



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Tilgjengelig fosfor i kalkfelt avløpsslam

NIBIO RAPPORT | VOL. 3 | NR. 116 | 2017



Anne Falk Øgaard

Divisjon for miljø og naturressurser/Jordressurser og arealbruk

TITTEL/TITLE

Tilgjengelig fosfor i kalkfelt avløpsslam

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Anne Falk Øgaard

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
19.10.2017	3/116/2017	Åpen	8807	17/02910
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17- 01937-4	2464-1162	27		

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Miljøkalk AS

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Martin Mengede

STIKKORD/KEYWORDS:

Fosfor, kalkfelt avløpsslam, plantetilgjengelighet, jordstruktur

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Avfallsbaserte gjødselvarer

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten viser resultater fra vekstforsøk hvor plantetilgjengelig fosfor i kalkfelt avløpsslam fra Bokerøya og Skådevika (Flekkefjord) renseanlegg ble undersøkt. I tillegg viser rapporten resultater for slammets effekt på jordstruktur, målt som aggregatstabilitet. Fra Flekkefjord ble det inkludert to slamtyper; med og uten tilsetning av jern som hjelpekoagulant i vannrensingen. Slamm fra Bokerøya var med tilsatt jern. Vekstforsøkene inkluderte et potteforsøk i veksthus med tre høstinger av raigras og et to-årig feltforsøk (2015-2016) med korn på forsøksgården Øsaker i Sarpsborg kommune. Resultatene viste at kalkfelling har potensiale til å gi slam med høyere fosfortilgjengelighet enn Al/Fe-felt slam. Det forutsetter moderat bruk av jernsalter som hjelpekoagulant. Ingen av slamtypene ga statistisk signifikant effekt på aggregatstabilitet i jorda.

GODKJENT /APPROVED



NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



NAVN/NAME



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Denne rapporten viser resultater fra vekstforsøk hvor plantetilgjengelig fosfor i kalkfelt avløpslam fra rensesanleggene i Skådevika i Flekkefjord og Bokerøya ble undersøkt både i pottforsøk i veksthus og i feltforsøk ute. I feltforsøket ble også slammets effekt på jordstruktur, målt som aggregatstabilitet, undersøkt. Forsøkene er utført på oppdrag fra Miljøkalk AS. Rikard Pedersen, NIBIO har bidratt til den praktiske gjennomføringen av pottforsøket og utført målingene av aggregatstabilitet.

Ås, 19.10.17

Anne Falk Øgaard

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Materiale og metoder	6
2.1	Potteforsøk.....	6
2.1.1	Avløpslam	6
2.1.2	Jord.....	6
2.1.3	Gjennomføring av potteforsøket	6
2.1.4	Kjemiske analyser.....	8
2.2	Feltforsøk.....	8
2.2.1	Avløpslam	9
2.2.2	Jorda på feltforsøket	9
2.2.3	Forsøksplan og gjennomføring.....	11
2.2.4	Analyser.....	12
3	Resultater	14
3.1	Potteforsøk.....	14
3.1.1	Avling.....	14
3.1.2	Fosforopptak	15
3.1.3	Effekter på jord	17
3.1.4	Samlet vurdering av potteforsøket	18
3.2	Feltforsøk.....	18
3.2.1	Avling.....	18
3.2.2	Fosforopptak	19
3.2.3	Effekter på jord	20
3.2.4	Samlet vurdering av feltforsøket.....	23
4	Konklusjoner.....	24
	Litteraturreferanser	25

1 Innledning

Økonomisk drivverdige reserver av mineralsk fosfor (P) er begrenset, og effektiv resirkulering av fosforet er nødvendig for å sikre nok fosfor i framtiden. Fosfor i avløpsslam utgjør en betydelig fosforressurs. Cirka 1900 tonn fosfor samles årlig i norsk avløpsslam, og cirka 60 % av dette tilføres jordbruksarealer som jordforbedringsmiddel (Hanserud m.fl. 2015). Til sammenligning er årlig forbruk i Norge av fosfor i mineralgjødsel mellom 8500 og 9000 tonn.

De fleste renseanleggene i Norge bruker aluminium (Al) og/eller jern (Fe) til å fjerne fosforet i avløpsvannet. For å klare rensekravene er doseringen av Al/Fe høy i mange renseanlegg, og fosforet i avløpsslammet får dermed en lav plantetilgjengelighet (Krogstad m.fl. 2004, Øgaard 2013, Øgaard & Brod 2016). Dette fører til at tilførsel av slam i jordbruket gir bare en liten reduksjon i forbruket av mineralsk fosfor.

Kalking av Al/Fe-felt slam fører til at en del av fosforet som er bundet til Al eller Fe frigjøres og i stedet bindes til kalsium (Ca) (Øgaard & Brod 2016, Alvarenga m.fl. 2017). Vekstforsøk har vist at dette gir en høyere plantetilgjengelighet av fosforet i slammet. Det er derfor sannsynlig at bruk av kalk til rensing av avløpsvann i stedet for Al/Fe-salter vil gi mer plantetilgjengelig fosfor. Formålet med forsøkene som presenteres i denne rapporten var å dokumentere plantetilgjengelighet av fosforet i kalkfelt slam og sammenligne dette med tidligere forsøk med Fe/Al-felt slam. I tillegg ble slammets effekt på jordstruktur i leirjord undersøkt.

Det er bare noen få renseanlegg i Norge som bruker kalkfelling i renseprosessen. To av disse anleggene (Skådevika (Flekkefjord)- og Bokerøya renseanlegg) har levert slam til vekstforsøkene som presenteres i denne rapporten. Begge renseanleggene bruker jern som hjelpekoagulant, men renseanlegget i Flekkefjord kjørte en periode uten jerntilsetning, slik at vi også fikk et rent kalkfelt slam til forsøkene. Vekstforsøkene inkluderte et pottforsøk i veksthus med tre høstinger av raigras og et to-årig feltforsøk (2015-2016) med korn på leirjord på forsøksgården Øsaker i Sarpsborg kommune. I pottforsøket ble det brukt et fosforfattig vekstmedium, slik at fosforet i jorda ikke maskerte effekten av fosfor i slammet. I pottforsøket ble det også brukt mindre mengder slam per jordmengde enn det som er vanlig praksis i jordbruket for å sikre at eventuelle forskjeller i fosfortilgjengelighet mellom slamtypene ble synlige i forsøket. Feltforsøket ga mulighet til å studere effektene av kalkfelt slam under naturlig jordbruksforhold og med en dosering som er vanlig ved bruk av slam som jordforbedringsmiddel. Siden det var forventet små avlingseffekter i feltforsøket, undersøkte vi også effekten på tilgjengelig fosfor i jorda i tillegg til effekt på jordstrukturen.

2 Materiale og metoder

2.1 Potteforsøk

2.1.1 Avløpsslam

Tre typer kalkfelt avløpsslam ble inkludert i potteforsøket:

1. Bokerøya: Kalkfelling med jern (Fe) som hjelpekoagulant
2. Flekkefjord m/Fe: Kalkfelling med Fe og sjøvann som hjelpekoagulanter
3. Flekkefjord u/Fe: Kalkfelling uten Fe som hjelpekoagulant (men med sjøvann)

De to første slamtypene ble hentet fra renseanleggene i september 2014, mens den tredje slamtypen ble hentet i november 2014. Slammets kjemiske karakteristikk er presentert i Tabell 2-1. Utelatelse av Fe som hjelpekoagulant reduserte molforholdet Al+Fe/P fra 1,7 til 1,0 og økte andelen P-AL (lett tilgjengelig P) av total P fra 4 til 22 %. Slammet fra Bokerøya hadde et høyere jerninnhold, høyere verdi for molforholdet Al+Fe/P (3,3) og lavere P-AL/total P forhold (3 %) enn slammet fra Flekkefjord.

