter og en ny verdikjede som ikke konkurrerer med landbruket og dets egne ressurser (gjødsel).
2. Økt verdiskaping av fosforrike sekundære råvarer – noe som i dag utgjør et problem og en betydelig kostnad for industrien
3. Ved å skape nye verdikjeder for sekundære råvarer, fjernes en flaskehals for utviklingsindustrier der de høye kostnadene ved håndtering av avfallsråvarer i dag utgjør et problem.
4. Forbedring av organisering og delingskultur for data og informasjon, til fordel for fremtidig utvikling av vitenskapelig baserte forskrifter.
5. Trøndelag, som i tillegg til matavfall og kloakkslam (vanlig i alle regioner), har en stor landbruks- og oppdrettsnæring, og tilsvarende store mengder bioråstoff. For enkelte næringer er de høye kostnadene ved håndtering av råstoffene et hinder for videre investeringer og utvidelse. Prosjektet vil dermed redusere slike begrensninger for utvidelse.
6. Å legge grunnlaget for etablering av anlegg for håndtering og prosessering av disse bioråstoffene i regionen.

Bærekraftsmål

1. Energieffektivisering
2. Resirkulering av ressurser
3. Redusere spredning av miljø- og helseskadelige stoffer
4. Beholde organisk materiale – og finne et marked - hvis mulig

KONSEPTUTVIKLING

I løpet av prosjektet ved mer innsikt og forståelse av, ble konseptet vårt tydeligere, spesielt sammenhengen mellom marked for sluttprodukter, regelverk og ulike forbehandlingsmetoder (Figur 2). Hvilke forbehandlingsmetoder er aktuelle? Hvilke sluttprodukt og dermed teknologiløsninger for å gjenvinne mineralsk P er mest interessante for å nå et marked? Det var et mål, hvis mulig teknologiske, å beholde organisk materiale som jordforbedrer i landbruket. Selv om det finnes teknologier som muliggjør det, må det være mulig å nå kvalitetskravene til et sluttprodukt.



Figur 2. Illustrasjon av konseptet i prosjektet: produksjon av ulike mineralske P produkter basert på sekundære råvarer – til ulike markeder – og ulike muligheter for forbehandling av råmateriale, for eksempel forbrenning til aske, pyrolyse eller termisk behandling til biokull og hydrokull, eller uttak av fosfor hvor en beholder organisk materiale.

MARKED FOR PRIORITERTE RESIRKULERTE MINERALSKE P PRODUKTER

Fosfor og fosfatbaserte forbindelser, grunnleggende innsatsfaktorer i en rekke samfunnskritiske sektorer, har særlig betydning innen landbruk og matproduksjon, men også vannbehandling og industriell kjemi innen en rekke sektorer. Det globale markedet for fosforbaserte produkter er derfor både volummessig stort og strategisk viktig.

Fosfor har lenge vært klassifisert som et kritisk stoff, og gitt de urolige geopolitiske tider, er gjenvinning av fosfor sett i lys av egenberedskap og mat- og fôrproduksjon, viktigere enn noen gang.

Med tanke på markedstilgang og pris, er det å identifisere resirkulerte mineralske sluttprodukter som kan inngå innen EUs gjødselverforordningen (EU FPR (2019/1009)), det mest interessante. EUs gjødselverforordning er en viktig del av satsingen på den sirkulære økonomien, og fjerner en del hindringer som har vært for omsetting av gjødselvarer mellom EØS-land.

I forordningen opereres det med:

- produktfunksjonskategorier (PFC) som forteller hva produktet er – funksjonen til produktet, altså hva produktet skal brukes til; for eksempel PFC 1 gjødsel, PFC 3 jordforbedringsmiddel, PFC 4 vekstmedie,
- komponentmaterialkategorier (CMC'er) som beskriver råstoffene og materialene som inngår, altså produktets ingredienser og opprinnelse. Det er for eksempel CMC 3 kompost, CMC 5 biorest, CMC 12 utfelte fosfatsalter, CMC 13 aske. Det klassifiserer materialer basert på behandlingsvei, ikke på råstoffets sektorielle opprinnelse.

Det er to CMC'er som er spesielt interessante; CMC 12 – utfelte fosfatsalter og CMC 15 – gjenvunnet høyrene materialer, og hvor materialet vurderes nærmest som et *kjemisk stoff* eller *produkt*, ikke som et restmateriale. CMC 15 er det minst "råstoff-orientert" av alle CMC-ene. CMC 13 – termisk oksidasjonsmaterialer som aske, er en forbehandlingsprosess. Aske er råmateriale for en rekke råmateriale mineralsk fosfor.

Basert på tilgjengelig informasjon om teknologiprosesser og mineralske P-produkter, ble marked og prisestimater for tre ulike produkter vurdert:

- fosforsyre (H_3PO_4) (CMC 15)
- kalsiumfosfat (CaP) (CMC 13)
- elementær fosfor (P4)

Disse stoffene representerer ulike ledd i fosforverdikjeden og har svært ulike markedsdynamikker, regulatoriske krav og anvendelsesområder (Tabell 1). Selv om struvitt ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) i utgangspunktet har samme regelverk som CaP, er det stor forskjell på markedstilgang og pris. Struvitt ansees som en mer langsomt tilgjengelig P-kilde og inngår som nisje-gjødsel.

Fordi struvitt også inneholder nitrogen og magnesium, er dette bra for økologisk landbruk, men gjør det vanskeligere å passe inn i gjødselplanlegging i konvensjonelt landbruk.

På kort sikt fremstår derfor CE-merkede gjødselprodukter og teknisk fosforsyre som de mest realistiske og kommersielt attraktive inngangsmarkedene. Fosforsyre kan produseres med utgangspunkt i utfelte fosfatsalter (CMC 12) og fosforrik aske (CMC 13). Hvis fosforsyren har en renhet høyere enn 95%, og er REACH registrert, kommer det inn under CMC 15 (Tabell 2).

Hvis fosforsyre fra avløpslam ikke godkjennes som CMC 15-komponent, kan den likevel brukes som kjemikalie i en industriell produksjonsprosess f.eks. produksjon av mineralgjødsel (MAP, DAP, NP-gjødsel osv.), men kan ikke settes på markedet som en del av et CE-merket EU-gjødselprodukt.

Viktig skille er at REACH regulerer om stoffet kan omsettes og brukes som kjemikalie, og FPR regulerer om det kan inngå i et CE merket gjødselprodukt.

Teknisk fosforsyre i konsentrasjoner på 75–85 prosent kan finne anvendelse innen vannbehandling, metalloverflatebehandling og industriell rengjøring, hvor renhetskravene er lavere enn i mat- og farmasisektoren, men hvor volumene fortsatt er betydelige. På mellomlang sikt kan ytterligere oppgradering åpne for drikkevannsrelaterte kvaliteter, mens høyrenhetsapplikasjoner innen batterier og elektronikk først vurderes som langsiktige opsjoner.

Tabell 1. Sammenstilling av informasjon om marked, prisestimer og reguleringer opp mot EUs gjødselvareforordning (EU 2019/1009) og REACH, for fosforsyre, kalsiumfosfat og elementær fosfor.

Produkt	Marked	Prisestimer og andel	Regulering relatert til eksport
Fosforsyre (H₃PO₄)	Sentralt knutepunktsforbindelsen i fosforøkonomien, med svært mange bruksområder: • Ca. 75 % av produksjonen brukes direkte eller indirekte i gjødselproduksjon, • Også innen vannbehandling, metalloverflatebehandling mm, og en mindre, men økende andel, anvendes i mat- og drikkevareindustrien.	Globalt produseres det anslagsvis <u>96–97 millioner tonn fosforsyre årlig</u> . Prisene på fosforsyre varierer betydelig med kvalitet og renhetsgrad, men ligger <u>typisk i intervallet 800–2 000 USD per tonn</u> .	EUs gjødselvareforordning CMC 15 Gjenvunnet materialer med høy renhet.
Kalsium-fosfat (CaP)	Også en annen viktig produktgruppe. Disse forbindelsene brukes både som: • Dyrefôr er det største sluttbrukssegmentet, etterfulgt av mat- og drikkevarer mm. • Også som gjødselkomponenter	Globale markedet estimert til <u>rundt 1,0 milliard USD i 2025</u> , med et <u>prisnivå på cirka 900–1 100 USD per tonn</u> .	EUs gjødselvareforordning CMC 12 Fosfatsalter & derivater.
Elementært fosfor (P₄)	• Forekommer hovedsakelig som hvit, rød eller svart fosfor. • Primært brukt som mellomprodukt i kjemisk industri; feks. Tennmidler, militære, pyrotekniske produkter, råstoff syntese syntese av fosforsyre, fosforhalider og organiske fosforforbindelser. • Marked preget av høy HMS-risiko, regulatorisk kompleksitet og betydelig prisvolatilitet. • Lite egnet som hovedmål for kommersialisering av fosfor gjenvunnet fra avløpsslam • Mer avanserte nisjer anvendes svart fosfor som halvledermaterialer i forskning og spesialisert elektronikk.	Det globale markedet for elementært fosfor er relativt begrenset, med en <u>estimert markedsverdi på rundt 3,8 milliarder USD i 2025 og et prisnivå på om lag 5 000 USD per tonn</u> .	Ikke aktuelt i som komponent i EUs gjødselvareforordning. REACH-registrering i henhold til krav for ulike marked.

Tabell 2. Sammenstilling informasjon om hvilke CMCer som avløpsslam kan inngå som råstoff for produksjon av fosforsyre som kan CE-merkes og godkjennes til eksponert innen EU.

CMC	Prosess	Produkt	Fosforsyre
CMC 12	Utfelling av fosfatsalter og derivater	Struvitt og fosfatutfelling fra slam kalsiumfosfat	Fosforsyre kan produseres fra utfelt fosfater
CMC 13	Termiske oksidasjonsmaterialer og derivater	Aske fra forbrenning av slam	Fosforsyre kan fremstilles fra fosforrik aske
CMC 15	Gjenvunnet materialer med høy renhet	Gjenvunnet fosforsyre ≥ 95% renhet	Direkte relevant for fosforsyre fra slam, krever REACH-registrering

REGELVERK OG REGELVERKSUTVIKLING FOR RESIRKULERING AV BIORESSURSER TIL NYE VERDIKJEDER – AVLØPSSLAM OG FISKESLAM

Situasjonsbeskrivelse avløpsslam og fiskeslam

Regulatorisk: Selv om avløpsslam og fiskeslam er begge P-rike råstoff, er det flere ulikheter, blant annet klassifisering og om de er godkjent til å være på positiv-listen til EUs gjødselvereforordning.

Mens avløpsslam er på positivlisten og kan være innsatsmateriale som kilde til for eksempel gjenvunnet fosfor som struvitt (CMC 12), aske (CMC 13) og høykvalitets fosforsyre (CMC 15) - gitt at de møter kvalitetskravene -, gjelder det per i dag ikke fiskeslam.

Dette skyldes at i arbeidet som ledet fram til EUs gjødselvereforordning, ble det prioritert materialstrømmer som allerede var regulert på EU nivå, var volum-messig dominerende, og der det fantes et bredt kunnskapsgrunnlag for potensiell risiko. Avløpsslam oppfylte alle disse kriteriene – fiskeslam gjorde det ikke.

JRC (Joint Research Centre), som er Europakommisjonens interne, uavhengige vitenskaps- og kunnskapstjeneste, som leverer evidensbasert, politisk nøytral faglig støtte til utvikling og revisjon av EU-regelverk, la stor vekt på tilgjengelig data om forurensning og mulighet for risikovurdering.

EU-kommisjonen foreslår nå en ny tolkning av animal-biproduktforordningen som inkluderer fiskeslam som animale biprodukt, og tillate noen av CMCEne.

Gitt at EU-landene har mindre interesse av fiskeslam som et råstoff enn Norge – som heller ikke er del av EU, er det desto viktigere at dokumentasjonen for en risikovurdering av fiskeslam er på plass. Med andre ord, det er viktig at aktører innen sjømatnæringen som i dag produserer, eller på sikt kommer til å produsere, fiskeslam bidrar til god dokumentasjon av fiskeslam. For gjennomføring av risikovurderinger er det behov for et godt tallgrunnlag som inkluderer data fra flere anlegg, og dokumentasjon fra flere kilder.

