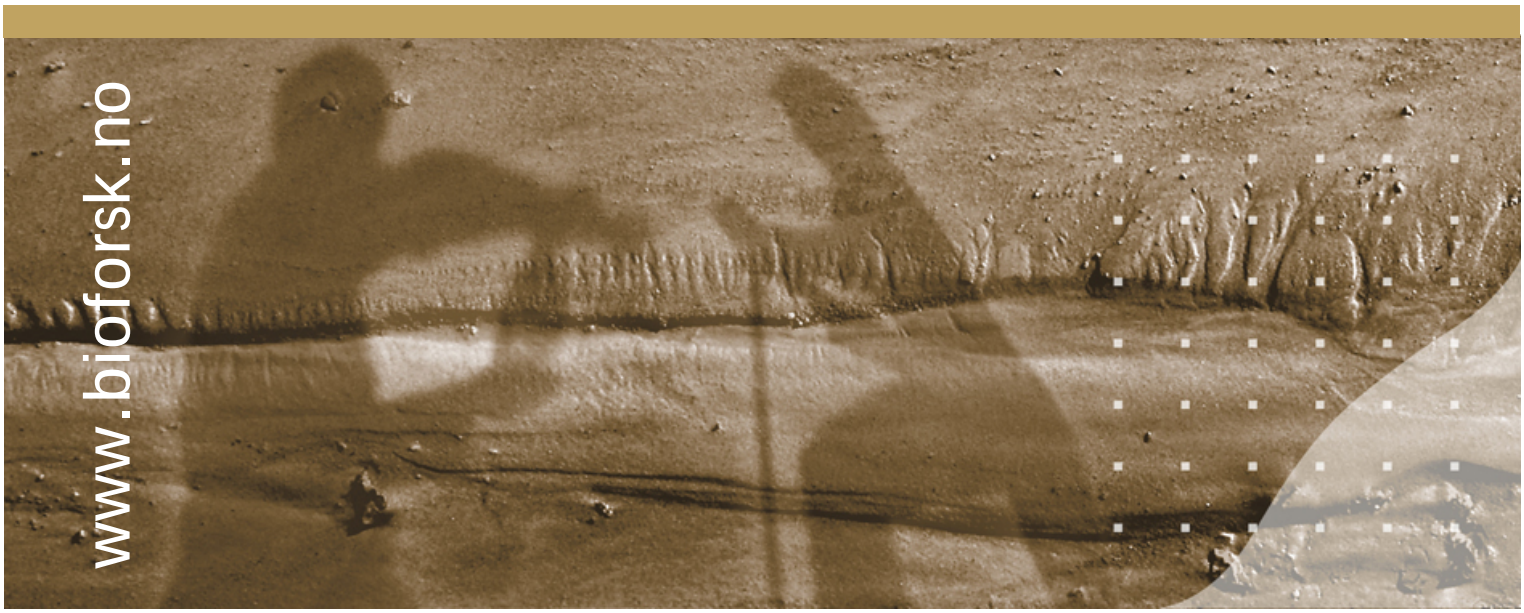
Bioforsk Rapport
Vol. 3 Nr.59 2008

Potensielle miljøeffekter av å tilføre avløpsslam til jordbruksarealer

Resultater fra to feltforsøk i korn, 1.forsøksår 2007

Anne Falk Øgaard, Heidi A. Grønsten, Tore E. Sveistrup, Anne Bøen, Sigrun H. Kværnø og Trond Knapp Haraldsen

Bioforsk Jord og miljø, Ås



Hovedkontor

Frederik A. Dahls vei 20, 1432 Ås

Tlf: 03 246

Fax: 63 00 92 10
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø
Frederik A. Dahls vei 20
1432 Ås
Tlf: 03 246
Faks: 63 00 94 10
jord@bioforsk.no

Tittel/Title:

Potensielle miljøeffekter av å tilføre avløpsslam til jordbruksarealer.
Resultater fra to feltforsøk i korn, 1. forsøksår 2007

Forfatter(e)/Autor(s):

Anne Falk Øgaard, Heidi A. Grønsten, Tore E. Sveistrup, Anne Bøen, Sigrun H. Kværnø og Trond Knapp Haraldsen

Dato/Date:	*Tilgjengelighet/Availability:*	*Prosjekt nr./Project No.:*	*Arkiv nr./Archive No.:*
12.06.2008	Åpen	2110170, 2110173-01	
Rapport nr.Report No.:	*ISBN-nr.:*	*Antall sider/Number of pages:*	*Antall vedlegg/Number of appendix:*
59/2008	978-82-17-00358-8	39	3

Oppdragsgiver/Employer:	*Kontaktperson/Contact person:*
NFR	
Norsk Vann (NORVAR)	Steinar Nybruket
VEAS	Arne Haarr
FREVAR	Knut Lileng
TAU	Dagfinn Fremstad

Stikkord/Keywords:	*Fagområde/Field of work:*
Aggregatstabilitet, avling, avløpsslam, fosfor jordstruktur, husdyrgjødsel, korn, tungmetaller	Vannkvalitet og arealbruk, Jordressurser og jordkvalitet

Sammendrag

I denne papporten presenteres resultater fra to feltforsøk i korn, anlagt på leirjord våren 2007, med tilførsel av tre typer avløpsslam (FREVAR, VEAS, TAU), husdyrgjødsel og mineralgjødsel. Formålet var å undersøke den potensielle miljøeffekten av å tilføre slam til jordbruksarealer. FREVAR og TAU bruker jernsalter til felling, mens VEAS bruker en blanding av jern- og aluminiumsalter. VEAS tilsetter hydratkalk ($Ca(OH)_2$), mens TAU tilsetter brent kalk som hygieniseringsmetode.

Sammenlignet med jord som fikk kun mineralgjødsel, ble aggregatstabiliteten signifikant bedre ved tilførsel av slam fra TAU og VEAS. Det ser ut til at det var kalkeffekten av TAU- og VEAS-slammet som hadde størst betydning for utslaget på aggregatstabiliteten. Det var en tendens til at tilførsel av organiske gjødselslag ga større rotmengde og mer bioporer.

Det ble tilført 29,6, 26,6 og 13,6 kg P/daa med henholdsvis VEAS-, FREVAR- og TAU-slam. Kalkbehandling av slammet ser ut til å bedre tilgjengeligheten av fosforet. VEAS slammet ga en svært stor økning i jordas innhold av lett tilgjengelig P (P-AL) på begge lokalitetene (+16 P-AL enheter på Ås, +15 P-AL enheter i Hobøl). TAU slammet ga en økning i jordas P-AL tall (+5 P-AL enheter i Ås, +6 P-AL enheter i Hobøl). Vannløselig P ble påvirket av behandlingene i mye mindre grad enn P-AL. VEAS slammet ga en betydelig økning i vannløselig P i Hobøl, men mye mindre i Ås. FREVAR slammet ga noe nedgang i vannløselig P på begge felt, noe som trolig skyldes et høyt jerninnhold i FREVAR slammet.

Tilførsel av slam ga økt avling i forhold til leddet som fikk bare mineralgjødsel. Avlingsøkningen var størst på feltet i Hobøl, som hadde dårligst jordstruktur. På feltet i Ås var det bare leddet med VEAS slam som ga signifikant større avling enn leddet med mineralgjødsel. Avlingsøkningen kan delvis tilskrives en nedbørrik vekstsesong hvor mineralnitrogen sannsynligvis har vært utsatt for utvasking, slik at gjødselslag som gir fra seg nitrogen gradvis vil hevde seg positivt.