2.1.2 Jord

For å teste plantetilgjengelig fosfor i avløpsslammet, brukte vi et fosforfattig vekstmedium. Vanlig dyrka jord inneholder ofte så mye fosfor at det maskerer en del av effekten av fosfor i avløpsslammet. I dette forsøket bestod vekstmediet av næringsfattig sand fra Elverum med torvinnblanding (4 vekt%).

2.1.3 Gjennomføring av potteforsøket

Det ble brukt 4 liters tette pottes som ble fylt opp med 5,7 kg tørr jord.

Hver av pottene ble sådd med 0,65 g frø av Italiensk raigras, av sorten «Macho». Graset ble høstet totalt 3 ganger, første gang 6 uker etter såing og deretter hver 4. uke.

Alle næringsstoffer unntatt fosfor ble tilsatt i mengder som skulle sikre at disse ikke begrenset veksten.

Næringsstoffene ble tilsatt i følgende mengder, beregnet som tilsvarende mengde på dekarbasis:

- Nitrogen (NH_4NO_3): 20 kg N/dekar ved start + 10 kg N/dekar etter hver høsting
- Kalium (K_2SO_4): 20 kg K/dekar ved start + 10 kg K/dekar etter hver høsting
- Magnesium (MgSO_4): 2,5 kg Mg/dekar ved start
- Svovel: 4,3 kg S/dekar ved start og 1,8 kg S/dekar etter hver høsting
- Mikronæring: B, Cu, Mn, Mo og Zn ved start

Slammet ble dosert etter totalfosfor i en mengde tilsvarende 6 kg P/dekar (120 mg P/potte).

Kontrollbehandlinger uten slam ble tilført mineralfosfor ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) i 2 nivåer tilsvarende 3 og 6 kg P/dekar (3P og 6P). I tillegg var det en kontrollbehandling uten fosfortilførsel (0P). Tilsvarende kontrollbehandlinger, men med ekstra kalk ble inkludert for å kunne skille ut eventuell pH-effekt på fosforopptaket (det vil si totalt seks kontrollbehandlinger).

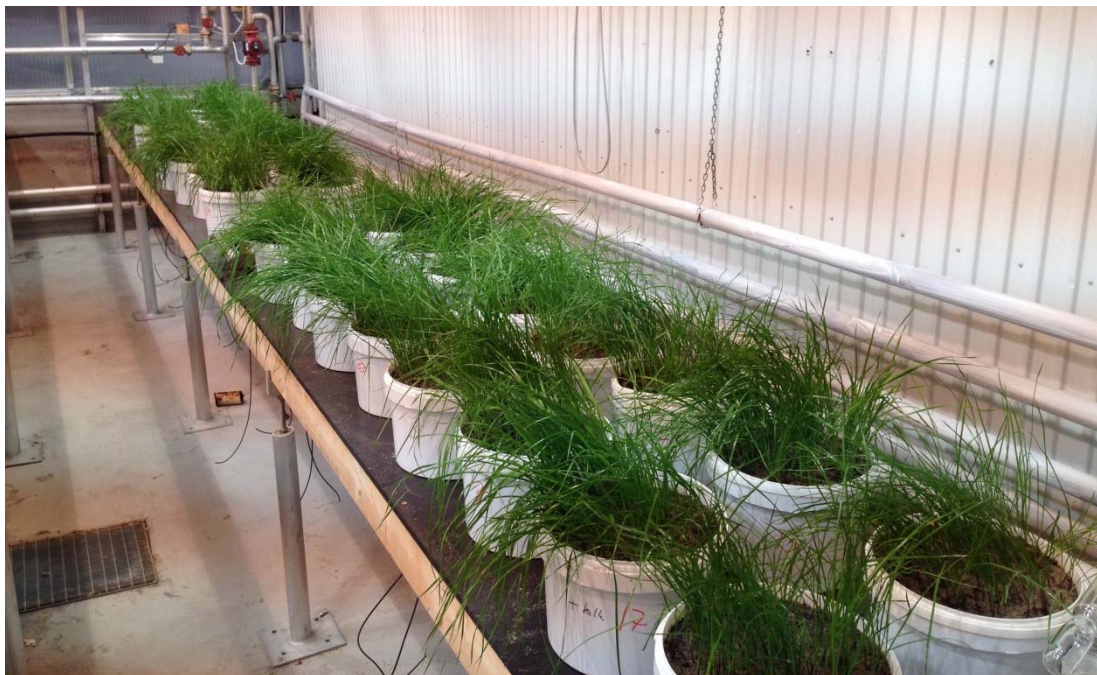
Forsøket ble gjennomført med tre gjentak for hver forsøksbehandling i perioden desember 2014 til mars 2015.

Tabell 2-1. Tørrstoff, glødetap, pH, ledningsevne, totalinnhold av makro- og mikroelementer og AL-løselige makronæringsstoffer i tørrstoffet (TS) i de ulike slamtypene som ble brukt i pottforsøket. Kvalitetsklasser for innhold av tungmetaller er angitt i parentes.

Parameter	Enhet	Bokerøya	Flekkefjord m/Fe	Flekkefjord u/Fe
pH		7,2	8,8	>11
Ledningsevne	mS/m	190	200	330
Tørrstoff	%	28,8	23,6	34,8
Glødetap	%	59,4	50,9	58,6
Kjeldahl-N	g/100g TS	2,5	1,8	2,8
Ammonium-N (KCl)	g/100g TS	0,695	0,183	0,043
Nitrat-N + Nitritt-N	g/100g TS	<0,0005	<0,0006	<0,0004
Fosfor	g/100g TS	0,99	0,62	0,73
P-AL	g/100 g TS	0,027	0,025	0,16
P-AL/total P	%	3	4	22
Jern	g/100 g TS	5,6	1,4	0,53
Aluminium	g/100 g TS	0,18	0,26	0,38
Kalsium	g/100g TS	7,0	12,0	8,6
Fe+Al/P	molforhold	3,3	1,7	1,0
Magnesium	g/100g TS	-	-	1,3
K-AL	g/100 g	0,092	0,058	0,077
Mg-AL	g/100 g	0,11	2,2	1,2
Ca-AL	g/100 g	8,9	12	11
Na-AL	g/100 g	0,033	0,62	0,33
Svovel	g/100g TS	0,35	0,20	0,40
Bor	mg/kg TS	<5,0	77	49
Mangan	mg/kg TS	250	1000	1000
Arsen	mg/kg TS	<1,8	<2,2	1,8
Sink	mg/kg TS	240 (I)	250 (I)	450 (II)
Bly	mg/kg TS	4,6 (0)	9,7 (0)	26 (0)
Nikkel	mg/kg TS	9,9 (0)	6,9 (0)	11 (0)
Kobber	mg/kg TS	65 (I)	57 (I)	72 (I)
Kadmium	mg/kg TS	0,22 (0)	0,33 (0)	0,58 (I)
Krom	mg/kg TS	3,9 (0)	14 (0)	62 (I)
Kvikksølv	mg/kg TS	0,124 (0)	0,759 (II)	0,452 (I)

Pottene stod i veksthus med regulerte temperatur- og lysforhold, slik at de hadde lys i 16 timer per døgn og minimum dag- og natt-temperatur på henholdsvis 18 og 15 °C. Pottene ble vannet tre ganger per uke opp til 60-70 % av jordas vannkapasitet. Avlingene fra hver av pottene ble tørket ved 60°C og veid. Avlingene fra to av gjentakene for hvert forsøksledd ble analysert for totalfosfor. På basis av avlingsmengde og fosforkonsentrasjon i avlingen ble fosforopptaket beregnet.