End-of-Waste-prinsippet i EU innebærer at et materiale må oppfylle kvalitets- og produktkravene som er satt, for å slutte å være avfall og kunne omsettes fritt som et produkt innen EU. Det betyr for eksempel produktet må passe inn i en godkjent CMC (f.eks. CMC 12, 13, 14 eller 15), og produksjonsprosessen, råstoffet og sluttproduktet må oppfylle krav til kvalitet, sikkerhet og sporbarhet. Dersom kravene ikke er oppfylt, vil materialet fortsatt kunne bli ansett som avfall eller et nasjonalt regulert materiale, og fri eksport inn i EU-markedet blir vanskeligere eller umulig.

I EUs nye avløpsdirektiv stilles det krav om gjenvinning av fosfor, og det fastsettes at det senere skal gjennomføres en vurdering av strengere krav også for gjenvinning av nitrogen, som kan bli innført.

Organiske miljøgifter: Når det gjelder dokumentasjon av miljøgifter, har avløpsslam er det en lang historie med analyser og kartlegging av først tungmetaller, og siden 1997 har også organiske miljøgifter vært analysert og kartlagt hvert 5. år. Det er gjennomført risikovurderinger av organiske miljøgifter i avløpsslam, og det er innført bruksbegrensninger og grenseverdier for utvalgte organiske miljøgifter som kun gjelder for avløpsslam.

Tilsvarende omfattende kartlegging av organiske miljøgifter, finnes ikke for fiskeslam, og grenseverdiene for utvalgte organiske miljøgifter som gjelder for avløpsslam, gjelder ikke for fiskeslam.

Fosfor mengder: Oppdrettsnæringen representerer en stor teoretisk fosforressurs, langt større enn avløpsslam, men per i dag er det bare en begrenset andel som kan samles opp; primært fra landbaserte oppdrettsanlegg. Ettersom det ikke stilles krav til oppsamling, og at næringen samlet ikke har en felles strategi om dette, vil dette kunne ta en del tid før det skjer.

Fosfor i avløpsvann samles gjennom allerede etablerte renseprosesser i avløpsslam, og avløpsslam er derfor en mer stabil og tilgjengelig fosfor-kilde for å begynne å planlegge storskala fosforgjenvinning.

En sammenligning av faktorer som har betydning for å lykkes med å resirkulere fosfor fra avløpsslam og fiskeslam til betalingsvillige markeder, er sammenstilt i Tabell 3.

Tabell 3: Sammenligning mellom ulike faktorer som har betydningen for gjenvinning av fosfor i avløpsslam og fiskeslam (ved hjelp av KI).

Tema	Avløpsslam	Fiskeslam
Datagrunnlag P og miljøgifter	Godt etablert og lovpålagt rapportering (mengder, TS, P, miljøgifter)	P: Mer fragmentert og indirekte (ofte basert på forbalanser og modellanslag). Organiske miljøgifter: via prosjekter og fragementert.
Årlig P-mengde (teoretisk)	Relativt godt kjent og stabil	Teoretisk antatt mengde 12–16 000 tonn P, er nå anerkjent som sterkt overvurdert, ettersom mye går tapt som oppløst fosfor.
Praktisk tilgjengelig P	Høy: slam samles fysisk opp ved alle renseanlegg	Lav: størstedelen av P tapes som løste ioner eller finpartikler i åpne sjøanlegg. I landbaserte RAS-anlegg: høy.
Oppsamlingsgrad	Nær 100 % (innebygd i systemet)	Lav til svært lav i åpne/sem-i-åpne anlegg; høyere i landbaserte/RAS
Teknologisk modenhet	Modne for tradisjonell behandling. For P-gjenvinning, rel. moden jmf kartlegging i prosjektet. Forutsetter store industrielle anlegg, som fortsatt er svært kostbare.	Begrenset; løsninger finnes primært for landbaserte anlegg
Regulatorisk status	Veletablert «problemressurs», men er på positiv-listen til EUs gjødselverforordning. Nasjonalt kan avløpsslam brukes i landbruket med bruksbegrensninger og grenseverdier for utvalgte organiske miljøgifter, ikke bare for tungmetaller.	Uavklart. Det gjenstår noen avklaringer i forhold til EU gjødselverforordningen og animalske biprodukt regelverket. Nasjonalt kan fiskeslam fra ferskvann brukes i landbruket, og marint fiskeslam kan brukes etter søknad med dokumentasjon. Det er ikke bruksbegrensninger og grenseverdier for organiske miljøgifter.
EU-logikk (CMC-er)	CMC 13/14/15 etablert i praksis	Samme CMC-er mulig. Er under vurdering, men per nå ikke etablert.
Institusjonelt ansvar	Klart ansvar hos kommuner/VA-sektor	Fragmentert ansvar mellom mange aktører
Motivasjon for P-gjenvinning	Høy og langvarig (press, legitimitet og kostnader)	Varierende og ofte sekundær
Realistisk rolle i P-resirkulering (2025–2035)	Hovedressurs	Tilleggsressurs i nisjer (RAS, lukkede anlegg)

Nasjonalt gjødselregelverk og miljøgifter

Gjødselforskriften er del i to; gjødselvereforskriften som omhandler produksjon, kvalitetskrav, omsetning og import, og gjødselbruk forskriften som omhandler bruk/spredning på jord.

Uorganisk P-gjødsel:

Struvitt og kalsiumfosfat kan omsettes og brukes som mineralgjødsel i Norge, forutsatt produktregistrering hos Mattilsynet og dokumentasjon av kvalitet og innhold av tungmetaller. Produktene regnes som uorganiske gjødselvarer og ikke som avløpsslam, selv om de kan være fremstilt fra avløpsslam. Struvitt er etablert som mineralgjødsel, mens kalsiumfosfat i større grad vurderes ut fra produktets dokumenterte egenskaper sak for sak.

Norsk gjødselregelverk legger fortsatt vekt på råvareopprinnelse og føre-var-hensyn. For produkter med opphav i avløpsslam gjelder særskilte krav som blant annet bygger på prinsippene i EUs slamdirektiv. EU-gjødselvereforordningen (FPR) legger også vekt på råvaregrunnlaget gjennom komponentmaterialkategoriene (CMC), men regulerer i større grad produkter ut fra behandlingsprosess, dokumentert kvalitet og produktets egenskaper.

Organisk gjødsel:

Avløpsslam regnes som en organisk gjødselvarer og er regulert gjennom særskilte krav i gjødselregelverket. Dette omfatter grenseverdier for tungmetaller og enkelte organiske miljøgifter (bl.a. PFAS, PCB og DEHP for avløpsslam, samt PAH og dioksiner for biokull og aske produsert fra avløpsslam), i tillegg til ulike bruksrestriksjoner ved spredning på jord.

Fiskeslam er en relativt ny gjødselråvare og er mindre eksplisitt regulert enn avløpsslam. Regelverket skiller mellom fiskeslam fra ferskvannsbasert og landbasert akvakultur, som i praksis kan omsettes som gjødselråvare under gitte vilkår, og marint fiskeslam, som normalt krever særskilt vurdering eller godkjenning. Det stilles krav til dokumentasjon, hygienisering, agronomisk effekt og vurdering av miljø- og smitterisiko. I motsetning til avløpsslam er det per i dag ikke fastsatt spesifikke grenseverdier for organiske miljøgifter i rått fiskeslam eller i aske og biokull fremstilt fra fiskeslam.

Mattilsynet og Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM) sin rolle innen sirkulærøkonomi

Før vi kan resirkulere ressurser til produkter til et godt betalende marked, er regelverk med konkrete dokumentasjonskrav nødvendig.

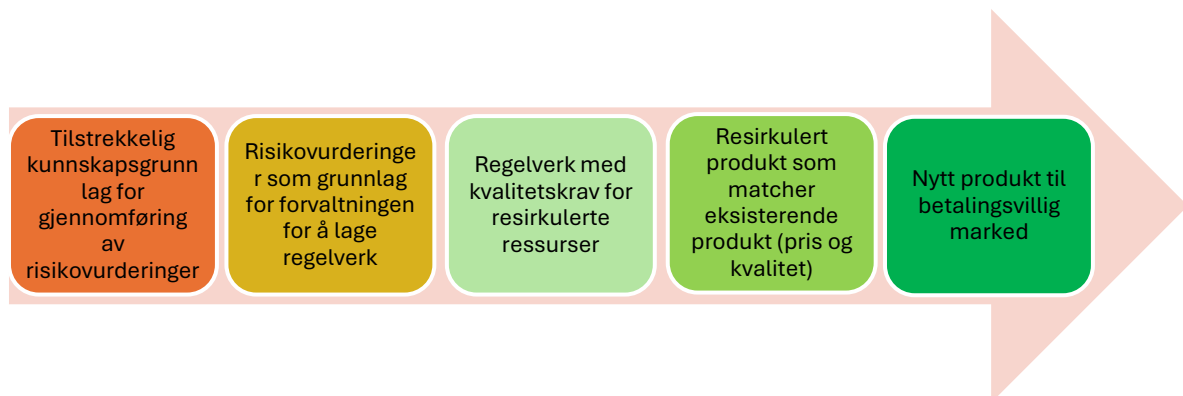
Mattilsynet jobber aktivt for å legge til rette, og for å stimulere, til økt sirkulærøkonomi innen fôr, gjødsel og gjødselvarer. Se nettsider: [Mattilsynets arbeid med sirkulær bioøkonomi og bærekraftig fôr | Mattilsynet](#) og [Sirkulærøkonomi og bærekraftig fôr | Mattilsynet](#). Det finnes også en [Veiviser: Sjekk hvilke materialer du kan bruke til fôr og gjødsel | Mattilsynet](#).

Mattilsynets prioritering for 2026 er å synliggjøre behovet for vitenskapelig kunnskap som grunnlaget for vitenskapelige risikovurderinger, som igjen er grunnlag for deres regelverksutvikling (**Figur 3**). VKM gjør risikovurderinger på oppdrag av Mattilsynet og Miljødirektoratet innenfor området trygg mat, matproduksjon og miljø. De har blant annet i løpet av de siste 20 årene gjennomført flere risikovurderinger hvor de har vurdert mulige negative effekter på mennesker, dyr og miljø hvis jorda blir tilført ulike gjødselvarer og jordforbedringsmidler. VKM sin rolle er å sikre faglige uavhengige vitenskapelige risikovurderinger basert på tverrfaglig, tverrsektoriell kompetanse er at medlemmene ikke representerer institusjonene de er ansatt i, men er medlem av VKM i kraft av egen ekspertise.

VKM sine risikovurderinger inkluderer også å identifisere kunnskapshull. Datamangel øker usikkerheten i vurderingene, og det er derfor viktig at kunnskap som allerede eksisterer, gjøres lett tilgjengelig for de som utfører risikovurderinger (VKM, EFSA eller andre). Å lete etter data krever mye tid og ressurser, og kunnskap som ville ha styrket risikovurderingen kan gå tapt.

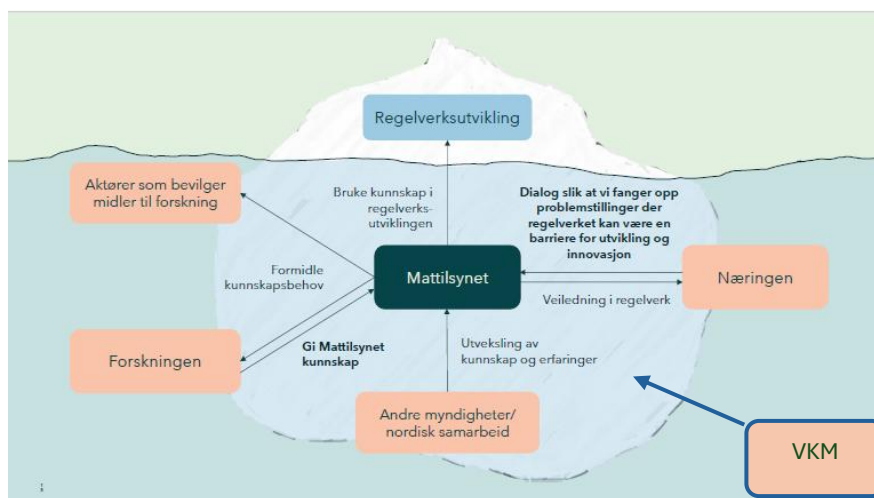
Å legge til rette for at norske data som kan inngå i kommende risikovurderinger, blir gjort tilgjengelig for VKM sine medlemmer og andre som kan ha nytte av den kunnskapen, er viktig arbeid. Hvordan dette best gjennomføres må diskuteres med flere aktører. VKM, Mattilsynet og Miljødirektoratet som er sentrale aktører, er i gang med å diskutere dette. Dette kan løses på ulike måter. Kunnskap som eksistere eller generes må være lett tilgjengelig for VKM slik at de kan kontrollere kvaliteten og lagre det på deres egen database, eller en annen database som forvaltningen har ansvar for.