Land/fylke:	Norge/Akershus og Østfold
Kommuner:	Ås og Hobøl
Sted/Lokalitet:	Universitet for miljø- og biovitenskap, Ås og Skaug, Hobøl

Delprosjektleder	Programleder
Anne Falk Øgaard	Trond Knapp Haraldsen

Forord

Denne rapporten er del av rapporteringen fra arbeidspakke fire (WP4) - "Miljøvirkninger ved bruk av organisk avfall" i det Strategiske Institutt Programmet (SIP) "Recycling organic waste – effects on soil quality, plant nutrition supply, and environmental impact" som går i perioden 2006 – 2010. Prosjektet er finansiert av Norges Forskningsråd (NFR). Undersøkelsene har fått større omfang ved samordning med prosjektet "Miljøeffekter av å bruke slam på landbruksarealer - struktureffekter og fosforets skjebne i jord- og vann" med finansiering fra Norsk Vann (NORVAR) og avløpsrenseanleggene FREVAR, VEAS og TAU.

Rapporten presenterer resultater fra to feltforsøk i korn som ble anlagt våren 2007 med tilførsel av tre typer avløpsslam, husdyrgjødsel og mineralgjødsel. Formålet var å undersøke den potensielle miljøeffekten av å tilføre slam til jordbruksarealer. Dette ble undersøkt ved å studere effekten av ulike slamtyper på jordstruktur og tilgjengelig fosfor i jord, begge faktorer som har betydning for risikoen for å tape fosfor fra jordbruksarealer. I tillegg ble effekter på avling og plantenes innhold av makro- og mikronæringsstoffer undersøkt. Feltforsøkene ble utført på to leirjordtyper på Østlandet. Det ene feltet ble anlagt hos Øyvind Lund, Skaug gård i Hobøl, mens det andre feltet ble anlagt på forsøksarealene til Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), Ås.

Feltforsøkene ble anlagt og drevet av følgende personer:

Forsøksringen SørØst: Per Ove Lindemark og Erling Øverjordet

Institutt for Plante- og miljøvitenskap, UMB: Toril Trædal og Øyvind Vartdal

Bioforsk Jord og miljø: Sigrun H. Kværnø, Tore E. Sveistrup, Anne Falk Øgaard, Geir Tveiti og Bjørn Solberg.

Innhold

1. Sammendrag 7

2. Innledning 9

3. Metoder 11
   3.1 Forsøkslokaliteter 11
   3.2 Forsøksopplegg 13
      3.2.1 Gjødsling 14
   3.3 Jordprøveuttak 14
   3.4 Jordstruktur og eroderbarhet 15
      3.4.1 Aggregatstørrelsesfordeling 15
      3.4.2 Aggregatstabilitet 15
      3.4.3 Visuell karakterisering av jordstruktur og biologisk aktivitet 15
   3.5 Kjemiske analyser av jord og organisk gjødsel 16
      3.5.1 Jord 16
      3.5.2 Organisk gjødsel 16
   3.6 Statistikk 16

4. Resultater og diskusjon 17
   4.1 Karakterisering av husdyrgjødsel og avløpsslam fra VEAS, FREVAR, og TAU 17
   4.2 Effekter på planter 19
      4.2.1 Innhold av makro- og mikronæringsstoffer i plantene 19
         4.2.1.1 Opptak av næringsstoffer i blad 19
         4.2.1.2 Opptak av næringsstoffer i kornet 20
      4.2.2 Avling 21
   4.3 Effekter på jord 23
      4.3.1 Jordkjemiske parametere 24
      4.3.2 Jordstruktur 26
         4.3.2.1 Aggregatform 27
         4.3.2.2 Aggregatstørrelsesfordeling 27
         4.3.2.3 Aggregatstabilitet 30
      4.3.3 Effekt på meitemarkaktivitet og rotutvikling 31

5. Konklusjoner 37

6. Referanser 38

7. Vedlegg 40

Vedlegg 1 - Aggregatstabilitet 41

Vedlegg 2 – Jordmorfologiske data 42

Vedlegg 3. Grynstruktur og meitemarkekskrementer 43

1. Sammendrag

To feltforsøk ble anlagt i korn på leirjord våren 2007 med tilførsel av tre typer avløpsslam, husdyrgjødsel og mineralgjødsel. Formålet var å undersøke den potensielle miljøeffekten av å tilføre slam til jordbruksarealer. Dette ble undersøkt ved å studere effekten av ulike slamtyper på jordstruktur og tilgjengelig fosfor i jord, begge faktorer som har betydning for risikoen for å tape jordpartikler og fosfor fra jordbruksarealer. I tillegg ble effekter på avling og plantenes innhold av makro- og mikronæringsstoffer undersøkt. Effekten av slam sammenlignes med effekten av mineralgjødsel og husdyrgjødsel (bløtgjødsel av storfe). Det ene av forsøksfeltene ble anlagt på bakkeplanert leirjord som har relativt lavt innhold av organisk materiale, og hvor en derfor kan forvente en positiv virking på jordparametrene av slamtilførsel. Det andre feltet ble anlagt på leirjord uten tidligere bakkeplanering.

FREVAR og TAU bruker jernsalter til felling, mens VEAS bruker en blanding av jern- og aluminiumsalter. FREVAR bruker i tillegg sjøvann til fellingsprosessen. VEAS og FREVAR nytter anaerob stabilisering av slammet (utråtning), og utvinner metan gjennom denne prosessen. FREVAR benytter pasteurisering som hygieniseringsmetode. VEAS tilsetter hydratkalk ($Ca(OH)_2$) som sammen med vakuumtørking gir hygienisert slam. TAU tilsetter brent kalk som hygieniseringsmetode. Tungmetallanalysene av slammet viste at slammet fra TAU kom i kvalitetsklasse I, mens slammet fra VEAS og FREVAR kom i kvalitetsklasse II. Slam og husdyrgjødsel ble tilført i mengder som tilsvarer det som brukes i praksis, dvs 2 tonn tørrstoff per daa for slammet og 5 tonn/daa for husdyrgjødsla.

Sammenlignet med jord som fikk kun mineralgjødsel, ble aggregatstabiliteten signifikant bedre ved tilførsel av slam fra TAU og VEAS og husdyrgjødsel. Det var også en tendens til bedret aggregatstabilitet ved tilførsel av slam fra FREVAR, men forskjellen var ikke signifikant. Det ser ut til at det var kalkeffekten av TAU- og VEAS-slammet som hadde størst betydning for utslaget på aggregatstabiliteten. Det var imidlertid på den bakkeplanerte jorda betydelig mer meitemarkekskrementer og mer grynstruktur der det var tilført slam og husdyrgjødsel enn der det var tilført mineralgjødsel, noe som her sannsynligvis har bidratt til økt aggregatstabilitet. Når det gjelder aggregatstørrelsesfordeling hadde ingen av de organiske gjødselslagene signifikant betydning for andelen aggregater i den ønskede fraksjonen 0,6 -6 mm. Gjødselbehandlingene hadde heller ikke signifikant betydning for mengden grynstruktur. Studier av mengden bioporer (hovedsakelig meitemarkganger) og røtter viste at i middel ga tilførsel av organiske gjødselslag større rotmengde og mer bioporer. Variasjonen mellom gjentakene var imidlertid så stor at disse utslagene ikke var signifikante.

Mengde fosfor tilført med slam var 29,6, 26,6 og 13,6 kg P/daa for henholdsvis VEAS, FREVAR og TAU. Tilgjengeligheten av dette fosforet varierte mellom de ulike slamtypene, men for alle slamtypene var tilgjengeligheten betydelig lavere enn for husdyrgjødsel. Kalkbehandling av slammet ser ut til å bedre tilgjengeligheten av fosforet, spesielt når kalkbehandling kombineres med anaerob stabilisering. VEAS slammet ga en svært stor økning i jordas innhold av lett tilgjengelig P (P-AL) på begge lokalitetene, en økning på 16 P-AL enheter på Ås og 15 P-AL enheter i Hobøl. TAU slammet ga også en betydelig økning i jordas P-AL konsentrasjon. Her økte P-AL i middel med 5 P-AL enheter i Ås og 6 P-AL enheter i Hobøl. De andre behandlingene ga kun små endringer i P-AL tallene. Vannløselig fosfor ble påvirket av behandlingene i mye mindre grad enn P-AL. VEAS slammet ga imidlertid en betydelig økning i vannløselig fosfor i Hobøl, mens effekten var mye mindre i Ås. FREVAR slammet ga noe nedgang i vannløselig fosfor på begge lokaliteter, noe som antagelig skyldes et høyt jerninnhold i slammet. Det kalkbehandlede slammet fra VEAS og TAU økte pH med 1,1 – 1,5 pH-enheter, slik at middel pH var over 7 høsten etter slamtilførselen. Denne pH økningen har sannsynligvis bidratt til å øke AL løseligheten av jordas fosforinnhold.