Det ble tatt ut jordprøver fra pottene etter 1. høsting og ved avslutning av forsøket. Jordprøver fra hver av de tre gjentakene ble slått sammen til leddvise prøver.



2.1.4 Kjemiske analyser

Slam: Alle analysene av slammet ble utført ved Eurofins.

Jord: Prøvene som ble tatt ut etter første høsting ble analysert for pH ved egen lab, mens prøvene som ble tatt ut ved avslutning av forsøket ble analysert hos Eurofins med standard jordanalysepakke for jordbruket (pH, ammoniumlaktat(AL)-løselig P, K, Mg og Ca). pH ble målt i vann med jord:væske forhold på 1:2,5. AL-løselige elementer ble bestemt etter metoden til Egnér m.fl. (1960), hvor jorda blir ekstrahert med en løsning som består av 0,1 M ammoniumlaktat og 0,4 M eddiksyre. Ekstraksjonsløsningen har pH 3,75. De AL-løselige næringsstoffene forkortes til P-AL, K-AL osv. I tillegg ble vannløselig fosfor bestemt ved Institutt for miljøvitenskap, NMBU. Jorda ble her ekstrahert med en svak saltløsning (0,0025 M CaCl₂) i et jord:væske forhold på 1:20.

2.2 Feltforsøk

Våren 2015 ble det anlagt et to-årig feltforsøk på Norsk Landbruksrådgiving Øst sine arealer på Øsaker i Sarpsborg kommune. Avlingsrespons på fosforgjødsling er ofte lav i norsk jordbruk, fordi det er tilført et overskudd av fosfor over flere tiår. Derfor var hovedfokuset i dette feltforsøket på effekten på tilgjengelig fosfor i jorda i tillegg til effekt på jordstruktur.

2.2.1 Avløpsslam

Tre typer kalkfelt avløpsslam ble inkludert i feltforsøket:

1. Bokerøya: Kalkfelling med jern (Fe) som hjelpekoagulant
2. Flekkefjord m/Fe: Kalkfelling med Fe og sjøvann som hjelpekoagulanter
3. Flekkefjord u/Fe: Kalkfelling uten Fe som hjelpekoagulant (men med sjøvann)

Slammet til feltforsøket ble hentet på renseanleggene i mai 2015, og er ikke likt slammet til pottforsøket siden det ble hentet på et senere tidspunkt. Slammets kjemiske karakteristikk er presentert i Tabell 2-2 . Utelatelse av Fe som hjelpekoagulant ved Flekkefjord reduserte molforholdet Al+Fe/P fra 2,4 til 1,4 og økte P-AL/total-P forholdet fra 15 til 17 %. Slammet fra Bokerøya hadde et høyere jerninnhold og lavere P-AL/total-P forhold (5 %) enn begge slamtypene fra Flekkefjord, mens molforholdet Al+Fe/P var på nivå med Flekkefjord m/Fe (2,2).

Sammenlignet med slammet til pottforsøket, hadde dette slammet fra Flekkefjord et høyere Al+Fe/P-molforhold, mens Bokerøya hadde et lavere Al+Fe/P-molforhold. P-AL/total-P-forholdet hadde ingen systematisk sammenheng med Al+Fe/P-molforholdet i disse tre slamprøvene.

2.2.2 Jorda på feltforsøket

Jorda er en mellomleire med cirka 5 % organisk materiale. Ved etablering av forsøket var jordas pH 6,1 og P-AL var 7,2 – 8,0 mg/100 g jord



Figur 2-1. Forsøksfeltet etter spredning av slammet.

Tabell 2-2. Tørrstoff, glødetap, pH, ledningsevne og totalinnhold av makro- og mikroelementer og AL-løselige makronæringsstoffer i tørrstoffet (TS) i de ulike slamtypene som ble brukt i feltforsøket. Kvalitetsklasser for innhold av tungmetaller er angitt i parentes.

Parameter	Enhet	Bokerøya	Flekkefjord m/Fe	Flekkefjord u/Fe
pH		7,5	>11	>11
Ledningsevne	mS/m	260	110	290
Tørrstoff	%	29	22	30
Glødetap	%	63	43	37
Kjeldahl-N	g/100 g TS	2,7	1,7	1,1
Ammonium-N (KCl)	g/100 g TS	1,0	0,06	0,06
Nitrat-N + Nitritt-N	g/100 g TS	0,0004	<0,0004	<0,0004
Fosfor	g/100 g TS	1,47	0,54	0,53
P-AL	g/100 g TS	0,075	0,082	0,089
P-AL/total P	%	5,1	15	17
Jern	g/100 g TS	5,2	2,1	1,2
Aluminium	g/100 g TS	0,26	0,1	0,08
Fe+Al/P	molforhold	2,2	2,4	1,4
Kalsium	g/100 g TS	10,6	10,9	15,3
Magnesium	g/100 g TS	0,15	1,5	2,4
K-AL	g/100 g TS	0,061	0,026	0,042
Mg-AL	g/100 g TS	0,11	1,9	2,2
Ca-AL	g/100 g TS	6,3	10	13
Na-AL	g/100 g TS	0,018	0,13	0,14
Svovel	g/100 g TS	0,5	0,2	0,18
Bor	mg/kg TS	50	<46	<34
Mangan	mg/kg TS	230	150	68
Molybden	mg/kg TS	1,8	<0,46	0,41
Sink	mg/kg TS	200 (I)	220 (I)	180 (I)
Bly	mg/kg TS	3,9 (0)	7,3 (0)	4,4 (0)
Nikkel	mg/kg TS	5,3 (0)	9,1 (0)	5,4 (0)
Kobber	mg/kg TS	46 (0)	55 (I)	43 (0)
Kadmium	mg/kg TS	0,22 (0)	0,25 (0)	0,18 (0)
Krom	mg/kg TS	4,1 (0)	7,4 (0)	5,3 (0)
Kvikksølv	mg/kg TS	0,29 (I)	0,73 (II)	0,36 (I)

2.2.3 Forsøksplan og gjennomføring

Feltsesongen 2015

Feltforsøket hadde følgende forsøksplan i 2015:

1. Avløpsslam Bokerøya, 1 tonn TS/dekar + 7 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
2. Avløpsslam Flekkefjord u/Fe, 1 tonn TS/dekar + 10 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
3. Avløpsslam Flekkefjord m/Fe, 1 tonn TS/dekar + 10 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
4. 11 kg N/dekar med NPK (22-3-10)
5. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
6. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12) + kalk ved anlegg (170 kg kalksteinsmel/dekar)

Hver av forsøksbehandlingene hadde 3 gjentak.