Datagrunnlag og kunnskap knyttet til miljøgifter og andre uønskede stoffer som kan utgjøre en miljø- og helserisiko, for eksempel mikroplast og antibiotika resistens, er spesielt viktig for resirkulering av organiske bioressurser.



Figur 3. Illustrasjon av sammenheng mellom kunnskap og kunnskapsdeling for utvikling av regelverk og utvikling av resirkulerte produkter for nye markeder.

Mattilsynets oppsummering av hvordan regelverksendringer skjer i dialog med ulike aktører er vist i Figur 4. Det er en viktig rolle Mattilsynet har, og figuren viser illustrerer hvordan hver og en av oss kan bidra til dette.



Figur 4. Illustrerer om hvordan regelverksendringer skjer (Mattilsynets illustrasjon er modifisert med en boks for VKM).

ANALYSER AV AVLØPSSLAM OG FISKESLAM

Avløpsnettet har mange kilder til miljøgifter som i større og mindre grad, overføres til avløpsslam. Sammenlignet med avløpsslam, er det få kilder til miljøgifter i fiskeslam. Fiskeslam fra lukkede anlegg er det primært fiskefôr, fiskefeces (avføring fra fisk), vaksiner og veterinærmedisin. I tillegg til at avløpsslam analyseres regelmessig for tungmetallene som har grenseverdier, analyseres avløpsslam for utvalgte miljøgifter hvert femte år i en kartlegging som skjer i regi av Norsk Vann i samarbeid med Miljødirektoratet. Første kartlegging var 1997/98, og siste kartlegging i 2022/23 (Norsk Vann 2023). Tungmetall-konsentrasjonen i avløpsslam over tid er å finne hos Statistisk sentralbyrå, og resultatene fra de 5-årige kartleggingene er offentlig tilgjengelig. Miljøgifter i avløpsslam er også kartlagt over tid i våre naboland Sverige og Danmark.

Det foreligger også analyser av organiske miljøgifter i fiskeslam, men det skjer ikke regelmessig, og per i dag, heller ikke sammenstilt ett sted. I SecureFeed-prosjektet, finansiert av Norsk Forskningsråd, inngikk analyser av miljøgifter som en del av en bred karakterisering av fiskeslam. Resultatene er presentert i flere publikasjoner fra prosjektet (Sele et al., 2024; Malzahn et al., 2024; Belghit et al., 2024), samt en review artikkel om biologisk og kjemisk risiko i fiskeslam og deres potensielle skjebne via invertebrater som fôr i fiskeoppdrett (Pettersen et al., 2025). Miljøgifter i fiskeslam er også analysert og publisert i en artikkel som bruk av fiskeslam som organisk gjødsel og nitrogen-kilde for kornproduksjon (Brod et al., 2023).

Å analysere utvalgte miljøgifter i avløpsslam og fiskeslam var del av prosjektet. Det ble tatt kun noen få prøver, og hensikten var å sammenligne analyser fra avløpsslam og fiskeslam ved samme laboratorier og med samme analysemetodikk, og å få et øyeblikksbilde av noen utvalgte miljøgifter. Selv om det er få prøver, og ett øyeblikksbilde, er det en indikasjon på som en kan forvente å finne av stoffer og i hvilke konsentrasjonsnivåer.

I prosjektet ble det tatt slamprøver fra avløpsrenseanlegg (to anlegg) og oppdrettsanlegg på land (tre anlegg). I tillegg til analyser av utvalgte miljøgifter, ble prøvene analysert for næringsstoffer. Organiske miljøgifter ble analysert av NILU, tungmetaller og næringsstoffer av ALS, og plantetilgjengelig næringsstoffer ble analysert av NIBIO.

Ettersom det allerede finnes mye analysedata av både næringsstoffer og tungmetallene, fokuserer vi her på resultatene av de organiske miljøgifter.

Hvilke miljøgifter, og konsentrasjonene en kan finne i avløpsslam fra ulike renseanlegg, varierer mye. Konsentrasjonen påvirkes av befolkningstetthet, næringsaktivitet, og ikke minst type og omfang av industri som har påslipp til avløpsnett. Resultatene må derfor tolkes i lys av lokale forskjeller i avløpsgrunnlaget. De to valgte avløpsrenseanleggene, representerer to ulike anlegg når det gjelder påslipp.

Kildene til miljøgifter i fiskeslam er få sammenlignet med avløpsslam, men for de stoffene/stoffgruppene hvor det eksisterer grenseverdier i organiske gjødselvarer, er det all grunn til å ha et godt datagrunnlag for disse stoffene også i fiskeslam. Spesielt relevant er det for de stoffene hvor det allerede er en risiko for, eller kjent, at inntak hos mennesker overstiger toleranseverdien, som for eksempel PCB7, dioksin og PFAS.

I valg av organiske miljøgifter, ble det derfor vektlagt forbindelser som det allerede finnes grenseverdier for, PCB7 og PFAS (organisk gjødselvarer), og dioksin (biokull og aske).

Karakterisering av valgte stoffer. Dioksiner: Dioksiner inkluderer PCDD (polyklorerte dibenzo-p-diksoner, dioksiner), PCDF (polyklorerte dibenzofuraner, furaner) og dioksinlignende PCB (polyklorerte difenyler, dl-PCB). Konsentrasjonen av dioksiner er i litteraturen nesten alltid oppgitt i toksisitets-ekvivalenter, TE eller TEQ, og tar dermed høyde for ulik toksisitet for de ulike kongenerene som inngår i sum dioksiner. Dioksin dannes hovedsakelig utilsiktet under forbrenning og prosesser. En viktig kilde til dioksiner er atmosfærisk bidrag som legger seg på jord og vann, og utgjør en bakgrunnskonsentrasjon som kommer i tillegg til eventuelt andre kilder.

PCB7: For de syv PCB-kongenerene som inngår i PCB7, er PCB-118 også dioksinlignende og den mest toksiske av de syv, men det er PCB-153, etterfulgt av PCB-138 og PCB-180, som regnes som de viktigste ikke-dioksinlignende PCBene, og ofte er de dominerende PCB-kongeneren en finner i human morsmelk og fettvev, og for eksempel fugl og fisk og sjøpattedyr. Disse PCB-kongenerene har spesielt høy bioakkumulering, og er mer persistente enn for eksempel PCB-28 og PCB-52. PCBene som inngår i PCB7 er industrielt produsert fra 1930-tallet fram til 1970- og 1980-tallet og brukt i en rekke produkter, alt fra maling til elektrisk utstyr og transformatoroljer.

PFAS: PFAS, også omtalt som «forever chemicals», er en prioritert stoffgruppe som ble inkludert i våre analyser. I motsetning til fiskeslam, er det mange PFAS-kilder, både punktkilder og diffuse kilder, til avløpsnett, og dermed også til avløpsslam. Selv om det antas svært lave konsentrasjoner av PFAS i fiskeslam, er det uansett viktig sett i lys av en risikovurdering, å ha datagrunnlag om hvilke PFAS-forbindelser som kan være til stede, og i hvilke konsentrasjoner.

For å fange opp både historisk og nyere bruk av PFAS omfatter analysene ikke bare de vanligst overvåkede PFAS-forbindelsene, men også kortkjedede PFAS (bl.a. TFA, PFPrS, PFBA, PFPeA og PFMeS) samt nyere erstatningsforbindelser som ADONA, GenX og F-53B.

Sammenstilling av utvalgte miljøgifter i avløpsslam og fiskeslam

Konsentrasjonen av organiske miljøgifter som er analysert som en del av prosjektet, ligger langt under dagens grenseverdier for gjødselvarer, men som en har sett for konsentrasjonen av miljøgifter i slam mellom ulike avløpsrenseanlegg, vil også konsentrasjonene også kunne varierte i fiskeslam mellom ulike anlegg (Figur 5 og Figur 6). For PCB7 og dioksiner (dioksiner, furaner og dioksinlignende PCBer), var variasjonen i avløpsslam og fiskeslam i samme nivå (Figur 5 og Figur 6). Gitt svært få prøver og at dette kun er ett øyeblikksbilde, gir dette likevel verdifull informasjon, og indikerer hvilke konsentrasjonsnivå en kan forvente i ulike prøvematrikser.

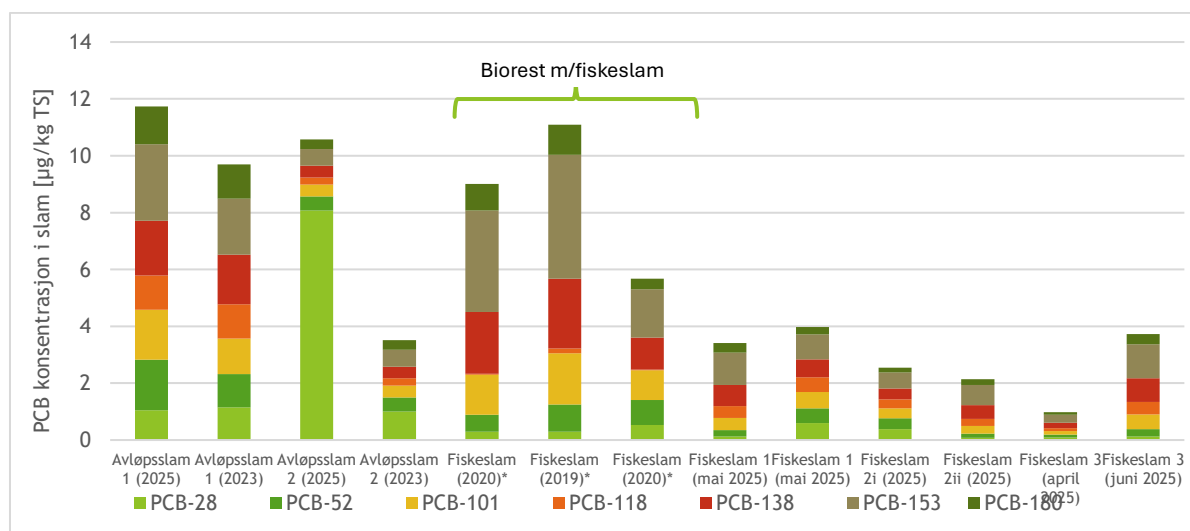
Blant studiene som har analysert for organiske miljøgifter i fiskeslam (Brod et al., 2023; Sele et al., 2024; Malzahn et al., 2024; Belghit et al., 2024) er det kun tre analyser som vi kjenner til som er biorest basert på fiskeslam (Brod et al. 2023). På grunn av omdanning og reduksjon av organisk materiale i biogassprosessen, oppstår det en oppkonsentrering av stoffer som ikke brytes ned. Konsentrasjonen (gitt i forhold til tørrstoff) av persistente organiske miljøgifter blir derfor høyere i bioresten enn i det opprinnelige råstoffet, på lik linje med tungmetaller og uorganiske forbindelser. Analysene av de tre prøvene fra biorest er inkludert i figurene for PCB7 og dioksin (Figur 5 og Figur 6, merket *).

I Figur 5, ser en variasjon mellom ulike anlegg i våre prøver. Vi har inkludert resultater fra kartleggingen av avløpsslam i 2022/23 (Henning & Blytt, 2023) som er månedsblandprøver fra anlegg 1 og 2, i tillegg til analysene fra biorestprøvene basert på fiskeslam.