Tilførsel av slam ga økt avling i forhold til leddet som fikk kun mineralgjødsel. Avlingsøkningen var størst på feltet i Hobøl. På feltet i Ås var det bare leddet med VEAS slam som ga signifikant større avling enn leddet med mineralgjødsel. Avlingsøkningen kan delvis tilskrives en nedbørrik vekstsesong

hvor mineralnitrogen sannsynligvis har vært utsatt for utvasking, slik at gjødselslag som gir fra seg nitrogen gradvis vil hevde seg positivt. Medvirkende årsak til de observerte avlingsutslagene kan være bedring av aggregatstabiliteten og en mulig bedre rotutvikling ved tilføring av organiske gjødselslag.

Analyser av blad- og kornprøver viste at slamtilførselen i liten grad påvirket opptaket av makro- og mikronæringsstoffer sammenlignet med bruk av mineralgjødsel eller husdyrgjødsel. Selv om pH i jorda økte ved tilsetning av kalkbehandlet slam, kunne det ikke påvises at opptaket av mangan og sink ble forskjellig i forhold til gjødsling med mineralgjødsel eller husdyrgjødsel.

2. Innledning

I Norge resirkuleres 62 % av avløpsslammet som produseres til landbruksarealer. Avløpsslam brukes i dag først og fremst som et jordforbedringsmiddel. På jordbruksarealer tillates brukt opp til 2 tonn TS/daa/10 år hvis slammet tilfredsstiller kravene til kvalitetsklasse II. Slam i kvalitetsklasse I tillates brukt i opp til 4 tonn TS/daa/10 år. Kvalitetsklassene er satt ut i fra innholdet av tungmetaller. Disse mengdene innebærer en betydelig tilføring av organisk materiale og næringsstoffer. Blant annet gir 2 tonn slamtørrstoff per daa en fosfortilførsel varierende fra ca 15-60 kg P/daa avhengig av hvilken slamtype som brukes. Totalt fosforinnhold i dyrka jord ligger ofte mellom 100 og 300 kg P/daa i matjordlaget. Tilførsel av maksimalt tillatt mengde slam kan dermed gi en betydelig økning i jordas totale fosforinnhold. Dette kan være negativt med hensyn til risiko for fosfortap. I flere land, bl.a. Sverige, er derfor mengden slam som kan tilføres begrenset ut fra fosforinnholdet i tillegg til innholdet av tungmetaller. Den store mengden organisk materiale som tilføres med slammet kan imidlertid ha en positiv effekt på jordstruktur og dermed jordas eroderbarhet. Lavere erosjonsrisiko vil kunne kompensere for den økte risikoen for fosfortap som skyldes store fosfortilførsler med slam.

Både biologiske og fysisk/kjemiske faktorer påvirker jordstrukturen. Organisk forbindelser og kationer som kalsium, magnesium, aluminium og jern bidrar til å binde leirpartiklene sammen i aggregater via fysisk/kjemiske prosesser (Brady & Weil, 1999). Biologiske faktorer som er viktig for sammenbinding av partikler er meitemarkaktivitet, røtter, sopphyfer og mikrobiell aktivitet (Brady & Weil, 1999). Ved tilførsel av husdyrgjødsel er det først og fremst det organiske materialet en forventer skal ha en strukturbyggende effekt ved at det stimulerer meitemark og mikroliv. Det tilførte organiske materiale utgjør ikke en stor mengde sammenlignet med jordas eget innhold av organisk materiale, men det tilførte materialet er mer lettomsettelig og bidrar til høyere mikrobiell aktivitet i jorda. Når det gjelder slam er det flere faktorer som kan tenkes å påvirke jordstrukturen. I tillegg til det organiske materiale kan fellingskjemikaliene (jern- og aluminiumsalter) og kalk og polymerer tilsatt slammet påvirke jordstrukturen. Kalkbehandling av avløpsslam kan gi et produkt som har kalkvirkning som er sammenlignbar med andre kalkingsmidler. Kalk og jern/aluminiumsalter vil bidra til å binde jordpartiklene sammen i stabile aggregater. Kalk kan dessuten stimulere mikrolivet i jorda, og dermed indirekte bidra til aggregatbygging. Polymerer (polyakrylamid) tilsettes slammet for å lette avvanningen. Tidligere utenlandske studier har vist at polyakrylamid kan bedre jordstrukturen i så små mengder som 1-4 kg/daa (Wallace & Wallace 1986, Trout et al. 1995, Flanagan et al. 1997, Norton & Dontsova 1998).

Fosfor i slam er ikke bare en potensiell forurensningskilde, det er også en betydelig fosforressurs. Reserver av mineralsk fosfor er begrenset, og effektiv resirkulering av fosforet i menneskeskapte systemer bør antakelig ha et større fokus enn det har i dag. SSB estimerte i 1999 at ca. 2000 tonn fosfor ble renset fra norsk avløp. Dette havner hovedsakelig i avløpsslam. Til sammenlikning er årlig norsk forbruk av fosfor i mineralgjødsel ca. 12 000 tonn. Tidligere laboratorie- og vekstforsøk i kar viste at det var stor variasjon i fosforgjødselverdi mellom ulike slamtyper (Krogstad et al. 2004). Forsøkene viste at over to vekstsesonger ble mellom 0 og 14 % av slamtilført fosfor tatt opp i avling. Tilgjengeligheten av fosforet som tilføres med slammet vil variere både med mengde og type fellingskjemikalier som er brukt og med slambehandlingsmetode.

Fra begynnelsen av 1970-tallet og over en 20-årsperiode ble det på Østlandet gjennomført flere forskningsprosjekt hvor virkningen på jord og avling av slamtilførsel ble studert. En del av disse forsøkene ble utført på bakkeplanerte arealer hvor det var behov for å få tilført organisk materiale. Bakkeplanering ble tidligere utført, særlig på 1970-tallet, for å øke arealet egnet for landbruksdrift tilpasset store maskiner. Matjordlaget ble i de første bakkeplaneringsprosjektene i liten grad tatt vare på og fulgte med ned i forsenkninger, mens undergrunnsjorda ble eksponert. I senere bakkeplaneringsprosjekter hvor matjordlaget bevisst ble tatt vare på, gikk likevel mye av matjorda

tapt. Den eksponerte undergrunnsjorda var ofte karakterisert ved dårlig struktur og lavt innhold av organisk materiale. I de fleste forsøkene ble det brukt større slammengder enn det som er tillatt brukt i praksis. Minste slammengde var ofte 5 tonn TS/daa, og største mengde kunne være 15 og helt opp til 30 tonn TS/daa. Resultatene ga generelt positive avlingsutslag og økt strukturstabilitet (Ekeberg 1991, Njøs 1972, 1973, 1978, 1980, 1991, Njøs & Hove 1984a, 1984b, 1984c, 1986, Vigerust 1996). I avrenningsforsøk på planert siltig mellomleire med lavt innhold av organisk materiale (2, 8 %) på Hellerud, Akershus ble det funnet at 2 t slam TS/daa innharvet ved anlegg av forsøket og siden vårharvet årlig ga 50 – 60 % reduksjon i jordtap i forhold til vårharving uten tilført slam (Lundekvam, 1997).