Etter dagens reguleringer i gjødselverforskriften kan slam i kvalitetsklasse II tilføres i en mengde på 2 tonn tørrstoff (TS)/dekar. Vi har valgt å tilføre bare 1 tonn TS/dekar i feltforsøket, fordi dette er mer i samsvar med forventede endringer i gjødselverforskriften. Forsøksbehandlingene med slam fikk i tillegg tilført fosforfri mineralgjødsel. Mengden mineralgjødsel ble regulert etter slammets ammoniuminnhold for å gi riktig nitrogenmengde til kornet. Kontrollbehandlinger uten slam bestod av fosforholdig mineralgjødsel (NPK (22-3-10)) og fosforfri mineralgjødsel (Opti-NK (22-0-12)) med og uten ekstra kalk. Forsøksleddet med kalk ble inkludert for å kunne skille ut eventuell kalkingseffekt på jordstruktur og tilgjengelig fosfor i jorda.

Siden alle slamtypene ble tilført i samme mengde, ble fosfortilførselen ulik (Tabell 2-3). Slammet fra Bokerøya hadde mye høyere fosforkonsentrasjon enn slammet fra Flekkefjord og ga dermed betydelig høyere fosfortilførsel.

Slammet ble innarbeidet til 10-12 cm jorddybde ved harving. Feltet hadde grunn jordarbeiding (10-12 cm) med harving hele forsøksperioden.

Vekst i 2015 var bygg (sort Brage). Feltet ble sådd sent (27. mai) på grunn av mye regn etter ankomst av slammet til forsøksfeltet. Feltet ble høstet 9. oktober.

Tabell 2-3. Fosfortilførsel til de ulike forsøksleddene.

Forsøksledd	2015	2016
	kg P/dekar	kg P/dekar
Bokerøy	14,7	0
Flekkefjord u/Fe	5,3	0
Flekkefjord m/Fe	5,4	0
NPK (22-3-10)	1,3	1,3
Opti-NK (22-0-12)	0	0
Opti-NK (22-0-12) + kalk	0	0

Feltsesongen 2016

I 2016 ble forsøksledd 4 gjødslet som i 2015 med 1,3 kg fosfor per dekar med fosforholdig mineralgjødsel, mens resten av feltet ble gjødslet med fosforfri mineralgjødsel. Feltforsøket hadde følgende forsøksplan i 2016:

1. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
2. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
3. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
4. 11 kg N/dekar med NPK (22-3-10)
5. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)
6. 11 kg N/dekar med Opti-NK (22-0-12)

Vekst i 2016 var vårhvete som ble sådd 13. mai og høstet 6. september.



2.2.4 Analyser

Planteanalyser: Totalfosfor i kornet ble analysert i sammenslåtte prøver for hver av forsøksbehandlingene i 2015, mens i 2016 ble det analysert i separate prøver fra hver av forsøksrutene.

Kjemiske jordanalyser: Jordprøver til kjemiske jordanalyser ble tatt ut fra hver av forsøksrutene før gjødsling og tilførsel av slam våren 2015 og hver høst etter høsting.

Alle jordprøvene ble analysert med standard jordanalysepakke hos Eurofins som beskrevet for jordprøvene fra pottforsøket (avsnitt 2.1.4). I tillegg ble prøvene fra våren 2015 og høsten 2016 analysert for vannløselig fosfor som beskrevet i avsnitt 2.1.4 og oksalatløselig Fe, Al og P bestemt etter metoden til van Reeuwijk (1995). Oksalatløselig Fe, Al og P kan brukes til å angi et mål på jordas fosforbindingsevne.

Aggregatstabilitet: Jordprøver fra hver av forsøksrutene ble tørket i romtemperatur og tørrsiktet i 3 minutter i en horisontal maskinell sikt med fire såld. Aggregatfraksjonene 0,6 – 2 mm og 2 – 6 mm ble brukt til måling av aggregatstabilitet. Målingene ble foretatt på hver av aggregatfraksjonene separat.

Aggregatstabiliteten ble målt ved bruk av en regnsimulator (Marti, 1984) (Figur 2-2). Regnsimulatoren består av dryppfrie dyser over en horisontal roterende disk. Det ble veid inn to prøver á 20 g per aggregatfraksjon og jordprøve (to gjentak per fraksjon) i sikter med 15 cm diameter og maskevidde på 0,5 mm. Siktene ble dusjet i 3 minutter med et vanntrykk på 150 kPa. Jorda som var igjen på siktene etter behandlingen ble tørket ved 105 °C og veid. Aggregat-stabiliteten ble beregnet som prosentvis andel jord som var igjen på sikten.



Figur 2-2. Regnsimulatoren som ble brukt til måling av aggregatstabilitet.

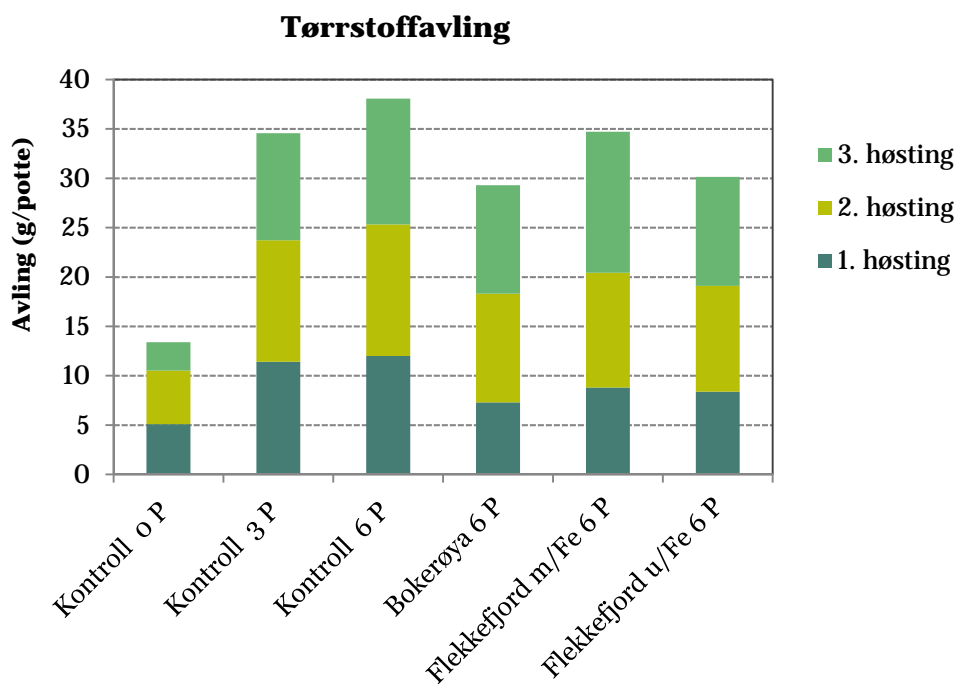
3 Resultater

3.1 Potteforsøk

Kontrollbehandlingene viste ingen effekt av kalking på tørrstoffavling og fosforopptak. I resultatene inkluderes derfor bare det ene settet med kontrollbehandlinger som fikk ekstra kalk.