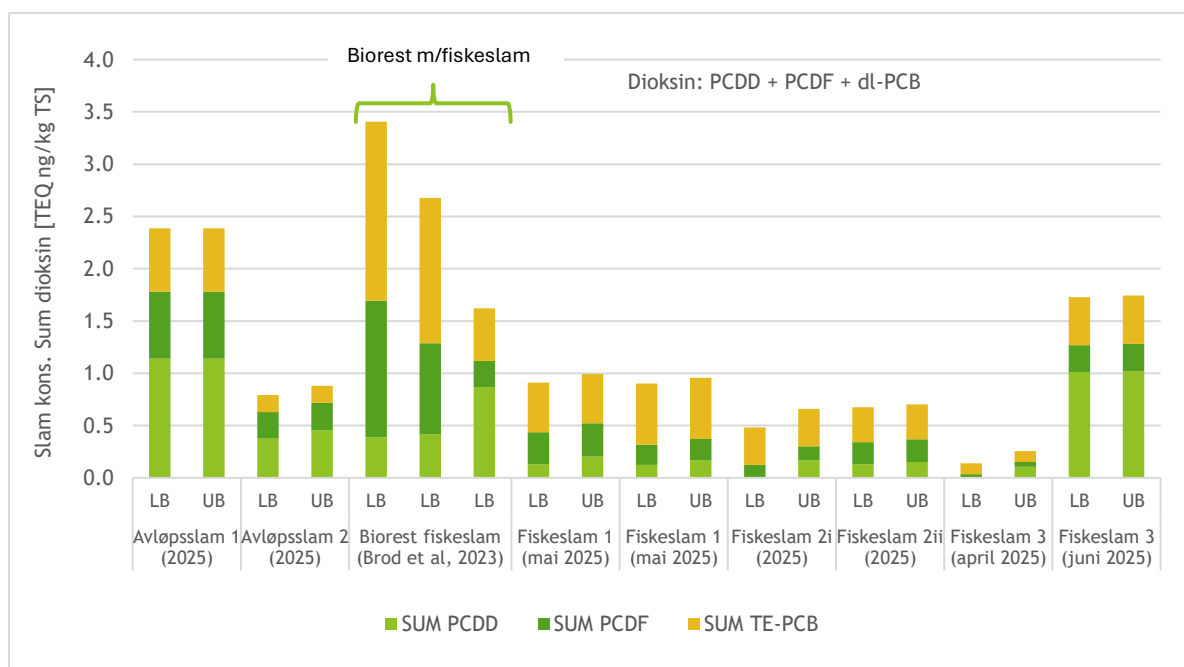
Tilsvarende har vi vist dioksin-konsentrasjonen i slam fra våre prøver sammen med de tre biorestprøvene basert på fiskeslam (Figur 6). Dioksin-analyser har ikke vært del av kartleggingen av avløpsslam.

I prosjektet ble også PFAS analysert, og som forventet av konsentrasjonen av PFAS langt lavere i fiskeslam fra oppdrettsanlegg på land enn i avløpsslam (Figur 6).

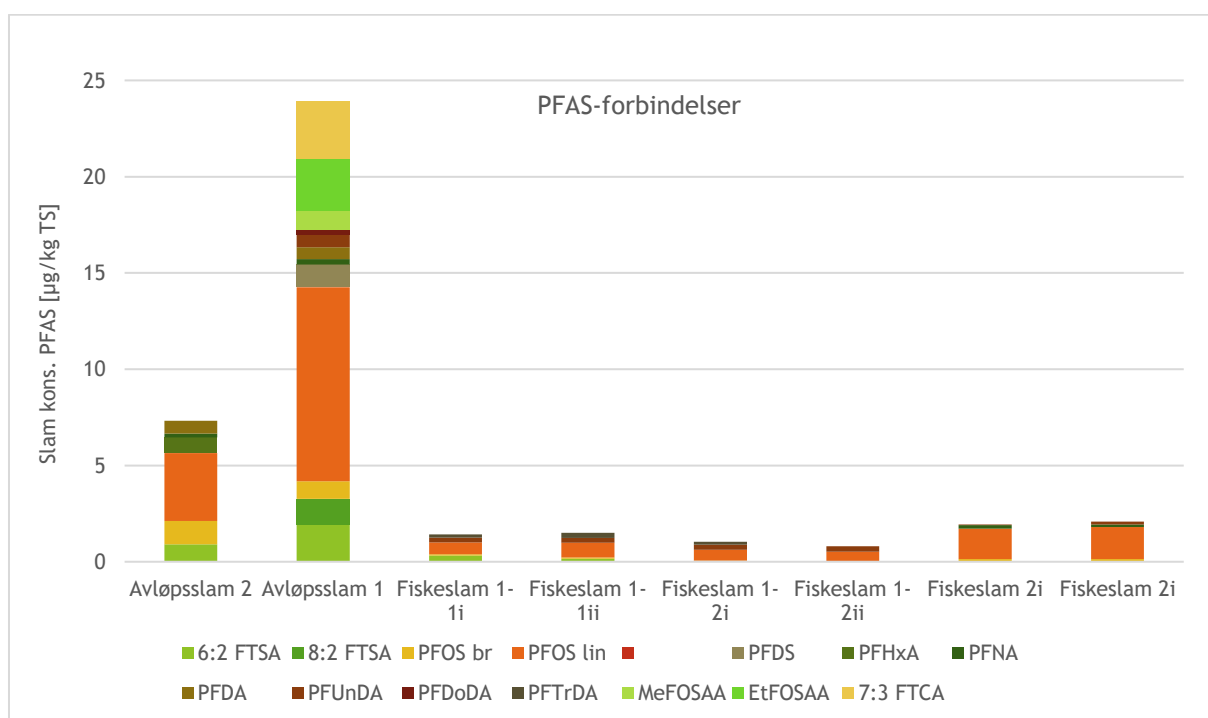
Dette arbeider nyanserer bildet at variasjoner av enkelte organiske miljøgifter i slam varierer både mellom ulike avløpsrenseanlegg, mellom ulike oppdrettsanlegg, og konsentrasjonsnivået i biorest med fiskeslam som råmateriale, kan ligge i samme nivå som avløpsslam.



Figur 5. Konsentrasjon av PCB7 kongenerer i våre slamprøver sammenstilt med analyser av avløpsslamprøver fra samme renseanlegg i slamkartleggingen 2022/23 (Norsk Vann rapport 283/2023) og biorest basert på fiskeslam prøvetatt 2019 og 2020, markert * (Brod et al., 2023).

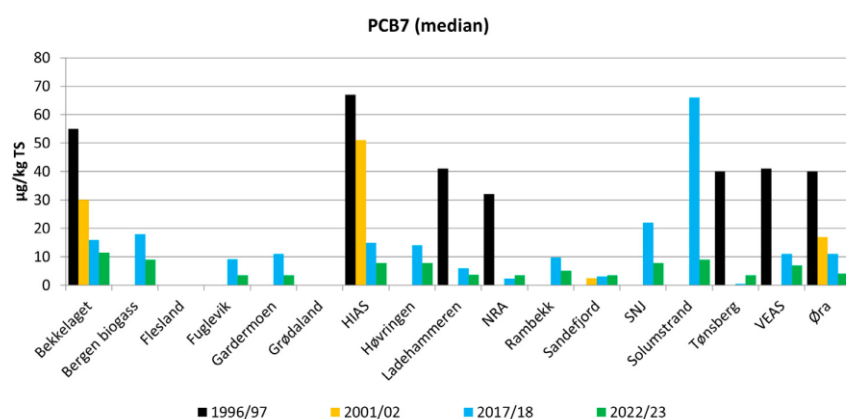
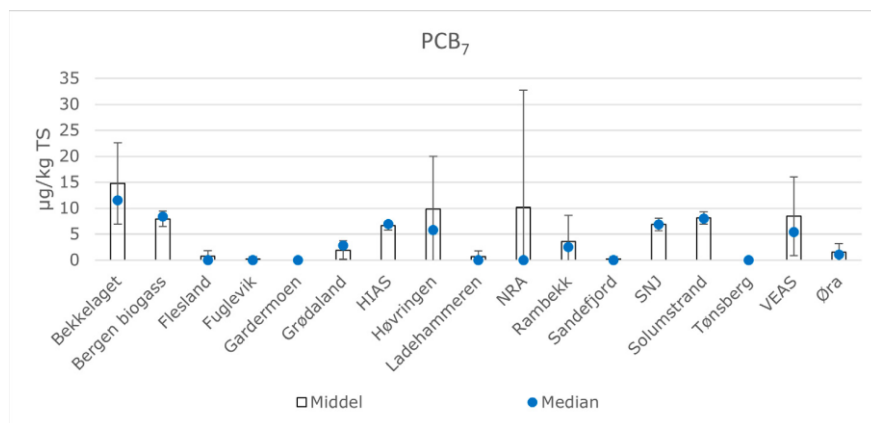


Figur 6. Konsentrasjon av dioksiner og dioksin-lignende PCBer i våre slamprøver sammenstilt med analyser av avløpsslamprøver fra samme renseanlegg i slamkartleggingen 2022/23 (Norsk Vann rapport 283/2023) og biorest basert på fiskeslam prøvetatt 2019 og 2020, markert * (Brod et al., 2023). Gitt i TEQ ng/kg tørrstoff.



Figur 7. Konsentrasjon av PFAS forbindelser som ble funnet i prøvene som ble analyser. Gitt i µg/kg tørrstoff.

For ytterligere å illustrere variasjonen i konsentrasjoner som finnes i avløpsslam fra ulike avløpsrenseanlegg, har vi inkludert figurer med PCB7-resultatene fra Norsk Vann sin siste kartlegging av organiske miljøgifter i 2022/23 (Norsk Vann rapport 283/2023) (Figur 8 A og B). For eksempel ser en at median konsentrasjonen i NRA er ved deteksjonsgrensent, mens en prøve gir den høyeste maks-konsentrasjonen i hele datasettet (Figur 8A). Figur 8B viser endring i konsentrasjon over tid. Slike tidsserier er verdifulle for å vise trender over tid.



Figur 8 A) Resultater fra siste kartlegging av organiske miljøgifter i avløpsslam (Norsk Vann rapport 283/2023), B) Median-konsentrasjon av PCB7 i avløpsslam fra 1996/97 fram til 2022/23, som viser hvordan konsentrasjonen over tid.

TEKNOLOGI VURDERING, P-GJENVINNINGSPOTENSIALET OG PRIORITERING FOR CASE-STUDIER

Fra mange teknologier til to case-studier/lokaliteter

Prosjektet har vurdert teknologier for gjenvinning av mineralsk fosfor basert på:

- teknologisk modenhet (TLR= Technology Readiness Level)
- teknologiske prosesser/prinsipper
- mineralske P sluttprodukter

Både Enova, Innovasjon Norge og Forskningsrådet bruker TRL-skala som tar utgangspunkt i EUs definisjon:

TRL 1	Grunnleggende prinsipper er observert
TRL 2	Det er formulert et teknologikonsept
TRL 3	Det foreligger et eksperimentelt «proof of concept»
TRL 4	Teknologien er validert i lab
TRL 5	Teknologien er validert i relevante omgivelser
TRL 6	Teknologien er demonstrert i relevante omgivelser
TRL 7	En fullskala prototype er testet under reelle driftsbetingelser
TRL 8	Siste utviklingstrinn. En ferdig løsning driftes kommersielt, men det gjennomføres fortsatt evaluering av resultater
TRL 9	Teknologien er kommersielt tilgjengelig

I første omgang ble det utarbeidet en liste over teknologier i ulike utviklingsstadier som var tilgjengelige i litteraturen, oversiktsartikler og på markedet. Gjennom en beslutning om å prioritere løsninger som har sluttproduktene fosforsyre (H_3PO_4), kalsiumfosfat (CaP) og elementært fosfor (P_4) og et modenhetsnivå tilsvarende demonstrert som pilot eller prototypesystem (TRL-nivå 6) og høyere), ble listen redusert til 11 teknologier (**Tabell 4**). Alle produsentene/teknologieierne av disse 11 teknologiene ble kontaktet for å få mer inngående kunnskap om den respektive teknologien, og for å diskutere prosjektet og en mulig norsk anvendelse av teknologien. Ikke alle ønsket å bli intervjuet.

Tabell 4: Kortliste over lovende teknologier.