Fordi det er lite kunnskap om jordforbedrende virkninger og effekt på tilgjengelig fosfor i jord av avløpsslam tilført i tillatte mengder, ble det i regi av instituttprogrammet "Recycling organic waste – effects on soil quality, plant nutrition supply, and environmental impact" bestemt å sette i gang to feltforsøk våren 2007 med tilførsel av avløpsslam produsert etter ulike metoder, husdyrgjødsel og mineralgjødsel. Tilleggsfinansiering fra Norsk Vann og avløpsrenseanlegg gjorde det mulig å gjennomføre mer omfattende undersøkelser. Effekten på både jordstruktur og tilgjengelig fosfor i jord ble undersøkt, begge faktorer som har betydning for risikoen for å tape fosfor fra jordbruksarealer. Effekten av slam sammenlignes med effekten av mineralgjødsel og husdyrgjødsel. I tillegg ble effekter på avling og plantenes innhold av makro- og mikronæringsstoffer undersøkt. Det ene av forsøksfeltene ble anlagt på bakkeplanert leirjord som har lavt innhold av organisk materiale og derfor forventes å ha liten strukturstabilitet og en positiv virking på jordparametrene av slamtilførsel. Det andre feltet ble anlagt på leirjord uten tidligere bakkeplanering.

3. Metoder

3.1 Forsøkslokaliteter

To forsøksfelt ble etablert på leirjordsarealer våren 2007, et på areal i Hobøl (Skaug gård) som ble bakkeplanert på 60-tallet, og et på jordbruksareal uten bakkeplanering på Universitet for miljø- og biovitenskap (UMB), Ås. Begge arealene brukes til kornproduksjon. På arealet i Hobøl har det i perioden etter 1993 kun blitt gjennomført grunn jordarbeiding, vårharving til ca 10 cm dybde uten pløying, mens arealet i Ås har blitt pløyd stort sett hvert år. Jordarten er begge steder marin siltig mellomleire, men med et litt høyere leirinnhold på Hobølfeltet (Tabell 3.1.1). Jordas moldinnhold er høyere i jorda på Ås enn i Hobøl. Forsøkslokalitetene ved anlegg av feltene er vist i Fig. 3.1.1 og 3.1.2.

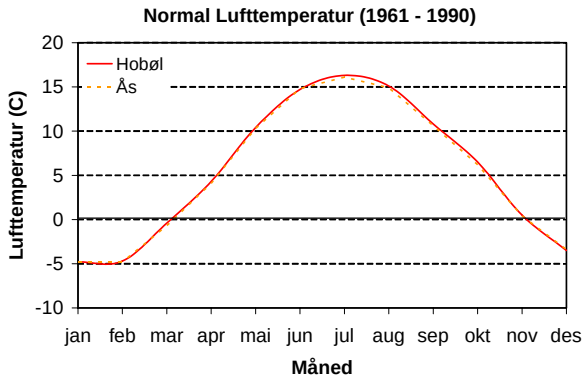
Figur 3.1.1. Anlegging av forsøksruter med slam- og husdyrgjødselspredning den 4.mai 2007 i Hobøl, Østfold. Foto: S.H. Kværnø.

Figur 3.1.2. Anlegg av forsøksruter med slam- og husdyrgjødselspredning 3.mai 2007 i Ås, UMB, Akershus. Foto T.E. Sveistrup

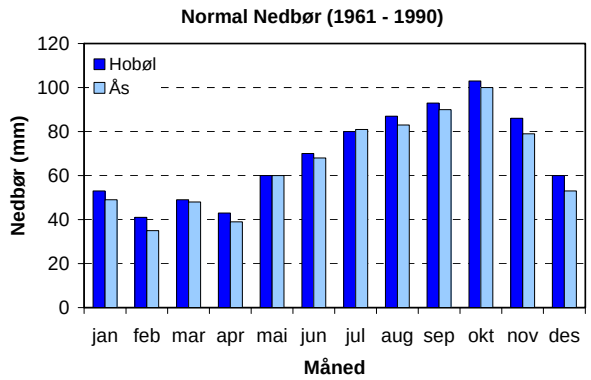
Tabell 3.1.1. Tekstur og jordkjemiske parametere for ruteforsøkene i Hobøl og på Ås ved start av forsøkene (mai 2007).

		Hobøl		Ås	
Parameter		**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**Gj.sn.**	**Min - Maks**
Leir	%	31	31	26	25 - 26
Silt	%	63	63 – 64	59	58 – 59
Sand	%	6	5 – 6	16	15 – 16
Org.mat.	%	3,1	2,6 – 3,4	4,4	4,0 – 4,7
Organisk C	g/100g	1,8	1,5 – 2,0	2,5	2,3 – 2,7
pH		6,0	5,8 – 6,3	5,9	5,5 – 6,2
P-AL	mg/100g	10,2	6,8 – 14,1	8,6	7,7 – 9,9
K-AL	mg/100g	16,0	14,2 – 17,5	20,1	18,2 – 21,3
Mg-AL	mg/100g	20,1	16,4 – 24,6	14,5	11,4 – 19,9
Ca-AL	mg/100g	145	135 - 156	118	88 - 142
Na-AL	mg/100g	1,9	1,6 – 2,0	1,6	1,4 – 1,8
Total P	mg/kg	1197	1058 - 1372	1197	1103 - 1244
Volumvekt	kg/l	0,98	0,95 – 1,0	0,99	0,97 – 1,03

De to forsøkslokalitetene ligger i en avstand på ca. 12 km i luftlinje. Klimaet i Hobøl og i Ås er følgelig ikke veldig forskjellig (Figur 3.1.3 og 3.1.4). Årsmiddeltemperaturen i siste normalperiode (1961 – 1990) var 5,4 °C målt i Hobøl (70 m.o.h.) og 5,3 °C i Ås (95 m.o.h.). Nedbøren derimot er jevnt over litt høyere hele året i Hobøl sammenliknet med i Ås. Årsnedbøren i siste normalperiode var hhv. 825 mm i Hobøl og 785 mm i Ås.



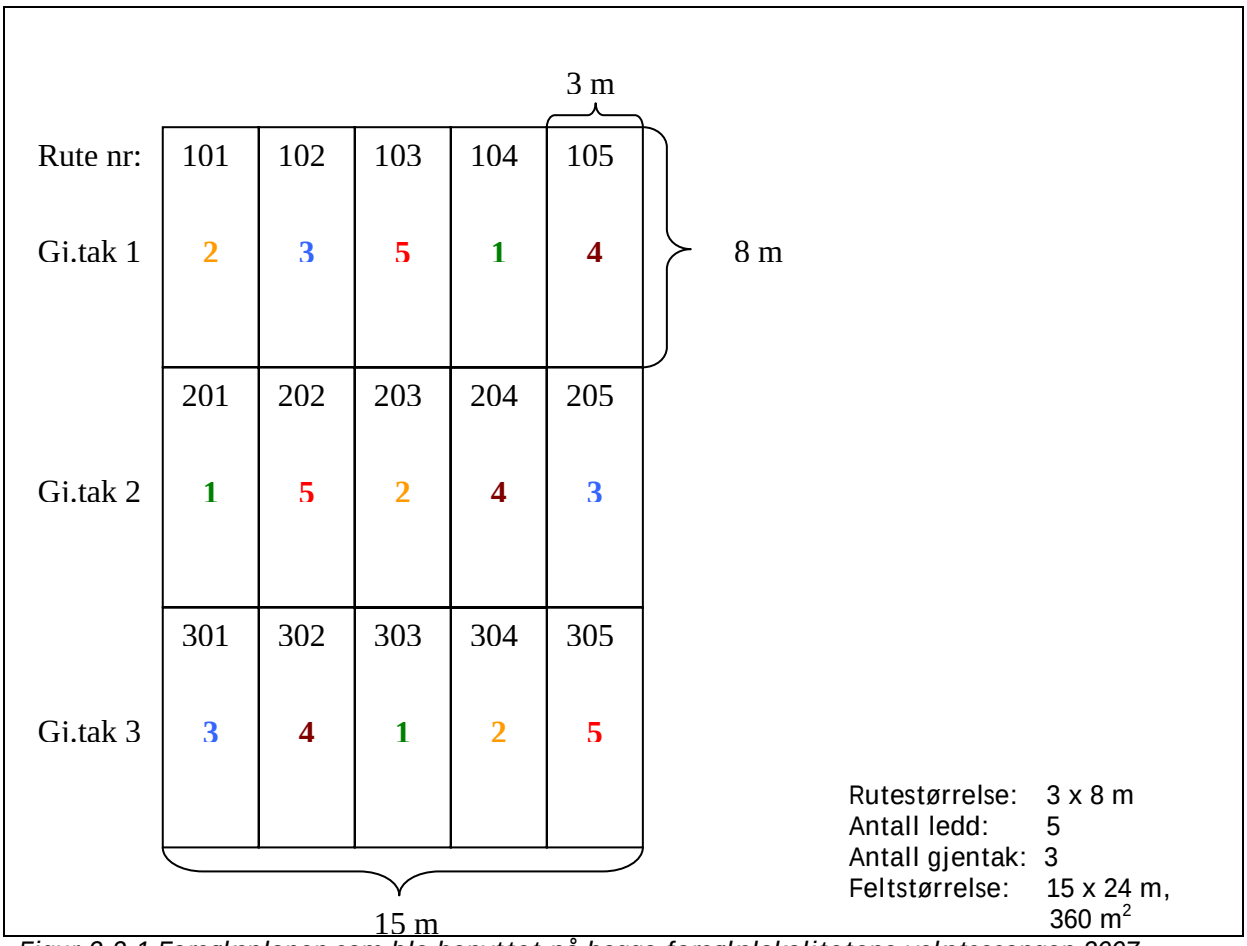
Figur 3.1.3. Månedlig lufttemperatur målt i Elvestad, Hobøl og i Ås i perioden 1961 – 1990. Kilde: met.no