3.1.1 Avling

Sammenlignet med kontrollbehandlingene uten fosforgjødsling ga alle slamtypene en tydelig fosforeffekt på avling, men ved første høsting var avlingen i pottene som fikk slam signifikant lavere enn i pottene som fikk mineralfosfor (*Figur 3-1, Tabell 3-1*). Dette gjaldt også ved halv mengde mineralfosfor. Ved andre og tredje høsting var forskjellene i avling mellom slam og mineralfosfor mindre. I sum for alle høstingene ga slam fra Bokerøya og Flekkefjord u/Fe signifikant lavere avling enn ved samme mengde mineralfosfor, mens for Flekkefjord m/Fe var denne forskjellen i sumavling ikke signifikant.



Figur 3-1. Gjennomsnittlig tørrstoffavling for tre høstinger av raigras ved tilførsel av 6 kg P/dekar (120 mg P/potte) med tre ulike kalkfelte slamtyper eller 0, 3 og 6 kg P/dekar med mineralfosfor.

Tabell 3-1. Gjennomsnittlig tørrstoffavling for tre høstinger av raigras ved tilførsel av 6 kg P/dekar (120 mg P/potte) med tre ulike kalkfelte slamtyper eller 0, 3 og 6 kg P/dekar med mineralfosfor. Middelerverdiene innen enkeltkolonnene som ikke er forbundet med samme bokstav er signifikant forskjellige.

	Tørrstoffavling (g/potte)							
	1. høsting		2. høsting		3. høsting		SUM	
Kontroll 0P	5,1	c	5,4	c	2,9	c	13,4	c
Kontroll 3P	11,4	a	12,3	ab	10,9	b	34,6	ab
Kontroll 6P	12,0	a	13,3	a	12,7	ab	38,1	a
Bokerøya 6P	7,3	b	11,0	b	11,0	b	29,3	b
Flekkefjord m/Fe 6P	8,8	b	11,6	ab	14,3	a	34,7	ab
Flekkefjord u/Fe 6P	8,4	b	10,7	b	11,0	b	30,1	b



Vekst ved andre høsting. Flekkefjord m/Fe i midten, kontroll uten fosfor til venstre og kontroll med største fosformengde til høyre.

3.1.2 Fosforopptak

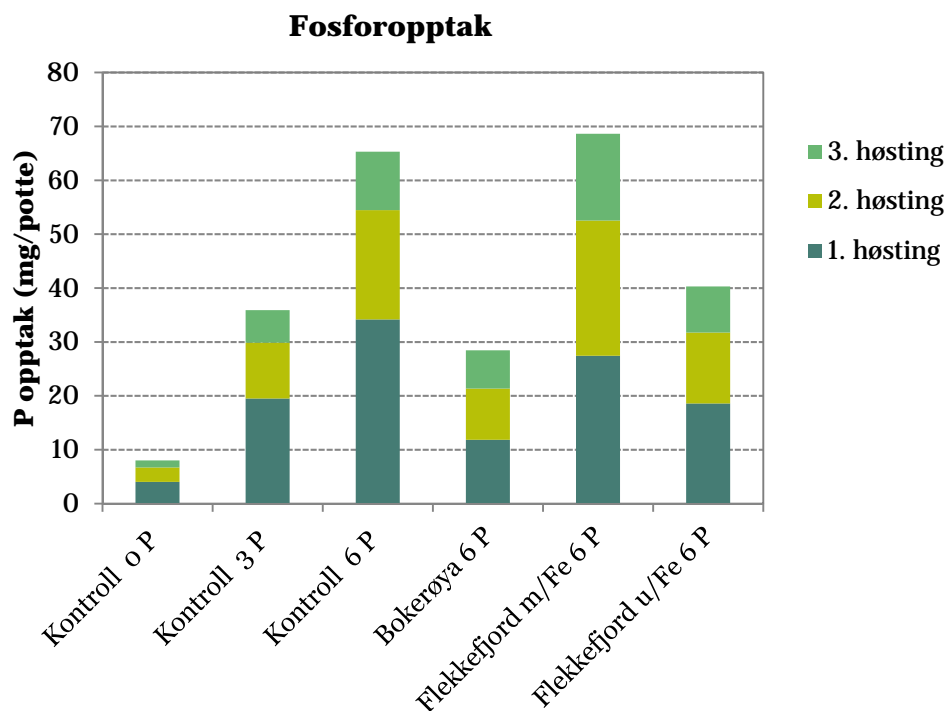
Fosforopptaket er en funksjon av tørrstoffavling og fosforkonsentrasjon i avlingen og gir et tydeligere bilde av forskjellene i tilgjengeligheten av fosfor i ulike kilder. Fosforkonsentrasjonen i grasset påvirkes av fosfortilgangen og kan øke uten at avlingen øker. Forskjellene i fosforopptak blir derfor større enn forskjellene i tørrstoffavling.

Ved første høsting var fosforkonsentrasjonen i grasset for Flekkefjord m/Fe på nivå med Kontroll 6P (Tabell 3-2). Ved de to påfølgende høstingene var fosforkonsentrasjonen signifikant høyest for Flekkefjord m/Fe. Bokerøya hadde fosforkonsentrasjoner på nivå med Kontroll 3P, mens Flekkefjord u/Fe hadde verdier som lå mellom de to andre slamtypene.

Tabell 3-2. Fosforkonsentrasjon i graset ved hver av de tre høstingene. Middelerverdier innen enkeltkolonnene som ikke er forbundet med samme bokstav er signifikant forskjellige.

	Fosforkonsentrasjon (mg P/g TS)					
	1. høsting		2. høsting		3. høsting	
Kontroll 0P	0,77	d	0,48	d	0,46	d
Kontroll 3P	1,75	c	0,86	c	0,58	cd
Kontroll 6P	2,87	a	1,58	b	0,89	b
Bokerøya 6P	1,62	c	0,87	c	0,63	cd
Flekkefjord m/Fe 6P	2,97	a	2,11	a	1,11	A
Flekkefjord u/Fe 6P	2,27	b	1,25	b	0,77	Bc

Fosforopptak i graset ved 1. høsting var signifikant høyest for Kontroll 6P, mens ved 2. og 3. høsting var det Flekkefjord m/Fe som ga høyest fosforopptak (Figur 3-2 og Tabell 3-3). I sum for alle høstingene var fosforopptaket fra Flekkefjord m/Fe og Kontroll 6P på samme nivå. Flekkefjord u/Fe ga overraskende resultat med signifikant lavere fosforopptak enn for Flekkefjord m/Fe, men ga likevel betydelig høyere fosforopptak enn Bokerøya.



Figur 3-2. Gjennomsnittlig fosforopptak for tre høstinger av raigras ved tilførsel av 6 kg P/dekar (120 mg P/potte) med tre ulike kalkfelte slamtyper eller 0, 3 og 6 kg P/dekar med mineralfosfor.

Tabell 3-3. Fosforopptak i graset i de enkelte høstingene og som sum av tre høstinger. Middelverdier innen enkeltkolonnene som ikke er forbundet med samme bokstav er signifikant forskjellige.