Liquid phase / pretreated sewage sludge	Solid phase / sewage sludge incineration ash
Ravita (fosforsyre)*	Parforce (fosforsyre)
Terra Nova Ultra (kalsiumfosfat)	Phos4Life (fosforsyre)
SIMPhos (kalsiumfosfat, granulat)	SusPhos (fosforsyre-baserte produkter)
Haix Ion Exchange (kalsiumfosfat)	Ash2Phos (kalsiumfosfat)
Quickwash (kalsiumfosfat)	Tetraphos (fosforsyre)
	Spodophos (elementært fosfor)

Gjennom en trinnvis vurdering og diskusjoner i prosjektgruppen ble mange teknologiløsninger prioritert ned til to eksemplifiserende case-studier, en lokalisert på Østlandet og en i Trøndelag. Disse har RISE gjennomført en tekno-økonomisk vurdering for.

Case 1 Forbrenning & våtkjemisk ekstraksjon fra aske fra avløpsslam - sluttprodukt kalsiumfosfat (CaP)

Forbrenning og våtkjemisk ekstraksjon av aske fra avløpsslam i Oslo-regionen/Viken, basert på 300 000 tonn avløpsslam (25 % tørrstoff). Lokaliseringen er valgt dels for å være i et område hvor mye avløpsslam kan samles med relativt korte transporter, dels for å ligge i tilknytning til Yaras fabrikk i Porsgrunn. Caset er basert på fastfaseteknologi, og sluttproduktet er kalsiumfosfat. (TRL 7–8).

Case 2 HTC (hydrotermisk karbonisering) & utfelling av fosfor fra væskefraksjon – ulike råstoff som fiskeslam og avløpsslam - sluttprodukt CaP

HTC (hydrotermisk karbonisering) med utfelling av fosfor fra væskefraksjon lokalisert i Trøndelag, basert på 20 000 tonn (25 % TS) av ulike typer organisk materiale. Mengden på 20 000 tonn er avtalt med prosjektpartnerne, men teknologien er relativt skalerbar, så det er mulig å øke eller redusere mengdene (med en viss innvirkning på økonomien, selvfølgelig). Sluttproduktet er kalsiumfosfat. Teknikken som caset er basert på har noen fullskalaanlegg, mens selve fosforgjenvinningsteknikken, som er utviklet av en tredjepart, har blitt demonstrert i pilotskala (TRL 6-7).

En generell observasjon for hele teknologivurderingen er at de mest avanserte teknologiene er primært utviklet for forhold i Tyskland og andre europeiske land med lovgivning om fosforutvinning. Disse stedene har ofte høy befolkningstetthet og tilgang til store mengder bioressurser i form av slam, gjødsel, matavfall og annet avfall. Når det gjelder kloakkslam, har slam lenge blitt forbrent for å produsere slam-aske.

I Norge er bioressursene mer spredt over hele landet og i flere mindre anlegg, noe som kan gjøre det vanskelig å ta i bruk de teknologiene som har kommet lengst i utviklingen, da disse ofte krever store skalaer. Dette gjelder både avløpsslam og fiskeslam. Som diskutert som del av case 1 og 2, er det vurdert om innsamling fra et større område hvor logistikken rundt transport ikke er for komplisert/dyrt.

Gjenvinningspotensiale for P i avløpsslam og fiskeslam

I case 1 er det estimerte utbyttet 15 000 tonn kalsiumfosfat per år. Dette tilsvarer rundt 3 000 tonn fosfor basert på tilgjengelige tall, noe som overvurderer potensialet for dette tilfellet¹.

I case 2 er det estimerte utbyttet 600 tonn kalsiumfosfat per år. Dette tilsvarer rundt 120 tonn fosforutbytte per år. Produktets kvalitet må bestemmes ved hjelp av tester med det faktiske inngangsmaterialet.

Taksonomivurdering

Danske Bank har vurdert case-studiene opp mot taksonomikravene for kategorien: «2.1 Phosphorus recovery from waste water» som antas både case 1 og 2 kvalifiseres mot.

EU TAKSONOMIREGELVERK – GRØNN FINANSIERING

EU-taksonomien, som trådte i kraft i 2020, er et viktig rammeverk for å fremme bærekraftige investeringer. Rammeverket definerer hvilke aktiviteter som kan betraktes som miljømessig bærekraftige, og fosforgjenvinning faller inn under denne kategorien. Dette gir en unik mulighet for Norge til å tiltrekke seg investeringer og utvikle løsninger som kan bidra til en mer bærekraftig fremtid.

Investeringer i P-gjenvinningsteknologi - økonomiske insentiver som kan bidra til å realisere disse løsningene. Markedet for resirkulerte fosforprodukter er ventet å vokse, spesielt i Europa, hvor etterspørselen etter bærekraftige løsninger er høy. Dette, kombinert med redusert avhengighet av importerte fosfatprodukter, gjør det lønnsomt å investere i teknologier som kan produsere produkter for et betalingsvillig marked.

Prosjekter for mineralisk fosforgjenvinning kan inngå i bankenes taksonomi og bærekraftrapportering fordi de:

- bidrar til ressurseffektivitet og sirkulærøkonomi
- reduserer miljø- og avfallsrisiko
- understøtter omstilling bort fra importerte, geopolitisk sårbare råvarer
- gir målbare miljøeffekter knyttet til materialgjenvinning og redusert belastning på jord og vann.

Dette gjør dem godt egnet for grønn finansiering og rapportering under bankenes bærekraftrammeverk.

Fra et risikoperspektiv bidrar investeringer i mineralisk P gjenvinning til å:

- redusere overgangsrisiko knyttet til strengere regulering av avfall og fosforbruk
- redusere forsynings- og geopolitisk risiko ved å erstatte importert fosfor
- øke markedets robusthet gjennom standardiserte produkter med EU markedsadgang (CE merking)
- styrke langsiktig verdistabilitet i investeringer eksponert mot kritiske råvarer

Dette er sentrale parametere i bankenes klimarisiko og kredittvurderinger.

For banker og investorer gir løsninger for mineralisk fosforgjenvinning en sjelden kombinasjon av taksonomi relevans, redusert finansiell risiko og eksponering mot en kritisk råvare med langsiktig strategisk betydning.

Direkte koblet til EUs taksonomi kan dette oppsummeres (ved hjelp av KI):

Begrensning av klimaendringene: Gjenvinning av mineralisk fosfor bidrar indirekte til reduserte klimagassutslipp ved å erstatte importert, jomfruelig fosfor med høyere klimafotavtrykk og lange transportavstander. Effektiv ressursutnyttelse inngår dermed i en lavere samlet karbonintensitet for gjødsel- og industriprodukter.

Klimatilpasning: Økt europeisk og nasjonal tilgang til fosfor reduserer sårbarheten i matsystemet og tilknyttede verdikjeder under økende klimarisiko, handelssjokk og geopolitisk ustabilitet. Mineralisk P fra sekundære ressurser styrker robustheten i kritisk infrastruktur og forsyningskjeder.

¹ Mengden kalsiumfosfat som kan produseres ut fra en mengde slam som varierer avhengig av fosforinnholdet i slammet. Mengden fosforprodukt blir kanskje overvurdert sett i forhold til fosforinnholdet i slammet i enkelte renseanlegg i Norge i dag.

Bærekraftig bruk og beskyttelse av vann- og marine ressurser: Gjenvinning av fosfor fra avløpsslam og fiskeslam bidrar til å redusere fosforbelastning til vannmiljøer og dermed risiko for eutrofiering. Dette gir bedre beskyttelse av ferskvanns- og marine økosystemer.

Omstilling til en sirkulærøkonomi: Prosjektet adresserer kjerneformålet i EU-taksonomiens sirkulærmål ved å omdanne utnyttelsesbegrensede bioressurser til standardiserte, høykvalitets innsatsfaktorer. Mineralsk fosforgjenvinning muliggjør materialgjenvinning, verdibevaring og redusert behov for primæruttak av kritiske råvarer.

Forebygging og bekjempelse av forurensning: Ved å separere næringsstoffutnyttelse fra forurensningsproblematikk reduserer mineralsk P-løsninger risikoen for spredning av miljøgifter og uønskede stoffer. Dette gir bedre kontroll og høyere sikkerhet enn direkte anvendelse av komplekse organiske restfraksjoner.

Beskyttelse og gjenoppretting av biologisk mangfold og økosystemer: Redusert uttak av fosfor fra sårbare naturressurser og lavere næringsavrenning bidrar indirekte til beskyttelse av terrestriske og akvatiske økosystemer. Effektiv fosforgjenvinning støtter dermed langsiktig økosystemhelse og naturbasert ressursforvaltning.

BARRIERER

Det er mange årsaker til at fosfor-rike bioressurser fremdeles er et problem. Å identifisere og forstå hvilke hinder/barrierer og utfordringer det er, men også hvilke løsninger og virkemidler for skal til for å lykkes, er del av prosjektet.

Barrierer og løsninger knyttet til våre case-studier

Temaet barrierer og hva som skal til for å overkomme disse, ble diskutert gjennom hele prosjektet. En oppsummering av gruppearbeid som ble gjort i siste fysiske arbeidsmøte er vist i **Tabell 5**.

Tabell 5. Oversikt over barrierer, forklaringer og forslag til løsninger framkommet i gruppearbeid.

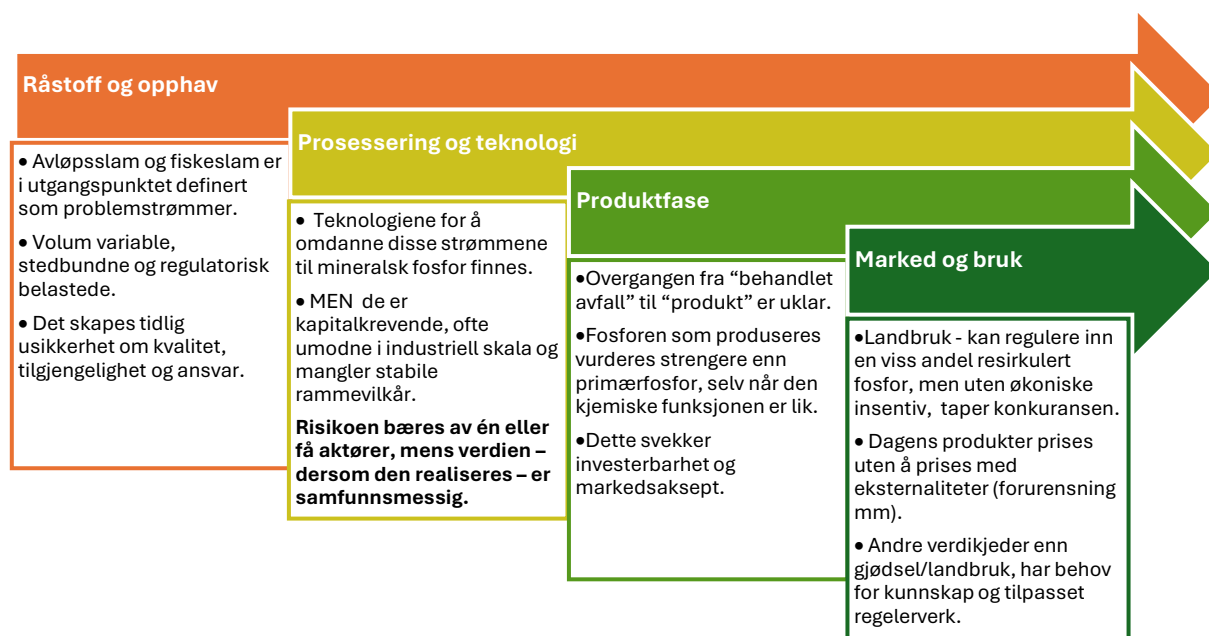
Type barriere	Forklaring / løsninger
Teknologisk og strukturell mismatch med norske forhold	Mange eksisterende P-gjenvinningsteknologier er utviklet i land med lang tradisjon for slamforbrenning og gjenvinning fra aske. Disse løsningene er ofte svært store anlegg, noe som kan være lite tilpasset norske rammebetingelser og ressursstrømmer.
Lav modenhet og høy usikkerhet i kostnadsbildet	Gjenvinningsteknologiene er i stor grad nyutviklede, noe som gjør det vanskelig å anslå korrekt investerings- og driftskostnad. Det forventes at kostnadene i dag er høyere enn de vil være på lengre sikt, før teknologiene er etablert og standardisert.
Fragmentert ressursbase og komplekse verdikjeder	Fosforrike materialer er fordelt på mange aktører og sektorer, noe som både kan gi stordriftsfordeler og samtidig skape komplekse systemer for eierskap, ansvar og logistikk. Dette bidrar til at etablering av løsninger tar tid.
Flaskehalser gjennom hele verdikjeden	Barrierene er ikke begrenset til én fase, men finnes i hele verdikjeden – fra kartlegging av tilgjengelige ressurser, via innsamling og logistikk, til valg av teknologi, eierskap til anlegg og marked for sluttproduktet.
Manglende oversikt over tilgjengelige materialstrømmer	Det er behov for bedre måling og kartlegging av hva som faktisk kan samles inn, i hvilke mengder og med hvilke egenskaper. Uklare data om volum og kvalitet gjør både planlegging og investering krevende.
Logistikk og behov for forhåndsbehandling	Det er usikkerhet knyttet til hvor innsamlet materiale skal sendes, og om det kreves lokal behandling før transport videre. Dette påvirker både kostnadsnivå og valg av løsning.
Kompetanse og ansvar for kjemiske prosesser	Noen resirkuleringsprosesser involverer sterke syrer og løsemidler og ligner mer på kjemisk industri enn tradisjonell avfalls- eller slambehandling. Dersom slike prosesser drives av aktører uten relevant prosesskompetanse, kan det skape ytterligere flaskehalser.