Figur 3.1.4. Månedlig nedbørssum målt i Elvestad, Hobøl og i Ås i perioden 1961 – 1990. Kilde: met.no

3.2 Forsøksopplegg

Feltplanen som ble benyttet i vekstsesongen 2007 i Hobøl og på Ås er vist i Figur 3.2.1. Forsøksoppsettet fulgte en randomisert blokk design, med fem forsøksledd og tre gjentak. Hver rute var 3 m bred og 8 m lang (24 m^2).



Figur 3.2.1 Forsøksplanen som ble benyttet på begge forsøkslokalitetene vekstsesongen 2007.

Forsøksledd:
1. VEAS – avløpsslam (2 t TS/daa)
2. FREVAR – avløpsslam (2 t TS/daa)
3. TAU – avløpsslam (2 t TS/daa)
4. Husdyrgjødsel, bløtgjødsel storfe (5 t/daa)
5. Mineralgjødsel (kontroll)

På skiftet hvor forsøksarealet ble anlagt i Hobøl ble det høsten 2006 sådd høsthvete. Høsthveten på forsøksarealet ble sprøytet ned med Roundup før spredning av avløpsslam og husdyrgjødsel. Skiftet hvor forsøksfeltet i Ås ble anlagt, lå i kornstubb etter foregående års byggavling. Avløpsslam, husdyrgjødsel og mineralgjødsel ble spredd og innarbeidet grunt i jorda med horisontalvirkende rotorharv i Ås og med tindharv i Hobøl dagen etter spredning av gjødsla. Rutene ble deretter tilsådd med bygg og tromlet. Bladprøver ble tatt ut 18. juni 2007 og avlingene ble registrert ved høsting. Høsterutene var 12 m^2 i Ås og 9 m^2 i Hobøl.

Bløtgjødsel fra storfe ble levert fra fjøset ved UMB. Avløpsslam ble levert fra Vestfjorden avløpsselskap (VEAS), Tønsbergfjorden avløpsutvalg IKS (TAU) og FREVAR KF (FREVAR).

FREVAR og TAU bruker jernsalter (hovedskalig jernklorid) til felling, mens VEAS bruker en blanding av jern- og aluminiumsalter. FREVAR bruker i tillegg sjøvann til fellingsprosessen. VEAS og FREVAR nytter anaerob stabilisering av slammet (utråtning), og utvinner metan gjennom denne prosessen. FREVAR tar også inn et biogassubstrat i denne prosessen, som øker utbyttet av metan. FREVAR benytter pasteurisering som hygieniseringsmetode. VEAS tilsetter hydratkalk ($Ca(OH)_2$) som sammen med vakuumtørking gir hygienisert slam. TAU tilsetter brent kalk som hygieniseringsmetode. Det gir en sterk varmeutvikling (55 ºC) og høy pH.

Alle tre slamtypene var nyproduserte ved levering rett før anlegg av feltene.

3.2.1 Gjødsling

Alle slamtypene ble tilført i mengder som tilsvarer den maksimalt tillatte mengde for slam som holder kvalitetsklasse II, dvs. 2 tonn tørrstoff per daa. Husdyrgjødsla ble tilført i en mengde som er vanlig brukt i praktisk landbruk (5 tonn/daa).

I Ås fikk kontrolleddet 11 kg N/daa og 1,9 kg P/daa med mineralgjødsel (21-4-10). De øvrige leddene ble supplert med mineralgjødsel (21-4-10) i mengder tilsvarende 6 kg N/daa og 1,0 kg P/daa. I Hobøl ble hele skiftet overgjødslet med 55 kg 21-4-10 (11,3 kg N, 2,0 kg P) dagen før siste snøfall i begynnelsen av april 2007. Dette skjedde før feltplasseringen var planlagt. Ingen av leddene fikk derfor tilført mineralgjødsel ved anlegg av feltet. En kunne forvente at N tilførslene til ledd 1-4 ville bli i overkant av behovet siden gjødslingen før anlegg av felt tilsvarte gjødslingsbehovet til bygg. Innholdet av NH_4-N og total N i de ulike slamtypene og husdyrgjødsel er angitt i tabell 4.1.1. Virkningsgraden av N i slam og husdyrgjødsel ble estimert ved hjelp av tabeller i Gjødslingshåndboka til Bioforsk (www.bioforsk.no). En betydelig del av NH_4-N i den organiske gjødsla ble tapt til luft fordi det var solskinn og varmt vær ved spredning, og fordi gjødsla ikke ble nedmoldet før dagen etter spredning. Virkningsgraden av NH_4-N i slammet ble estimert til 40 %, og for husdyrgjødsla ble virkningsgraden satt til 50 %. Virkningsgraden av organisk bundet N (Total N minus mineralsk N (NH_4-N + NO_3-N) i slam og husdyrgjødsel ble estimert til 10 %. Beregnet tilført tilgjengelig N for de fire ulike typene organisk gjødsel ble da som følger:

1. VEAS – 5,0 kg N/daa
2. FREVAR – 8,3 kg N/daa
3. TAU – 4,6 kg N/daa
4. Husdyrgjødsel – 4,4 kg N/daa

Disse beregningene viser at rutene med avløpsslam fra FREVAR sannsynligvis har fått tilført mer tilgjengelig N enn de øvrige rutene.

3.3 Jordprøveuttak

Det ble tatt ut gjentaksvise jordprøver i 0-20 cm dyp for bestemmelse av jordas tekstur. Jordprøver til kjemiske analyser ble tatt ut rutevis om våren før gjødsling og om høsten etter høsting i 0-10 cm dyp. Det ble tatt ut ti stikk med jordbor til hver blandprøve.

Jordprøvene som skulle brukes til bestemmelse av aggregatstørrelsesfordeling og aggregatstabilitet ble tatt ut 18. september i oppholdsvær. Prøvene ble tatt ut rutevis og mest mulig uforstyrra med spade i de øverste 10 cm av jorda (jordarbeidingslaget) og fylt i 5 liters bøtter med tett lokk. Jordprøvene ble straks satt på kjølerom ved ca 4 °C hvor de ble oppbevart i ca 2 mnd før de ble tatt ut og klargjort for videre bestemmelse av aggregatstørrelsesfordeling og aggregatstabilitet.

Uforstyrrede jordprøver for studier av jordstruktur, biologisk aktivitet og graden av innarbeiding av slam i jorda, ble tatt ut rutevis i perioden 4. til 12. september i oppholdsvær. Prøver for mesostudier

under biokular ble tatt ut i tette plastbokser (18 x 11 x 7 cm) i 0-11 cm dybde og lagret i ca 4 måneder på kjølelager ved ca 4 °C før studiene ble gjennomført. Prøver for mikroskopstudier ble tatt ut rutevis i aluminiumsbokser (Kubïenabokser, 9 x 6 x 4 cm) i 0-9 cm dybde.