	Fosforopptak (mg P/potte)							
	1. høsting		2. høsting		3. høsting		SUM	
Kontroll OP	4,0	e	2,7	e	1,3	e	8,0	d
Kontroll 3P	19,5	c	10,4	d	6,0	d	35,9	bc
Kontroll 6P	34,2	a	20,3	b	10,8	b	65,3	a
Bokerøya 6P	11,8	d	9,5	d	7,1	cd	28,4	c
Flekkefjord m/Fe 6P	27,5	b	25,1	a	16,1	a	68,6	a
Flekkefjord u/Fe 6P	18,6	c	13,2	c	8,6	c	40,3	b

Fosforeffektivitet for slamfosfor angir fosforbidraget fra slam som prosentandel av fosforbidraget fra mineralfosfor. Ved beregning av fosforeffektivitet, tas det hensyn til fosforbidraget fra jorda (fosforopptak i Kontroll OP), og for 2. og 3. høsting tas det også hensyn til at ulike mengder fosfor er fjernet med foregående høstinger. Slammet fra Bokerøya hadde fosforeffektivitet på under 30% ved 1. og 2. høsting (Tabell 3-4). Flekkefjord u/Fe hadde også lav fosforeffektivitet, rundt 50%. Flekkefjord m/Fe hadde en mye høyere fosforeffektivitet med 77 % for 1. høsting og over 100% ved 2. og 3. høsting.

Tabell 3-4. Fosforeffektivitet for slamfosfor relativt til mineralfosfor.

	Fosforeffektivitet (%)		
	1. høsting	2. høsting	3. høsting
Bokerøya 6P	25	28	40
Flekkefjord m/Fe 6P	77	120	152
Flekkefjord u/Fe 6P	48	52	58

3.1.3 Effekter på jord

Bokerøya og Flekkefjord u/Fe ga litt høyere pH i jorda enn de kalkede kontroll-behandlingene, mens Flekkefjord m/Fe ga betydelig høyere pH (Tabell 3-5). Resultatet for Flekkefjord m/Fe er vanskelig å forklare ut i fra analyseverdiene av slammet (Tabell 2-1).

Flekkefjord m/Fe ga litt høyere konsentrasjon av vannløselig fosfor og P-AL i jorda, mens Flekkefjord u/Fe ikke ga noen tydelig økning i tilgjengelig fosfor i jorda til tross for at dette slammet hadde betydelig høyere P-AL/total P forhold enn de to andre slamtypene (Tabell 3-5 og Tabell 2-1). Dette resultatet har vi ingen god forklaring på. Slammet fra Bokerøya ga heller ingen økning i tilgjengelig fosfor i jorda selv om det ble tilført mye fosfor med denne slamtypen (Tabell 2-3).

Tabell 3-5. pH i jorda ved 1. og 3. høsting og P-AL, Vann-P, Mg-AL, Ca-AL og K-AL ved 3. høsting.

	1. høsting	3. høsting					
	pH	pH	P-Vann mg/kg	P-AL	Mg-AL mg/100 g	Ca-AL	K-AL
Kontroll 0P	6,7	6,8	0,2	<2,0	<1,0	32	2,6
Kontroll 3P	6,3	6,7	0,5	<2,0	<1,0	29	<2,0
Kontroll 6P	6,6	6,5	0,6	<2,0	<1,0	43	2,2
Bokerøya 6P	6,9	6,8	0,5	<2,0	<1,0	39	2,0
Flekkefjord m/Fe 6P	7,7	7,9	1,2	2,5	6	71	<2,0
Flekkefjord u/Fe 6P	6,9	6,9	0,5	<2,0	1,9	37	2,1

3.1.4 Samlet vurdering av pottforsøket

Slammet fra Bokerøya ga en fosforeffekt tilsvarende det som tidligere er funnet for kalkbehandlet Fe/Al-felt slam (Øgaard 2013, Øgaard & Brod 2016). Dette er bedre enn fosforeffekten som er funnet for Fe/Al felt slam uten kalkbehandling. Jerninnholdet i slammet fra Bokerøya var ganske høyt, og molforholdet Fe+Al/P på 3,3 var på nivå med det en kan finne i Fe/Al-felte slamtyper (Øgaard 2013, Øgaard & Brod 2016). Flekkefjord m/Fe hadde Fe+Al/P-molforhold på 1,7, mens for slammet uten jerntilførsel var forholdet 1,0. Den høye fosfortilgjengeligheten for Flekkefjord m/Fe tyder på at en moderat jerntilsetning gir liten eller ingen negativ effekt på tilgjengeligheten av fosforet. Det var bare i plantenes etableringsfase vi fant et lavere fosforopptak enn fra mineral-fosfor. Dette er i tråd med en finsk undersøkelse hvor det ble konkludert at fosfor i slam med Fe/P molforhold på 1,6 var mer tilgjengelig enn fosfor i mineralgjødsel (Kahiluoto et al. 2015).

Plantetilgjengeligheten av fosforet var mye bedre for Flekkefjord m/Fe enn for Flekkefjord u/Fe. Det må derfor ha vært også andre faktorer enn jerninnholdet som påvirket fosfortilgjengeligheten. En faktor som er tydelig forskjellig for disse to slamtypene er effekten på pH i jorda. Høyere pH i jorda med Flekkefjord m/Fe kan ha gitt høyere løselighet av Fe/Al-bundet fosfor, siden løseligheten øker med økende pH. Men det er forventet at fosfortilgjengeligheten blir lavere igjen ved pH>7 på grunn av mindre løselighet av kalsiumbundet fosfor ved høy pH. Jorda fra pottene med Flekkefjord u/Fe hadde pH i optimalområdet for fosfortilgjengelighet, mens Flekkefjord m/Fe hadde pH over optimalområdet (Tabell 3-5). Likevel hadde Flekkefjord u/Fe lavere plantetilgjengelighet av fosforet enn Flekkefjord m/Fe. Årsaken til de uventede resultatene for Flekkefjord-slammene har vi ikke funnet noen forklaring på. Forveksling av prøver har blitt sjekket ut. Det tyder derfor på at også andre faktorer enn jern kan ha en negativ effekt på fosfortilgjengeligheten i slammet.

3.2 Feltforsøk

3.2.1 Avling

Det var ingen statistisk sikre avlingsforskjeller mellom forsøksbehandlingene verken i 2015 eller 2016 (Tabell 3-6). Fosforet i jorda var tilstrekkelig for plantene til tross for at nivået av lett tilgjengelig fosfor (P-AL) tilsier behov for fosforgjødsling. Kornavlingene i 2015 ble ganske små på grunn av sen såing under litt ugunstige forhold. Gjennomsnittlig kornavling i 2015 var 344 kg/dekar, mens i 2016 var middelavlingen 515 kg/dekar.

Tabell 3-6. Gjennomsnittlig kornavling (med 15 % vann) for hver av forsøksbehandlingene i 2015 (bygg) og 2016 (vårhvete). Avlingstall innen år med like bokstaver er ikke signifikant forskjellig fra hverandre.