Svakt og umodent marked for resirkulerte fosforprodukter	Barrierene for gjenvinning av mineralsk fosfor i Norge ligger ikke bare i teknologi, men i hele verdikjeden, og omfatter lav teknologisk modenhet, høy kostnadsusikkerhet, fragmenterte ressursstrømmer, komplekse eierskaps- og logistikkspørsmål samt et svakt marked for resirkulerte produkter. Samtidig er mange eksisterende løsninger utviklet for andre strukturelle forutsetninger enn de norske.
---	--

Barrierer på langs og på tvers av verdikjeder

De finnes barrierer langs verdikjeden - fra råstoff til sluttprodukt og marked, og på tvers av verdikjeden - gjennom strukturelle koblinger mellom teknologi, regelverk, økonomi og marked.

Det er denne kombinasjonen som er så komplisert, og som forklarer hvorfor isolerte løsninger ikke lykkes. Barrierer langs verdikjeden fra opphav til marked er illustrert i Figur 9.



Figur 9. Barrier langs verdikjeder – fra råstoff til sluttprodukt og bruk i et marked.

Barrierer på tvers av verdikjeden - de systemiske problemene, er de mest kritiske, men også de som er minst forstått. Barrierene oppstår i koblingene mellom dem. Resultatet er at alle venter på alle, og imens går fosforet fortsatt tapt. En illustrasjon som viser barrierer på tvers av verdikjeder er vist i Figur 10.

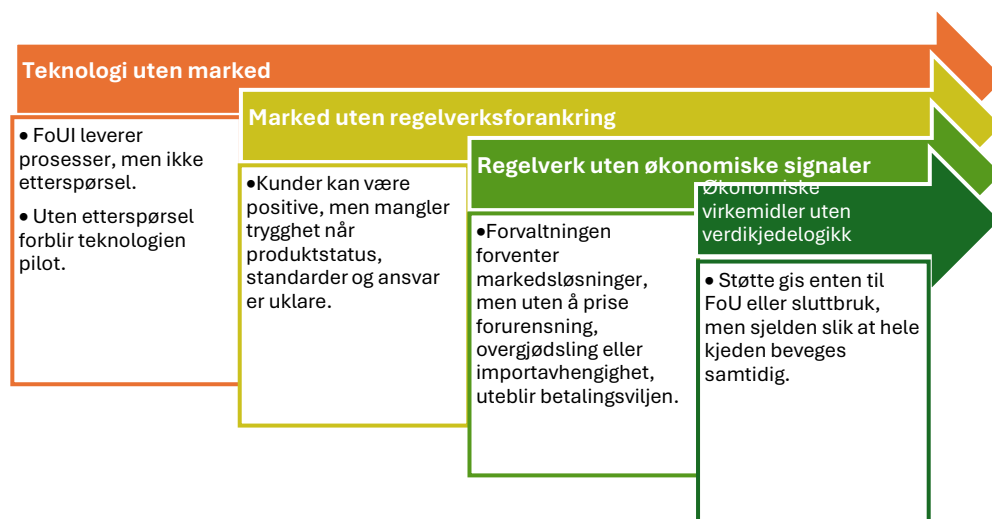
En rekke prosjekter de siste ti-årene har handlet om bioøkonomi og resirkulering av bioressurser, og i økende grad har fiskeslam og generelt biorest, blitt inkludert. Så hvorfor har vi ikke kommet lengre?

Mange prosjekter har en «en-løsning» tilnærming, gjør markedsvurderinger som inkluderer kartlegging av aktørenes erfaringer, barrierer og aksept for nye produkter. Denne type prosjekter er lett å finansiere, kanskje fordi de er lett kommuniserbare, målbare og passer inn i eksisterende FoU-finansiering.

Det er nå behov for å se mer systemisk på utfordringene og på barrierene som er mellom de ulike leddene.

Det er behov for:

- samordning mellom regelverk, marked og investering,
- risikoavlastning der samfunnsnyttens er større enn privat nytte,
- og virkemidler som erkjenner at verdikjeden som helhet må flyttes – samtidig.



Figur 10. Barrier på tvers av verdikjeder, strukturelle koblinger mellom teknologi, regelverk, økonomi og marked.

FoU-prosjekter er designet for læring (fokus på om «noe» kan fungere), ikke for varig verdikjededrift (faktisk kan fungere over tid i virkeligheten). De vurderer optimalisering av enkeltkomponenter og ikke samspillet mellom dem, og de mangler mandat eller insentiv til å stille de ubehagelige spørsmålene om marked, risiko og regelverk.

Mange fosforprosjekter lykkes faglig fordi de er designet for læring, ikke for videre drift. De viser at teknologien kan fungere, men ingen har mandat til å sørge for at den faktisk gjør det sett i lys av marked, regelverk og forretningsmodeller når prosjektet er over. Dermed produserer systemet stadig ny kunnskap, men svært få løsninger som overlever uten støtte. Prosjekter dokumenterer at noe virker, men ikke om løsningene kan fungere kommersielt og regulatorisk over tid, uten prosjektstøtte og med tydelig plassering av ansvar, risiko og marked. Hvis dette ikke kommuniseres tydelig, kan beslutningstakere tro at «vi er nesten i mål», mens systemet i realiteten stopper før ansvaret begynner.

I løpet av prosjektperioden ser vi tydelig det er nødvendig med et tankeskifte – et paradigmeskifte. Det viktigste spørsmålet for å lykkes med gjenvinning av mineralsk fosfor er hvilke verdikjeder trenger vi – og hvilke rammer må på plass for at de skal fungere?

Dette krever tid, systemforståelse og arbeid på tvers av sektorer, fag og mellom ulike typer forvaltning, kommunale og private næringsaktører og FoU-miljøer. Den type prosjekter og arbeid som sjelden lønner seg for enkeltsiloer (uten kobling til resten av systemet som det er avhengig av), men som er helt nødvendig for samfunnets omstillingsevne.

Til tross for at det investeres betydelige ressurser i store FoU og FoU-prosjekter som dekker flere deler av verdikjeden samtidig, er det likevel grunn til å stille et mer grunnleggende spørsmål: om vi faktisk utvikler de løsningene som trengs, eller bare de løsningene som lar seg organisere som prosjekter? Det er kanskje ikke mangelen på FoU som er problemet, men fraværet av arbeid som tar ansvar for helheten utenfor prosjektets rammer.

Så lenge barrierer langs og på tvers av verdikjeden behandles som separate utfordringer, vil gjenvinning av mineralsk fosfor forbli en serie vellykkede pilotprosjekter uten marked.

Hvis vi mener alvor med sirkulær økonomi, kritiske råmaterialer og redusert miljøbelastning, må begynne å bygge sammenhengende systemer.

Kunnskap og datagrunnlag for regelverksutvikling

En annen barriere som trenger spesiell omtale, er tilgangen på tilstrekkelig datagrunnlag for risikovurderinger som inngår i regelverksutvikling (se figur 6 for sammenhengen mellom datagrunnlag/kunnskap og regelverksutvikling).

Regelverk og regelverksutvikling er tema i mange debatter hvor næringsaktører, forvaltning og FoU-miljøer diskuterer sirkulærøkonomi og bioressurser. Gitt all den tid regelverk bygger på en eller annen form for risikovurdering, er det overraskende at temaet kunnskap og datagrunnlag ikke oftere er del av disse diskusjonene.

Regelverk knyttet til sirkulærøkonomi for organiske bioressurser, har blant annet kvalitetskrav til egenskaper, næringsinnhold, grenseverdier for risiko-stoffer/elementer, og ved behov, også bruksbegrensninger. Det er slike dokumentasjonskrav og eventuelt bruksbegrensninger, som vil sikre forutsigbarhet for næringsaktører og tillit i markedet for at produktene er trygge.

Det er viktig at datagrunnlag (kjemiske analyser og annen relevant kunnskap) som blir generert i FoU og FoUI prosjekter, gjøres tilgjengelig for VKM og forvaltningen. Dette gjelder spesielt prosjekter som får offentlig støtte.

Når VKM, EFSA og andre som gjennomfører risikovurdering, er det viktig at datagrunnlag og kunnskap er tilstrekkelig stort til at det representerer materialet/råstoffet som skal risikovurderes, og er av god kvalitet (for eksempel lave deteksjonsgrenser). Det bør utarbeides en beskrivelse av ønsket kvalitet på analyser og hvilken annen informasjon for å kunne tolke datagrunnlaget best mulig.

FORLAG VEIEN VIDERE

Forslag veien videre ressurser og sluttprodukter

Det er forslag til hva som kan være veien videre nå som prosjektet er ferdig.

Det er behov for en koordinering mellom myndigheter og regelverk – et systemisk perspektiv innenfor systemet. Krav til tiltak må også oppfylles av andre deler av systemet.

o Eksempel: Økte krav til innsamling av fosforrikt slam fra havbruk må også koordineres med muligheten for å håndtere det innsamlede slammet på land – neste aktør i kjeden kan ikke settes i en vanskelig posisjon på grunn av krav som stilles til aktører oppstrøms eller nedstrøms i kjeden.

- Beredskapsperspektivet er en viktig faktor i disse spørsmålene – gjødsel produseres i Norge, men det meste av fosforet importeres.

o Hvis Norge ønsker å investere ressurser i å sikre nasjonale fosforreserver, er det også en mulighet til å bygge en slik investering på andre premisser – kanskje bør ikke resirkulert fosfor brukes som hvilken som helst råvare i storskala produksjon? Kanskje bør det heller være et nisjeprodukt av en lokal gjødsel, markedsført som et spesialprodukt? Selge fortellingen om beredskap og teknologisk lederskap hjemme.

- Fosfor er en begrenset ressurs og det må være insentiver for å begynne å utnytte ressursene – enten pisk eller gulrot, eller begge deler.

- Det vil trolig være behov for regionalt eller nasjonalt samarbeid for å oppnå ønsket ressursflyt i en ny verdikjede. Det er vanskelig for leverandører som sitter på råvarer å ta på seg en koordinerende rolle. De er næringsdrivende, og det er ikke i eiernes interesse å bruke tid og ressurser på å koordinere andre næringsdrivende. En koordinatorfunksjon bør utnevnes av en myndighet eller en uavhengig part med en finansieringsmodell for dette.

- Bør disse prosessene og produktene passe inn i eksisterende verdikjeder, eller er det rimelig å tenke at det kan være på tide å skape verdikjeder med andre insentiver enn de som styrer de eksisterende systemene? Kan verdikjeder bygges rundt dyrere produkter, men hvor merverdien ligger i produkter med god miljøytelse, lokal produksjon og økt beredskap?

Forlag veien videre – teknologiløsninger

Holde konsortiet i live og oppretthold tverrfaglig samarbeid

- Søk finansiering (eller invester selv) til et prosjekt som fokuserer på å gi klarere betingelser for potensielle investeringsbeslutninger.

- o For å komme videre foreslås det at teknologileverandører inviteres til samarbeid. Gjennom direkte samarbeid med teknologileverandører kan mer nøyaktige beregninger produseres, fremtidige forsyningskjeder og produktkvaliteter kan beregnes bedre.