3.4 Jordstruktur og eroderbarhet

3.4.1 Aggregatstørrelsesfordeling

Store jordklumper i prøvene ble varsomt brukket opp og løsnet. Jordprøvene ble deretter tørket i romtemperatur (20 °C) i en uke. De tørre jordprøvene ble veid og tørrsiktet i 3 minutter i en horisontal maskinell sikt med fire såld (Njøs, 1967). Følgende aggregatfraksjoner ble deretter veid; < 0,6 mm, 0,6 - 2 mm, 2 – 6 mm, 6 – 20 mm og > 20 mm. Prosentandelen av hver enkelt fraksjon i jordprøven ble beregnet ut i fra vekt av den aktuelle fraksjonen etter sikting i forhold til vekten av hele prøven.

3.4.2 Aggregatstabilitet

Aggregatstabiliteten til aggregatfraksjonene 0,6 – 2 mm og 2 – 6 mm ble målt for hver jordprøve. Aggregatstabiliteten ble målt ved bruk av en regnsimulator (Marti, 1984). Dette er den metoden som er mest brukt i Norge.

Regnsimulatoren består av fire dryppfrie dyser (Tee-jet 8005E) over en horisontal roterende disk plassert i en metallramme. Det er 32 cm mellom dysene og den roterende disken. Det ble veid inn to prøver av 20 g per aggregatfraksjon og jordprøve (to gjentak per fraksjon). Siktene, med 15 cm i diameter og en maskevidde på 0,5 mm, ble fuktet og fikk renne av seg i 1 minutt. De innveide jordprøvene ble så fordelt jevnt utover siktene. Siktene ble satt på den roterende disken og vannet ble satt på i 3 minutter med et vanntrykk på 150 kPa. Etter at vannet var skrudd av ble jorda som var igjen på siktene forsiktig spylt ut og overført til et veid filterpapir. Jorda ble tørket i romtemperatur i en uke og deretter i varmeskap med 105 °C i ett døgn. Den tørre jorda ble veid for å bestemme den stabile andelen av jordprøven. Aggregatstabiliteten ble beregnet som prosentvis andel av tørr jord som var igjen på sikten etter stabilitetstesten i forhold til den opprinnelige mengden tørr jord (20 g). Den endelige aggregatstabiliteten (AS %) er gitt som gjennomsnittet av to gjentak.

Aggregatstabiliteten ble korrigert for innholdet av grov sand (0, 2 – 0,6 mm) som var hhv. 0.4 % for jorda i Hobøl og 1.8 % for jorda i Ås.

3.4.3 Visuell karakterisering av jordstruktur og biologisk aktivitet

Jordarbeidingslaget og øvre del av jordlaget under ble undersøkt rutevis i gravde profilsnitt ned til ca 30 cm dybde og på horisontalflater (50 x 50 cm) i 1 cm, 5 cm og 15 cm dybde. Det ble gravd en flate per rute. Følgende parametere ble beskrevet og registrert i henhold til retningslinjer fra FAO (1990): Jordstruktur (type og grad), rotmengde per flateenhet, tubulære makroporer per flateenhet (meitemarkganger), meitemark (antall), slamrester, annet.

Detaljstudier under biokular med hovedvekst på strukturforhold og spor av biologisk aktivitet ble gjennomført med et Leica biokular (MZ8) ved 10 x forstørrelse. Biokularet hadde fototube og bilder ble tatt med Nikon Digital Camera Coolpix 950. Følgende parametere ble beskrevet: Strukturtype med angivelse av relativ andel av de ulike typer, meitemarkekskrementer, røtter (relativ mengde og fordeling) og makroporer (relativ mengde og fordeling). Den relative mengdeangivelsen var firedelt: ingen, lite, middels og mye.

For mikroskopstudier (mikromorfologiske undersøkelser) av strukturforhold og spor av biologisk aktivitet, ble prøvene fra gjentak 2 sendt til Laboratory for Mineralogy and Petrology, Universiteit Gent i Belgia for preparering av tynnslipene. Tynnslipene lages ved at jorda tørkes i eksikator, impregneres med plastresin slik at prøven blir helt fast, som stein, og kan snittes i tynne plater. Snittene festes til glassplate og slipes ned til 30 µm tykkelse for studie under mikroskop og for fotografering. Prosedyren for preparering er beskrevet i Murphy (1986). Studiene gjennomføres med Leica DMLS petrografisk mikroskop. Beskrivelsene ble gjort i henhold til Stoops (2003).

3.5 Kjemiske analyser av jord og organisk gjødsel

3.5.1 Jord

Standard jordanalysepakke (pH, AL-løselig P, K, Mg, Ca og Na) som brukes ved rutineanalyse av jordprøver fra landbruket for å bestemme lett tilgjengelige næringsstoffer, ble utført på rutevise jordprøver. pH bestemmes i vann med jord:væske forhold på 1:2,5. AL-løselige elementer bestemmes etter metoden til Egnér et al. (1960) hvor jorda blir ekstrahert med en løsning som består av 0,1 M ammoniumlaktat og 0,4 M eddiksyre. Ekstraksjonsløsningen er sur (pH 3,75). De AL-løselige næringsstoffene forkortes til P-AL, K-AL osv. Alle rutevise prøver ble også ekstrahert med en svak saltløsning (0,0025 M $CaCl_2$) i et jord:væske forhold på 1:20. Denne ekstraksjonen tilsvarer vannløselig P. Jordas innhold av organisk materiale ble bestemt ved å måle innholdet av totalt organisk karbon og multiplisere dette med 1,724.

3.5.2 Organisk gjødsel

I tillegg til totalinnholdet av en rekke elementer ble også AL-løselig P, K, Mg, Ca og Na bestemt etter samme metode som den som brukes ved rutineanalyse av jordprøver fra landbruket. En lang rekke makro- og mikronæringsstoffer ble også bestemt etter CAT-metoden. Ved CAT-metoden ekstraheres det med en løsning som inneholder 0,01 M $CaCl_2$ og 0,002 M DTPA (pH 2,6).

3.6 Statistikk

Effekt av de ulike behandlingene på aggregatstørrelsesfordeling, aggregatstabilitet, bioporer, rotmengde og avling ble testet ved hjelp av variansanalyse. Statistikkpakken JMP 6.0 (SAS, 2005) ble brukt til den statistiske analysen av dataene. Tukey – Kramer HSD testen ble brukt til å sammenlikne gjennomsnitt for hver av de ulike behandlingene.

4. Resultater og diskusjon

4.1 Karakterisering av husdyrgjødsel og avløpsslam fra VEAS, FREVAR, og TAU

Ingen av de fire typene organiske gjødsel/jordforbedringsprodukter som ble undersøkt, hadde så lavt innhold av tungmetaller at de kom i klasse 0 (Tabell 4.1.1). Husdyrgjødsel og slammet fra TAU kom i klasse I, mens slammet fra FREVAR og VEAS kom i klasse II. Konsentrasjoner av enkeltelementer viser at alle hadde innhold av nikkel og krom innenfor klasse 0. Husdyrgjødsla fra UMB hadde sinkinnhold innenfor klasse I, mens avløpslammet fra TAU hadde innhold av kvikksølv i klasse I. I FREVAR slammet var innholdet av kadmium innenfor klasse II, mens de fleste andre tungmetaller var i klasse I for dette slammet. VEAS slammet hadde kvikksølv og kobberinnhold i klasse II, mens innholdet av sink og kadmium var innenfor klasse I.

TAU slammet hadde svært høy pH, mens pH for de øvrige typene organisk gjødsel/jordforbedrings-middel var mellom 7,7 og 8,6. Selv om både VEAS og TAU slammet inneholdt mye kalsium, var pH i disse slamtypene svært forskjellig.