Forsøksledd	2015	2016
	kg/dekar	
Bokerøya	288 a	525 a
Flekkefjord u/Fe	337 a	512 a
Flekkefjord m/Fe	373 a	508 a
NPK (22-3-10)	341 a	530 a
Opti-NK (22-0-12)	355 a	489 a
Opti-NK (22-0-12) + kalk	371 a	524 a

3.2.2 Fosforopptak

Forsøksrutene med slam fikk tilført mye mer fosfor enn forsøksrutene med mineralfosfor (Tabell 2-3). Det ble tilført mer enn ti ganger så mye fosfor med slammet fra Bokerøya som med mineralfosfor. Tilført fosformengde med de ulike slamtypene var heller ikke lik, siden de ble tilført i lik tørrstoffmengde (1 tonn tørrstoff/dekar) for å sammenligne dem ved tilførselsmengder som brukes i praksis. Slammet fra Bokerøya hadde nesten 3 ganger så høy fosforkonsentrasjon som slammet fra Flekkefjord, og dermed også nesten tre ganger så stor fosfortilførsel. Gjennomsnittlig fosforkonsentrasjonen i korn fra rutene som hadde fått slam var høyere enn i korn fra ruter uten slam i 2015 (Tabell 3-7). Gjennomsnittsverdiene for 2015 gjenspeilet også de ulike tilførselsmengdene av fosfor med de ulike slamtypene, med høyere fosforkonsentrasjon i kornet for Bokerøya enn for Flekkefjord. Fosforanalysene ble foretatt på sammenslåtte prøver (en fra hver forsøksbehandling) i 2015, og forskjell mellom forsøksbehandlingene kunne derfor ikke testes statistisk. I 2016 analyserte vi kornprøver fra hver enkelt rute og eventuelle forskjeller mellom forsøksbehandlingene kunne derfor testes statistisk. Resultatene viste små og ikke signifikante forskjeller i fosforkonsentrasjon og fosforopptak andre år etter slamtilførsel (Tabell 3-7).

Tabell 3-7. Gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i tørrstoffet (TS), fosforopptak i kornet og gjenværende gjødselstoff (Rest-P = tilført P minus P i avling) i jorda for hver av forsøksbehandlingene. Fosforkonsentrasjon og fosforopptak i 2016 med like bokstaver er ikke signifikant forskjellig fra hverandre.

Forsøksledd	2015			2016		
	P g/kg TS	P-opptak kg/dekar	Rest-P kg/dekar	P g/kg TS	P-opptak kg/dekar	Rest-P kg/dekar
Bokerøya	5,5	1,3	13,4	4,5 a	2,0 a	11,4
Flekkefjord u/Fe	4,4	1,3	4,0	4,3 a	1,9 a	2,1
Flekkefjord m/Fe	4,1	1,3	4,1	4,2 a	1,8 a	2,3
NPK	4	1,2	0,1	4,2 a	1,9 a	-0,5
NK	3,9	1,2	-1,2	4,3 a	1,8 a	-3,0
NK + kalk	3,7	1,2	-1,2	4,2 a	1,9 a	-3,1

3.2.3 Effekter på jord

3.2.3.1 pH

Alle slamtypene økte middelverdiene for jordas pH (Tabell 3-8). Økningen i pH var størst for Flekkefjord u/Fe. Dette stemmer overens med at dette slammet også hadde høyest kalsiuminnhold, noe som indikerer et høyere kalkinnhold. I andre år etter slamtilførselen holdt pH seg på samme nivå som første høst etter tilførselen. Kalkingseffekten av jordbrukskalk i forsøksbehandlingen med fosforfri mineralgjødsel (NK) og kalk var tregere enn for slammet. Det var bare en liten økning i pH det første året ved tilførsel av jordbrukskalk, men pH-økningen fortsatte andre året og kom da opp på nivå med jorda som fikk tilført slam.

Tabell 3-8. Gjennomsnittlig pH i jordprøver tatt ut om våren før gjødsling og slamspredning og i prøver tatt ut hver høst etter høsting av feltet.

Forøksledd	Vår 2015	pH	
		Høst 2015	Høst 2016
Bokerøya	6,1	6,3	6,3
Flekkefjord u/Fe	6,1	6,7	6,7
Flekkefjord m/Fe	6,1	6,4	6,5
NPK	6,1	6,2	6,1
NK	6,1	6,1	6,1
NK + kalk	6,1	6,3	6,6

3.2.3.2 Totalfosfor

Etter to vekstsesonger var det fortsatt restfosfor i jorda etter slamtilførsel (Tabell 3-7). For Flekkefjordslam vil det meste være brukt opp i løpet av tre vekstsesonger, mens for Bokerøya vil det ta flere år uten fosfortilførsel før avlingene har fjernet en fosformengde tilsvarende tilført fosfor.

3.2.3.3 Oksalatløselig jern og aluminium

Oksalatløselig jern og aluminium er et mål på jordas innhold av amorfe (ikke-krystallinske) jern- og aluminiums(hydr)oksider. Disse forbindelsene har en stor reaktiv overflate, og har derfor stor betydning for fosforbinding i jord med pH < 7. Det ble tilført en del jern med slammet, men jerntilførselen ga ikke en signifikant endring i jordas konsentrasjon av oksalatløselig jern (Tabell 3-9), slik som vi har observert i forsøk med jernfelt slam (Øgaard & Krogstad 2014). Jordas konsentrasjon av oksalatløselig aluminium ble heller ikke påvirket av slamtilførselen. Jordas bindingsevne for fosfor økte derfor antagelig ikke.

Tabell 3-9. Tilført jern med slammet og endring i oksalatløselig jern (Fe-ox) i jorda fra vår 2015 (før gjødsling) til høst 2016. Gjennomsnitt av 3 gjentak. Verdier innen en kolonne med like bokstaver er ikke signifikant forskjellig fra hverandre.

Forøksledd	Tilført Fe	Endring Fe-ox
	kg/dekar	g/kg
Bokerøya	52	0,8 a
Flekkefjord u/Fe	12	0,7 a
Flekkefjord m/Fe	21	0,1 a
NPK	0	0,4 a
NK	0	0,2 a
NK + kalk	0	0,1 a

3.2.3.4 P-AL

Tabell 3-10 viser endringene i jordas P-AL-verdier etter slamtilførselen. Økningen i P-AL var størst for Bokerøya hvor det også ble tilført mest fosfor. Andelen av tilført fosfor som kunne gjenfinnes som P-AL første høst etter slamtilførselen, ble beregnet til 35 % for Bokerøya-slam. Tilsvarende tall for Flekkefjord u/Fe var 44 % og for Flekkefjord m/Fe 40 %. Disse tallene viser en sammenheng med slammets jerninnhold. Jo høyere jerninnhold, jo lavere var andelen fosfor som ble gjenfunnet som P-AL. I andre år etter slamtilførselen gikk P-AL-verdiene ned. Jorda med slam fra Bokerøya hadde fortsatt en noe høyere P-AL-verdi sammenlignet med startverdien, men nå kunne bare 14 % av gjenværende fosfor måles som økning i P-AL fordi fosforet bindes sterkere i jord over tid.

Jordvariasjon er antagelig årsak til at middelveien for P-AL i NK-leddet (uten fosforgjødsling) også økte fra vår til høst det første året.

Disse resultatene kan sammenlignes med norske feltresultater for andre slamtyper som ble tilført i samme mengde. Her ga ukalket Fe- eller Al/Fe-felt slam ikke tydelig endring i jordas P-AL-verdi (upubliserte data). Ved tilførsel av kalket Al/Fe-felt slam fra VEAS ble 38 % av tilført fosfor gjenfunnet som P-AL første høst etter slamtilførselen, og var dermed på nivå med kalkfelt slam.

3.2.3.5 Vann-P

Gjennomsnittlig konsentrasjonen av vannløselig fosfor (Vann-P) i jorda var lavere om høsten andre år etter slamtilførselen enn i jordprøvene som ble tatt ut før gjødsling av feltet (Tabell 3-10). Lavere verdier om høsten enn om våren skyldes antagelig plantevekst som har tappet det lettest løselige fosforet. Det var imidlertid en tendens til at nedgangen i vannløselig fosfor var mindre for jorda som ble tilført slam fra Bokerøya enn for de øvrige forsøksbehandlingene. Dette kan forklares med den mye større fosfortilførselen med Bokerøya-slam enn med de andre forsøksbehandlingene.