- o Involvere teknologileverandørene direkte i prosjektet og gjennomfør forundersøkelser basert på faktiske anlegg og laboratorieundersøkelser av faktiske innsatsmaterialer (helst ved å teste en rekke forskjellige sammensetninger).

- o Siden flere forskjellige leverandører sannsynligvis vil bli inkludert i studien, er det av største betydning å holde oversikt over datasikkerheten og å kunne garantere at teknologileverandørenes data ikke kan bli videreformidlet mellom dem.

- Disse forundersøkelsene kan gi faktiske data for grove investeringsberegninger som vil hjelpe til med å synliggjøre behovet for for eksempel statlig støtte, mottaksgebyrer for fosforgjenvinning eller økte tariffier.

- Utforske gjerne mulige samarbeid eller felles forretningsmodeller med andre aktører, f.eks. undersøk muligheten for å sende aske til Ash2Phos i Helsingborg (dvs. kun forbrenning i Norge – betale mottaksavgiften til anlegget i Sverige + kostnaden for transport av asken). Det kan også være muligheter for samarbeid med nabokommuner i Sverige som kan være interessert i å forbrenne slam – slamhåndtering er også et vanlig og voksende problem i Sverige.

- Vurder å besøke relevante anlegg som en del av dette prosjektet – f.eks. monoforbrenning i relevant skala, HTC.

LEVERANSER I PROSJEKTET

Leveransene i prosjektet besto av følgende 6 punkter:

1. Nye produkter og en ny verdikjede som ikke konkurrerer med landbruket og dets egne ressurser (gjødsel).
2. *Økt verdiskaping av fosforrike sekundære råvarer – noe som i dag utgjør et problem og en betydelig kostnad for industrien*
3. Ved å skape nye verdikjeder for sekundære råvarer, fjernes en flaskehals for utviklingsindustrier der de høye kostnadene ved håndtering av avfallsråvarer i dag utgjør et problem.
4. Forbedring av organisering og delingskultur for data og informasjon, til fordel for fremtidig utvikling av vitenskapelig baserte forskrifter.
5. *Trøndelag, som i tillegg til matavfall og kloakkslam (vanlig i alle regioner), har en stor landbruks- og oppdrettsnæring, og tilsvarende store mengder bioråstoff. For enkelte næringer er de høye kostnadene ved håndtering av råstoffene et hinder for videre investeringer og utvidelse. Prosjektet vil dermed redusere slike begrensninger for utvidelse.*
6. *Å legge grunnlaget for etablering av anlegg for håndtering og prosessering av disse bioråstoffene i regionen.*

Bærekraftsmålene som var relevant for prosjektet:

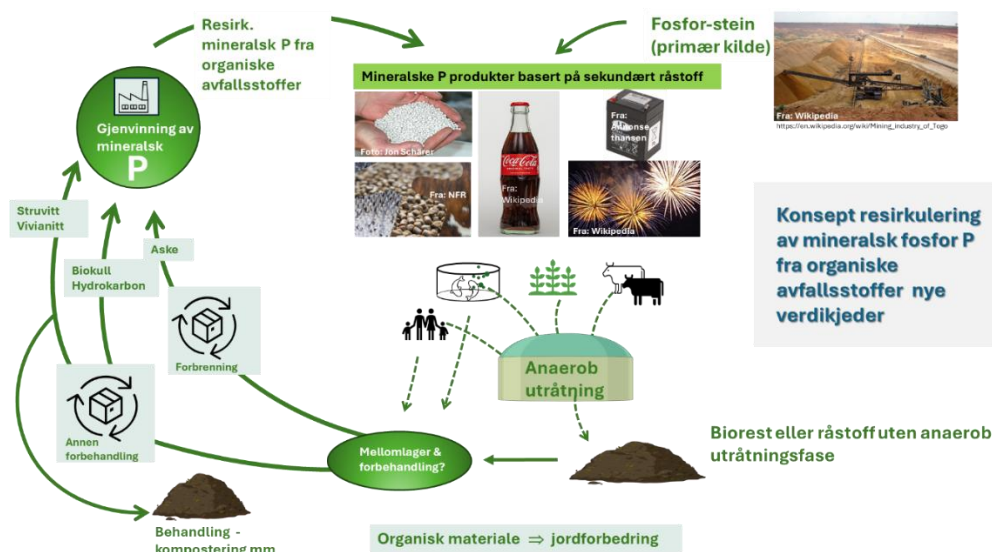
1. Energieffektivisering
2. Resirkulering av ressurser
3. Redusere spredning av miljø- og helseskadelige stoffer
4. Beholde organisk materiale hvis mulig

RESULTATER I FORHOLD TIL LEVERANSER

Vi har levert følgende resultater for leveransene:

1. **(1.) Vi har pekt på nye produkter med en verdikjede som ikke konkurrerer med landbruket og deres egne ressurser (gjødsel).**

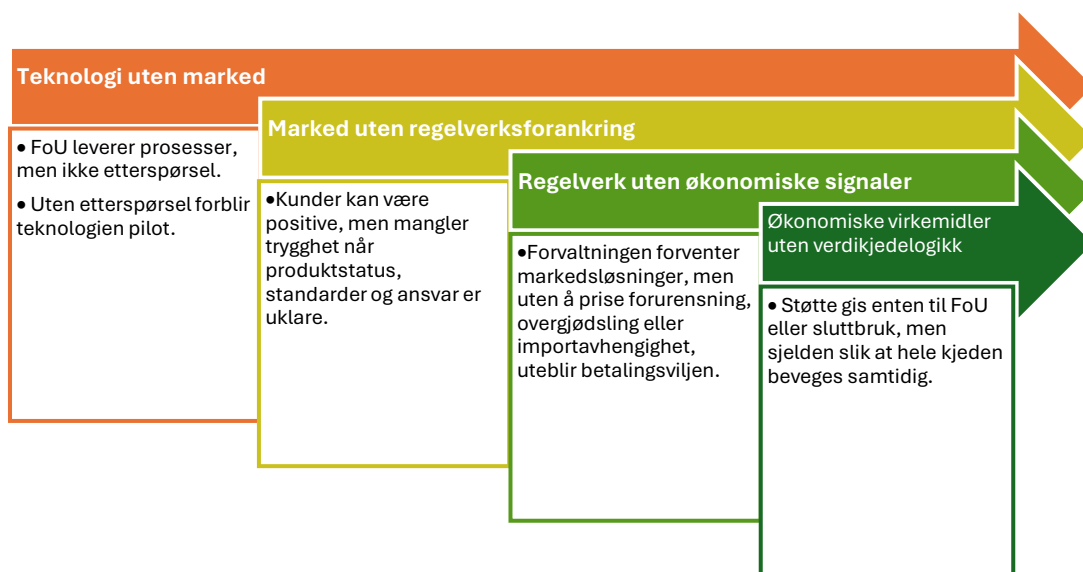
(4.) Omdanne sekundære råvarer til nye produkter for eksport ut av regionene og ut av Norge
 Produktene vi har identifisert, spesielt høykvalitets fosforsyre >95%, som en kompositt i CMC15 i EUs
 gjødselverforordning er en viktig leveranse fra prosjektet.



Konsept: P produkter basert på sekundære råvarer - her vist forbehandling av råmateriale ved forbrenning til aske, pyrolyse eller termisk behandling til biokull og hydrokull, eller uttak av fosfor hvor organisk materiale blir beholdt.

2. (2) Økt verdi av P-rike sekundære råvarer – som i dag er et problem og en betydelig kostnad for industrien.
- (3) Ved å skape nye verdikjeder for sekundære råvarer, fjernes en flaskehals for utviklingsindustrier der de høye kostnadene for håndtering av avfallsråvarer er et problem i dag

Prosjektet har forsøkt å forstå og beskrive barrierer og løsninger sett i lys av det Case-studiene som har vært utviklet i dette prosjektet, men også i et større bilde. Spesielt viktig å merke seg barrierene som er på tvers.



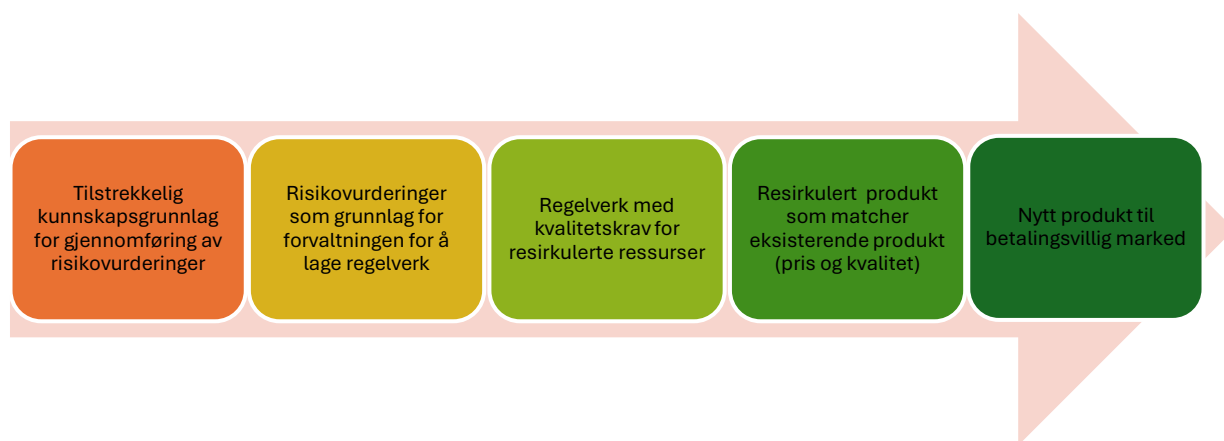
3. (5) Forbedre organisering og delingskultur for data og informasjon, til fordel for kommende risikovurderinger.

For å lage regelverk for resirkulering av ressurser til for eksempel gjødsel og fôr, bruker forvaltningen vitenskapelig baserte risikovurderinger som grunnlag. Forvaltningen bestiller risikovurderinger av Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKMs), som i sitt arbeid er avhengig av tilstrekkelig kunnskap med god kvalitet – og de må være lett tilgjengelig. For å sikre at dette er det er tilgjengelig, er det viktig at det finnes klare krav/råd til hvilke miljøgifter det skal analyseres for, i noen tilfeller hvilke deteksjons/kvantifiseringsgrenser som kreves, i tillegg til at analyseresultater gjøres tilgjengelig i en database hvor andre relevante data for gjennomføring av risikovurderinger samles.

Det bør være et mål at analyser av miljøgifter og annen relevant informasjon fra organiske ressurser, samles i en og samme database, og slik gjøres lett tilgjengelig for forvaltningen og de som gjennomfører risikovurderinger på vegne av de. Tema om felles lagringsplass har vært tatt opp med VKM og vi vet dette er videre diskutert på kontaktmøte mellom VKM, Mattilsynet og Miljødirektoratet. I følge VKM er det planlagt et møte om disse temaene i løpet av høsten.

Vi har vært i kontakt med Mattilsynet for å få mer forståelse av og informasjon om regelverksutvikling, og spesielt regelverket knyttet til avløpsslam som råmateriale for å bli til høykvalitet fosforsyre om godkjennes som CMC15 komponent i EUs gjødselvarerforskrift. Dette har også vært et tema i flere referansegruppemøter.

Prosjektet har laget følgende figur som illustrer sammenhengen mellom resirkulerte produkter til nye markeder – regelverk og dokumentasjonskrav – risikovurderinger – behovet for kunnskap.



4. (6) Trøndelag, som i tillegg til matavfall og kloakkslam (vanlig i alle regioner), har en stor landbruks- og fiskeoppdrettsnæring og tilsvarende høye bioressursråvarer. For noen næringer er de høye kostnadene ved håndtering av råvarene et problem for videre investeringer og utvidelser. Prosjektet vil dermed redusere slike begrensninger for utvidelser.

Ett av to case-lokaliseringer som er utviklet med en teknoøkonomisk vurdering, er lokalisert i Trøndelag, er en fleksibel og et gjennomførbart konsept med teknologiløsninger som gir muligheten for å bruke ulike type råvarer – som passer Trøndelag fylke med alle de ulike råvarene som finnes her.