Tabell 4.1.1. Totalinnhold av næringsstoffer og tungmetaller, pH, ledningstall og organisk materiale i avløpsslam og husdyrgjødsel.
Kvalitetsklasse for innhold av tungmetaller er angitt i parentes.

Parameter	Enhet	VEAS	FREVAR	TAU	Husdyrgjødsel
pH-S		8,6	7,69	12,44	7,9
Ledningsevne (NS-ISO 7888)	mS/m	360	495	918	1490
Tørrstoff	%	54,7	26,4	40,4	9,32
Glødetap	g/100g TS	37,4	43,9	34,0	85,3
Total org. karbon	g/100g	17,4	21,5	19,8	46,2
Kjeldahl-N	g/100g TS	1,97	2,50	1,98	3,33
C/N-forhold		8,8	8,6	10	14
Ammonium-N (KCl)	mg/100g TS	177	548	108	1500
Nitrat-N + Nitritt-N	mg/100g TS	0,7	<1,5	<0,8	11,8
Fosfor	g/100g TS	1,48	1,33	0,684	0,616
Kalium	g/100g TS	0,20	0,22	0,097	4,1
Kalsium	g/100g TS	12,5	1,45	18,1	1,34
Magnesium	g/100g TS	0,391	0,323	0,183	0,572
Natrium	mg/kg TS	697	1380	298	5120
Svovel	mg/kg TS	6400	9220	5950	4720
Bor	mg/kg TS	37,7	224	55,8	28,7
Kobolt	mg/kg TS	1,6	22,9	<1,5	<1,5
Jern	mg/kg TS	21000	116000	33700	899
Mangan	mg/kg TS	135	134	55,6	175
Molybden	mg/kg TS	<3,0	10,7	<3,0	5,9
Sink	mg/kg TS	243 (I)	373 (I)	134 (0)	172 (I)
Bly	mg/kg TS	15,5 (0)	42,1 (I)	12 (0)	<7,5 (0)
Nikkel	mg/kg TS	14,5 (0)	7,6 (0)	<2,0 (0)	2,2 (0)
Kobber	mg/kg TS	385 (II)	132 (I)	57,4 (0)	31,9 (0)
Kadmium	mg/kg TS	0,77 (I)	1,0 (II)	0,35 (0)	<0,1 (0)
Krom	mg/kg TS	13,3 (0)	33,8 (0)	11,3 (0)	2,6 (0)
Kvikksølv	mg/kg TS	0,69 (II)	0,43(I)	0,57 (I)	<0,08 (0)

Innholdet av Kjeldahl-N varierte fra 2-2,5 g/100 g TS i slamtypene og var 3,3 g/100 g TS i husdyrgjødsla. Andelen ammonium-N utgjorde 45 % av Kjeldahl-N i husdyrgjødsla, 22 % i FREVAR slammet, 9 % i VEAS slammet og bare 5,5 % i TAU slammet. Årsaken til den lave andelen av ammonium-N i VEAS- og TAU slammet er at ammonium overføres til ammoniakk og tapes til luft ved kalking. Alle slamtypene hadde C/N-forhold på 10 eller lavere. Det betyr at ved mikrobiell omsetning av det organiske materiale vil mineralsk nitrogen bli frigjort. Ved rask nedmolding etter spredning regner en at 80 % av mineralsk N og 10 % av organisk N er tilgjengelig for plantene første vekstsesong. Ut fra dette kan en forvente at FREVAR slammet skulle gi større avling enn VEAS- og TAU slammet.

Med tanke på avløpsslammets effekt på tilgjengelig fosfor i jord er jerninnholdet i slammet av interesse. Tabell 4.1.1 viser at jerninnholdet er betydelig høyere i FREVAR slammet enn i de to øvrige slamtypene. VEAS slammet hadde lavest jerninnhold av de tre slamtypene.

Tabell 4.1.2. CAT-løselige næringsstoffer angitt på våtvektbasis.

Parameter	Enhet	VEAS	FREVAR	TAU	Husdyrgjødsel
pH (NS-EN 13037)		8,3	7,8	>12	8,2
Ledningsevne (NS-EN 13038)	mS/m	170	119	647	432
Kjeldahl-N	mg/kg	10800	6610	8000	3110
NH_4-CAT	mg/kg	867	1190	305	1640
NO_3-CAT	mg/kg	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
P-CAT	mg/kg	<0,6	<0,6	<0,6	93
K-CAT	mg/kg	330	160	150	3700
Ca-CAT	mg/kg	810	<80	4000	<80
Mg-CAT	mg/kg	84	150	<0,3	400
Na-CAT	mg/kg	140	280	71	450
S-CAT	mg/kg	720	30	170	31
B-CAT	mg/kg	0,32	1,6	<0,18	0,8
Co-CAT	mg/kg	<0,1	0,22	<0,1	0,1
Fe-CAT	mg/kg	130	700	2,5	24
Mn-CAT	mg/kg	4,5	0,25	<0,09	7,7
Mo-CAT	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zn-CAT	mg/kg	17	0,1	1	0,67
Cu-CAT	mg/kg	32	0,09	6,7	0,6
AL-CAT	mg/kg	44	2,3	0,75	<0,3
Tørrstoff	%	33,6	42,2	30,2	9,32
Org. innhold (NS 2890)	g/100 g TS	54,7	26,4	40,4	85,0

CAT-metoden løste ikke ut fosfor fra slamtypene, mens det var noe CAT-løselig P i husdyrgjødsla (Tabell 4.1.2.). I FREVAR slammet er trolig fosforet sterkt bundet til jern, mens det i VEAS- og TAU slammet er bundet til kalsium. Heller ikke i aske har vi funnet at CAT-metoden løser ut fosfor, selv om det er en del tot. P i prøvene. CAT-metoden er således lite egnet til å vurdere løseligheten av kalsiumbundet fosfor.

Selv om alle tre slamtypene er felt med jernsalter, var det stor forskjell i mengden CAT-løselig jern mellom de ulike typene. Det var mest CAT-løselig jern i FREVAR slam og minst i TAU slam. Høy pH i TAU slammet og kalsium som dominerende ion, kan ha påvirket løseligheten av ulike metaller.

I husdyrgjødsla var det mer NH_4-CAT enn NH_4 løst i KCl, mens det i slamtypene var mindre NH_4 løst med CAT enn med KCl (Tabell 4.1.1. og 4.1.2.). Det var ikke påvisbare mengder nitrat-N med CAT-metoden i noen av disse materialene, mens nitrat-N med KCl-metoden ble påvist i VEAS slam og i husdyrgjødsla.

Det er mye som tyder på at mengdene CAT-løselig svovel kan variere mye mellom prøver. I 2007-prøven av FREVAR slam var det lite CAT-løselig svovel (30 mg/kg), mens det var mye i 2006 (1600 mg/kg). Forskjellene i S-total mellom årene var mye mindre (2006: 12500 mg/kg TS, 2007: 9220 mg/kg TS). For

VEAS slam var det liten forskjell i CAT-løselig svovel mellom 2006 og 2007-prøvene (2006: 650 mg/kg, 2007: 720 mg/kg), og heller ikke stor variasjon i mengden total svovel (2006: 7800 mg/kg TS, 2007: 6400 mg/kg TS). Det er vel kjent at det er lite plantetilgjengelig svovel i husdyrgjødsel, og mengden CAT-løselig svovel i husdyrgjødsla utgjorde 7 % av total S. Andelen CAT-løselig svovel varierte mye mellom slamtypene. Andelen var 33 % i VEAS slammet, 9 % i TAU slammet og bare 0,8 % i FREVAR slammet.

Tabell 4.1.3. AL-løselige næringsstoffer og pH i tørkede prøver av avløpsslam og husdyrgjødsel.