Tabell 3-10. Gjennomsnittlig P-AL og vannløselig fosfor (Vann-P) i jordprøver tatt ut om våren før gjødsling og slamspredning og etter høsting av feltet.

	P-AL (mg/100 g)			Vann-P (mg/kg)	
	Vår 2015	Høst 2015	Høst 2016	Vår 2015	Høst 2016
Bokerøya	7,4	11,8	9,0	1,08	0,97
Flekkefjord u/Fe	7,2	9,2	7,5	1,03	0,80
Flekkefjord m/Fe	7,3	8,6	7,3	1,07	0,79
NPK	8,0	8,4	8,2	1,24	0,86
NK	7,5	8,0	5,9	1,07	0,64
NK + kalk	7,5	7,5	7,0	1,10	0,77

3.2.3.6 Jordstruktur - aggregatstabilitet

Jordstrukturen påvirker mange viktige faktorer for plantevekst som rotutvikling og vann- og lufttilgang. Jordstrukturen har også betydning for jorderosjon ved at den påvirker jordas infiltrasjonsevne for vann og dermed risikoen for overflateavrenning og erosjon. I leirjord må de små leirpartiklene holdes sammen i større stabile aggregater for å gi en god jordstruktur. Aggregatstabilitet angir aggregatenes evne til å motstå ytre påvirkning som for eksempel regn, og er en viktig faktor for jordstrukturen på leirjord. Organisk materiale og mikrobiell aktivitet i jorda er faktorer som bidrar til stabilisering av jordaggregatene. Tilførsel av organisk materiale som for eksempel slam er derfor et tiltak som kan bedre aggregatstabiliteten.

I feltforsøket ble aggregatstabiliteten målt på to størrelsesfraksjoner, 0,6-2 mm og 2-6 mm, i jordprøver tatt ut 1 ½ år etter slamtilførsel. Gjennomsnittsverdiene viste en tendens til bedre aggregatstabilitet i jorda som fikk tilført slam fra Bokerøya eller Flekkefjord m/Fe sammenlignet med jorda som bare fikk mineralgjødsel, men forskjellene var ikke statistisk signifikante (Tabell 3-11). Jorda som fikk tilført Flekkefjord u/Fe hadde litt lavere aggregatstabilitet. Vi har ingen forklaring på dette, og antar at det skyldes jordvariasjon. Utslagene på aggregatstabilitet etter slamtilførsel var mindre i dette forsøket enn ved tidligere forsøk hvor slamtilførselen var på 2 tonn tørrstoff/dekar (Øgaard et al. 2008). Dette tyder på at det trengs store slammengder for å få tydelig effekt på jordstrukturen, men ved gjentatte tilførsler bør en likevel kunne forvente bedret jordstruktur over tid.

Tabell 3-11. Gjennomsnittlig aggregatstabilitet for partikkelfraksjonene 0,6-2 mm og 2-6 mm i jordprøver tatt ut 1 ½ år etter slamtilførsel. Det er 6 målinger bak hvert av gjennomsnittstallene. Verdier innen en partikkelfraksjon med like bokstaver er ikke signifikant forskjellig fra hverandre.

Forøksledd	Aggregatstabilitet %	
	0,6-2 mm	2-6 mm
Bokerøya	75 a	78 ab
Flekkefjord u/Fe	71 a	71 b
Flekkefjord m/Fe	74 a	79 a
NPK	73 a	74 ab
NK	71 a	74 ab
NK + kalk	73 a	76 ab

3.2.4 Samlet vurdering av feltforsøket

Det var ingen effekt på avling av tilførsel av slam eller mineralfosfor. Fosforet som allerede var i jorda var tilstrekkelig for plantene. Fosforkonsentrasjonen i kornet og jordanalysene gjenspeilte imidlertid mer tilgjengelig fosfor i jorda etter tilførsel av kalkfelt slam.

Det så ut til at slammet ga en raskere pH-effekt i jorda sammenlignet med jordbrukskalk. I andre år etter slamtilførselen holdt pH seg på samme nivå som første høst etter tilførselen, mens for jordbrukskalk fortsatte pH-økningen andre året.

I dette forsøket var effekten av slam på aggregatstabilitet liten og ikke signifikant. Dette tyder på at det trengs større slammengder for å få tydelig effekt på jordstrukturen.

4 Konklusjoner

- Kalkfelling har potensial til å gi slam med høyere fosfortilgjengelighet enn Al/Fe-felt slam. Det forutsetter moderat bruk av jernsalt som hjelpekoagulant.
- Tilførsel av kalkfelt slam i feltforsøk ga økt innhold av lett tilgjengelig fosfor (P-AL) i jorda.
- Effekten på jordas aggregatstabilitet av slamtilførsel tilsvarende 1 tonn tørrstoff/dekar var liten og ikke signifikant.

Litteraturreferanser

- Alvarenga, E., Øgaard, A.F. & Vråle, L. 2017. Effect of anaerobic digestion and liming on plant availability of phosphorus in iron- and aluminium-precipitated sewage sludge from primary wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 75(7): 1743-1752. DOI: 10.2166/wst.2017.056
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische Boden-Analyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26, 199-215.
- Hanserud, O.S., Brod, E., Øgaard, A.F., Müller, D.B. & Brattebø, H. 2015. A multi-regional soil phosphorus balance for exploring secondary fertilizer potentials – the case of Norway. *Nutr. Cycl Agroecosys*, Open Access, doi:[10.1007/s10705-015-9721-6](https://doi.org/10.1007/s10705-015-9721-6).
- Kahiluoto, H., M. Kuisma, E. Ketoja, T. Salo, & J. Heikkinen. 2015. Phosphorus in manure and sewage sludge more recyclable than in soluble inorganic fertiliser. *Environmental Science and Technology* 49: 2115-2122.
- Krogstad, T., Sogn, T., Sæbø, A. & Asdal, Å. 2004. Resirkulering av fosfor i slam. *Grønn kunnskap* 8 (7), 41 s.
- Marti, M. 1984. Kontinuerlicher Getreidebau ohne Pflug im Südosten Norwegens-Wirkung auf Ertrag, physikalische und chemische Bodenparameter (På tysk). Department of Soil Fertility and Management. Agricultural University of Norway, ISBN: 82-576-3502-2, 155 s.
- Van Reeuwijk, L.P. 1995. Procedures for soil analysis. 12-2. Acid oxalate extractable Fe, Al, Si. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90-6672-052-2.
- Øgaard, A.F. 2013. Plantetilgjengelig fosfor i avløps slam – Testing av analysemetodikk for tilgjengelig fosfor. *Bioforsk RAPPORT* 8(34): 23s.
- Øgaard, A.F., & Brod E. 2016. Efficient phosphorus cycling in food production: Predicting phosphorus fertilization effects of sludge from chemical wastewater treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(24): 4821-4829. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05974
- Øgaard, A.F. & Krogstad, T. 2014. P applied with sewage sludge – Distribution on soil P fractions and effect on P sorption capacity. Poster at Phosphorus in Soil and Plants, 5th International Symposium, Montpellier, France.

NOTATER

NOTATER

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

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

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

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