Svar på bærekraftmålene

1. Energieffektivisering

Spesielt relevant for prosesser knyttet til biogassproduksjon; vil kunne utnytte overskudds-CO2 og varme til å effektivisere prosessene for P-gjenvinning og dermed styrke klimanøytraliteten for denne typen industri som en ekstra bonus.

2. Resirkulering av ressurser

Et overordnet bærekrafts mål i prosjektet er å øke andelen resirkulerte ressurser og dermed redusere avhengigheten av utvinning av kritiske råvarer av stadig dårligere kvalitet (noen steder) og med usikker forsyning.

Dette bærekrafts målet er hovedfundamentet i hele prosjektideen – og vises i prosjektets visjon «Nye verdikjeder for resirkulert fosfor til et betalingsvillig marked». All aktivitet i prosjektet er knyttet til dette.

3. Redusere spredning av miljø og helseskadelige stoffer:

Ønsket – og behovet for - økt resirkulering og gjenvinning av ressurser, tvinger fram mer kunnskap om innhold av potensielt miljø- og helseskadelige stoffer i de sekundære råstoffene, deres skjebne i ulike behandlingsteknologier og hvilke grep må tas for å redusere innholdet både i råstoffene og i sluttproduktene.

Prosjektet har fokusert på tema som vi ser er viktig å prioritere for at man skal lykkes med å utvikle regelverk for produkter basert på resirkulerte bioressurser.

I tillegg til å møte produkt-kvalitetskrav, må resirkulerte produkter ha vitenskapelig baserte grenseverdier som sikrer tillit i markedet.

I prosjektet ble tre mineralske P-produkter prioritert som spesielt interessant, først og fremst fosforsyre og kalsiumfosfat som er mest relevant, men også elementært fosfor som er et produkt som har et interessant marked.

Basert på dagens regelverk og mulig marked, så vi nærmere på regelverket for bruk av avløpsslam som råstoff til produksjon av fosforsyre med renhet $\geq 95\%$ som komponent i EUs gjødselverforordning CMC 15.

Vi har også sett nærmere på dagens grenseverdier av organiske miljøgifter.

BESKRIVELSE AV PROSJEKTGJENNOMFØRING

Prosjektet har blitt gjennomført i henhold til prosjektplanen, men det å samarbeide i den type prosjekt tok lengere tid enn hva vi forutså under utvikling av prosjektsøknaden, og ble forlenget.

Prosjektet er spesielt ved at:

- hele verdikjeden fra opphav av fosfor-rikt råmateriale til marked, er del av prosjektet
- det er på tvers av sektorer – avløpsslam med kommunalt ansvar og fiskeslam med private aktører
- hovedfokus har vært å finne resirkulerte mineralske sluttprodukter til et betalende marked OG
- se teknologiløsninger, sluttprodukt og regelverk i sammenheng
- har vurdert hele spektret av teknologiløsninger og prosesser for gjenvinning av fosfor, og basert på prioriteringer gjort i prosjektgruppen valgt ut to case-studier/lokalitet hvor det er laget en teknøkonomisk vurdering basert på løsninger
- I tillegg er det laget en state-of-the-art vurdering av teknologier med lavere modningsgrads og hvor sluttproduktene var fosforsyre og elementært fosfor.
- gått i dybden i EUs gjødselverforordning og spesielt mulighet for å få godkjent avløpsslam som råmateriale for produksjon av høyren fosforsyre ($>95\%$) og at sluttprodukt og ikke råmateriale vurderes for kvalitet.
- Beskrive forskjellen mellom avløpsslam og fiskeslam med tanke på gjenvinning av mineralsk P
- Vurdert ulike barrierer og hinder for gjennomføring av case 1 og 2
- Vurdert dagens status og behovet for virkemidler for å lykkes med gjenvinning av mineralsk P generelt.

Utfordringer med å få med sjømatindustrien inn i prosjektet og forsinket oppstart av prosjektet

Prosjektet hadde valgt å fokusere kun på avløpsslam og fiskeslam som råstoff (sekundær råstoff) til gjenvinning av fosfor. Det var viktig at å inkludere «problemeiere» av råstoffet i prosjektet. Fire avløpsrensaneanlegg ble forspurt om å bidra inn i referansegruppa august 2023, og alle takket ja.

Mens vi fikk ja av de fire avløpsrensaneanleggene som ble spurt, hadde vi store problem med å finne aktører fra sjømatnæringen, og det ble lagt ned mye ressurser i dette. Vi fikk ulike aktører til å hjelpe til, og leder i Sjømatforening ble kontaktet (av flere) i håp at de ville bidra/støtte på vegne av næringen. Sjømatbedriftene ble kontaktet og nå direktør for havbruk og marked, Kjetil Hestad, gikk om bord og inviterte alle sine medlemmer til et teamsmøte hvor Ecopro, Yara, NIBIO, presenterte prosjektet. Han støttet varmt prosjektet og vi vikk tilslutt til aktører som ble med inn i referansegruppa.

Oppstartmøte hvor vi inviterte bredt ut til mange aktører 14. februar 2024.

Ett oppstartmøte hvor en rekke aktører innen sjømatnæringen og rensaneanlegg, også noen andre aktører som var invitert via andre, ble avholdt. Hensikten med møtet var å presentere prosjektet og invitere aktører fra sjømatnæringen inn i referansegruppen og bidra med kontantbidrag.

Igjen mye tid til å forsøke å inkludere flere fra sjømatnæringen. Til slutt ble det akseptert at ikke det ikke var like mye bidrag fra sjømatnæringen som fra avløpslam.

Da det ble godkjent at bidraget fra sjømatnæringen var mindre enn avløpsbransjen, ble det avholdt første styringskomitemøte den 6. mai. 2024, selv om ikke konsortieavtale var ferdig.

Ettersom dette var en helt ny prosjektstruktur og finansiering for oss alle, tok det langt mer tid å få på plass en konsortieavtale en forutsett. Det var derfor at det ble bestemt å ha styringskomitemøte i mai 2024, hvor Ecopro tok ansvar for at vi kunne begynne arbeidet i prosjektet.

Endelig konsortieavtale var på plass i juli, men endelig signering av alle partnere ble på grunn av ferieavvikling 4. september.

Først styringskomitemøte ble avholdt 6. mai 2024, hvor det Ecopro tok ansvar for at prosjektet kunne starte opp. Det var likevel ikke før etter ferien at arbeidet kom i gang for fullt. Referansegruppemøter, bestående av alle aktører som bidrar med kontantbidrag, sammen med prosjektaktører, hadde i prosjektperioden 6 referansegrupper.

Arbeidsform:

I tillegg til jevnlig teamsmøter/telefon-samtaler, har det i løpet av prosjektet vært gjennomført to fysiske arbeidsmøter: 10 februar 2025 hos Danske Bank i Oslo og Yara, og 12 februar 2026 hos Yara Oslo.

Det har vært kontakt og møter med offentlig forvaltning for å få avklaringer på spørsmål vi har hatt, og for å gjøre prosjektet formål kjent på tvers av sektorer.

Formidling

Prosjektet har vært presentert i ulike møter, seminarer og konferanser.

Det er holdt flere presentasjon:

1. **Slakteriverk i Trondheim. Torsdag 19.-20. mars.2025. Trondheim.**
Tittel: Gjenvinning av fosfor-ressursene til et betalende marked – teknologier og markedsmuligheter. Om case-studier i et pågående prosjekt.
Morten Andersen, NCE aquatech cluster og Tore Fløan, Ecopro.
2. **Biogasskonferansen 2025. 25-26. mars 2025. Oslo**
Tittel: Veier til å resirkulere P-rike restråstoff til nye verdikjeder. Teknologi for gjenvinning av mineralsk fosfor og kartlegging av markedsmuligheter for gjenbruk av resirkulerte produkter.
Arne Haarr, Norsk Vann og Tore Fløan, Ecopro.
3. **Fellesmøte NCE aquatech cluster, norsk vann og civac**
Teamsmøte 10.09.2024. 44 eksterne deltagere og 5 fra prosjektgruppa.
4. **Conference November 2025. Manchester.**
From waste to valuable resources – the need for innovation in recycled. Tore Fløan, Ecopro.
5. **BioVoss konferanse 29. Oktober 2025.**
Tittel: Fra avfall til verdifulle ressurser – behov for innovasjon i resirkulert fosfor. Tore Fløan, Ecopro. Del av seksjonen En kikk i glasskula: Fremtidens blågrønne verdier.

Lenke til alle presentasjoner fra i seksjonen En kikk i glasskula: Fremtidens blågrønne verdier [Presentasjoner](#)

Program for dag to med Seksjon En kikk i glasskula: Fremtidens blågrønne verdier [Program dag 2](#)

6. **Seminar om Fremtidens renseanlegg og Sammen om slambehandling. Arrangør Norsk Vann og LUP. Oslo. 9. Desember 2025.**
Innlegg: Gjenvinning av fosfor-ressursene til et betalende marked – teknologier og markedsmuligheter. Om case-studier i et pågående prosjekt. Trine Eggen, NIBIO og Tore Fløan/Ecopro. [Program](#)

Oppstartmøte hvor vi inviterte bredt ut til mange aktører 14. februar 2024. Ett oppstartmøte hvor en rekke aktører innen sjømatnæringen og renseanlegg, også noen andre aktører som var invitert via andre, ble avholdt. Hensikten med møtet var å presentere prosjektet og invitere aktører fra sjømatnæringen inn i referansegruppen og bidra med kontantbidrag.

Utvalgte referanser

Belghit, I., Liland, N., Lundeby, A-K., Tibon, J. Araujo P., Sindre, H., Nilsen, H., Hagemann, A., Sele, V. 2024. Aquaculture sludge as feed for black soldier fly: Transfer of chemical and biological contaminants and nutrients. Waste Management. 187 (2024) 39-49.,

Brod, E., Henriksen, T.M., Ørnsrud, R, Eggen, T. 2023. Quality of fish sludge as fertiliser to spring cereals: Nitrogen effects and environmental pollutants. Sci. The Tot. Env., 875:162541.

FOR-2025-01-20-115. Forskrift om lagring og bruk av gjødsel mv.
[HTTPS://LOVDATA.NO/DOKUMENT/SF/FORSKRIFT/2025-01-29-115](https://lovdata.no/dokument/SF/FORSKRIFT/2025-01-29-115)

FOR-2025-01-20-116. Forskrift om produksjon, omsetning og import av gjødselvarer av organisk opphav og visse uorganiske gjødselvarer (gjødselvarerforskriften). [HTTPS://LOVDATA.NO/DOKUMENT/LTI/FORSKRIFT/2025-01-29-116](https://lovdata.no/dokument/LTI/FORSKRIFT/2025-01-29-116).

Henning, L.B, Blytt, L.D. 2023. Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam – Resultater fra undersøkelsen i 2022/23. Norsk Vann rapport 283/2023.

Malzahn, A.M., Sele, V., Belghit, I., Tibon, J., Nilsen, H., Sindre, H., Liland, N.S., Hagemann, A. 2024. Transfer and bioaccumulation of chemical and biological contaminants in the marine polychaete *Hediste diversicolor* (OF müller 1776) when reared on salmon aquaculture sludge. J. Environ. Management. 367, 122073.

Paulsrud, B., Sjølander, I., Eggen, T., Dombu, S.V., Øgaard, A.F., Hanserud, O.S. 2023. Nasjonal strategi for behandling og disponering av avløpsslam. Norsk Vann rapport 277/2023.

Pettersen, K.S., Sele, V., Araujo P., Belghit, I., Benestad, S.L., Bernhoft, A., Booth, A.M., Eriksen, G.S., Farkas, J., Handå, A.H., Hansen, B.H., Helgesen, K.O., Holst-Jensen, A., Nordtvedt, T.S., Norström, M., Owczarek-Koscielniak, Øines, Ø., Patel, S.J., Sindre H., Standal, I.B., Hagemann, A., 2025. Fish Sludge as Feed in Circular Bioproduction: Overview of Biological and Chemical Hazards in Fish Sludge and Their Potential Fate via Ingestion by Invertebrates.

Sele, V., Ali, A, Liland, N., Lundeby, A-K., Tibon, J. Araujo P., Sindre, H., Hagemann, A., Belghit, I., 2023. Characterization of nutrients and contaminants in fish sludge from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) production sites - A future resource.