Parameter	Enhet	VEAS	FREVAR	TAU	Husdyrgjødsel
pH		8,3	6,7	12,4	8,9
Vol. vekt	Kg/l	0,36	0,65	0,24	0,09
P-AL	mg/100 g	262	36,6	82	439
K-AL	mg/100 g	130	59,3	54	3370
Mg-AL	mg/100 g	170	77,7	95	482
Ca-AL	mg/100 g	13800	407	14700	1100
Na-AL	mg/100 g	54	39,7	21	386

Det var stor forskjell mellom de ulike slamtypene og husdyrgjødsel i innhold av lett tilgjengelige næringsstoffer (Tabell 4.1.3.). Ut i fra Tabell 4.1.1. og 4.1.3. kan det beregnes at i husdyrgjødsla var over 70 % av fosforet AL-løselig, mens i VEAS slammet var 17,7 % av fosforet AL-løselig, 12 % var AL-løselig i TAU slammet og bare 2,8 % i FREVAR slammet. I 2006 var det mye mindre AL-løselig P i VEAS slammet, mens det var 2 % AL-løselig P i FREVAR slammet. Forskjellene mellom de ulike slampartiene kan skyldes ulik lagringstid av slammet. Alle tre slamtypene som ble brukt i 2007 var nyproduserte. Ved lagring av slammet er det en mulighet for at fosforet går over i mer tyngre tilgjengelige former, og dermed gir en lavere andel AL-løselig P.

Ca-AL viste større innhold av kalsium for VEAS slammet enn totalanalysen. Dette skyldes sannsynligvis feil i en av analysene. I prøven for 2006 var totalinnholdet av Ca 16,7 g/100 g TS og Ca-AL var 9,57 g/100 g. For TAU slammet var det rimelig forhold mellom totalinnholdet og AL-løselig kalsium.

pH ble bestemt både i henhold til NS-EN 13038, etter pH-S metoden og på tørket prøve. pH i henhold til NS-EN 13038 ga lignende resultat som pH-S metoden. Når en bestemte pH etter tørking av prøver, ble pH lavere for FREVAR slammet og høyere for husdyrgjødsel enn de to metodene som bestemmer pH i rå prøve (Tabell 4.1.1 – 4.1.3).

4.2 Effekter på planter

4.2.1 Innhold av makro- og mikronæringsstoffer i plantene

4.2.1.1 Opptak av næringsstoffer i blad

Det var små forskjeller mellom behandlingene i opptak av makronæringsstoffer i blad ved utviklingsstadiet Zadoks 30-31 (Hobøl) og Zadoks 32 (Ås) (Tabell 4.2.1). Innholdet av nitrogen var normalt for bygg. N-konsentrasjonen var noe større i bladene på Åsfeltet enn på Hobølfeltet.
Alle ledd hadde noe lavere innhold av fosfor, kalium, kalsium og magnesium enn normalverdiene for bygg (Aasen 1997), men det var likevel ikke så lave konsentrasjoner at det kunne karakteriseres som næringsmangel. Svovelinnholdet i bladene var i nedre del av normalinnholdet. Det var gjennomgående større konsentrasjoner av natrium i byggblad fra Hobølfeltet enn Åsfeltet, mens det for kalsium var motsatt forhold.

Tabell 4.2.1. Makronæringsstoffer i byggblad (18.06.2007)

		g/100 g TS						
Ledd	**Felt**	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Na**	**S**
VEAS	Ås	3,95	0,29	2,29	0,46	0,11	0,009	0,26
VEAS	Hobøl	3,23	0,30	2,48	0,30	0,11	0,015	0,23
FREVAR	Ås	4,21	0,31	2,51	0,39	0,10	0,009	0,28
FREVAR	Hobøl	3,78	0,24	2,72	0,33	0,12	0,017	0,29
TAU	Ås	3,96	0,29	2,43	0,41	0,09	0,008	0,24
TAU	Hobøl	3,41	0,30	2,56	0,35	0,11	0,012	0,25
Husdygj.	Ås	3,77	0,29	2,54	0,39	0,09	0,012	0,23
Husdyrgj.	Hobøl	3,01	0,27	2,46	0,30	0,10	0,015	0,20
Mineralgj.	Ås	3,99	0,29	2,40	0,38	0,09	0,008	0,24
Mineralgj.	Hobøl	3,02	0,26	2,33	0,29	0,10	0,015	0,19

Det var normalt innhold i byggblad av mikronæringsstoffene kobber og sink på begge felt (Tabell 4.2.2). For mangan var det bare FREVAR slammet som ga normal Mn-konsentrasjon. Alle andre behandlinger ga lavere Mn-konsentrasjoner enn normalt, særlig på Hobølfeltet. Selv om konsentrasjonene av mangan var lave, ble det ikke observert mangelsymptomer på kornet i felt. Aasen (1997) angir at mangankonsentrasjoner lavere enn 15-25 mg/kg bladtørrstoff vil tyde på mangel, og konsentrasjonene som ble målt lå i dette grenseområdet for mangel. Konsentrasjonene av bor og jern i byggbladene var større på Ås-feltet enn på Hobølfeltet, mens det ikke var sikre utslag av de ulike behandlingene. Alle ledd hadde høyere innhold av molybden enn normalt for byggblad i henhold til Aasen (1997).

Tabell 4.2.2. Mikronæringsstoffer i byggblad (18.06.2007)

		mg/kg TS						
Ledd	**Felt**	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Zn**	**Mo**	**B**	**Al**
VEAS	Ås	126	10,8	26,1	22,3	1,7	8,6	22,2
VEAS	Hobøl	91,3	10,4	16,2	29,7	1,3	4,8	19,0
FREVAR	Ås	111	10,0	30,6	27,3	1,4	7,6	21,8
FREVAR	Hobøl	85,6	10,3	32,9	35,8	<1	4,9	14,0
TAU	Ås	104	8,3	20,6	22,8	1,9	8,3	36,5
TAU	Hobøl	95,1	10,6	14,7	29,7	1,4	4,9	17,6
Husdyrgj.	Ås	114	8,8	19,9	24,9	1,7	7,4	26,0
Husdyrgj.	Hobøl	76,4	10,5	14,0	28,2	1,0	5,8	13,3
Mineralgj.	Ås	159	9,5	23,9	25,6	1,7	7,8	22,8
Mineralgj.	Hobøl	91,5	14,6	15,4	26,7	1,1	5,5	22,6

4.2.1.2 Opptak av næringsstoffer i kornet

Det var større N-konsentrasjoner i kornet på Åsfeltet enn på Hobølfeltet (Tabell 4.2.3). På Ås-feltet var det tydelig større N-konsentrasjoner på leddene med avløpsslam enn med husdyrgjødsel eller mineralgjødsel. Alle ledd hadde normale fosforkonsentrasjoner i kornet (0,4-0,5 g/100 g TS), og det var ingen tydelig forskjell mellom behandlingene bortsett fra at det var en tendens til høyere P konsentrasjon i kornet fra VEAS leddet på Ås. Høyere P konsentrasjon her samsvarer med at det var rutene med VEAS slam som ble tilført mest tilgjengelig P. Konsentrasjonene av K, Ca, Mg og S var lite påvirket av behandlingene og likt mellom felt. Innholdet av Na var større i kornet på Åsfeltet enn på Hobølfeltet, mens det var motsatt forhold for Na-konsentrasjonene i bladene.

Tabell 4.2.3. Makronæringsstoffer i byggkorn

		g/100 g TS						
Ledd	**Felt**	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Na**	**S**
VEAS	Ås	2,00	0,45	0,61	0,06	0,12	0,014	0,13
VEAS	Hobøl	1,57	0,43	0,49	0,05	0,13	0,004	0,10
FREVAR	Ås	1,94	0,41	0,59	0,05	0,11	0,013	0,13
FREVAR	Hobøl	1,56	0,43	0,51	0,05	0,13	0,005	0,11
TAU	Ås	2,02	0,43	0,62	0,06	0,11	0,012	0,13
TAU	Hobøl	1,63	0,42	0,49	0,05	0,13	0,004	0,11
Husdyrgj.	Ås	1,75	0,41	0,56	0,04	0,11	0,012	0,11
Husdyrgj.	Hobøl	1,61	0,43	0,48	0,05	0,12	0,004	0,10
Mineralgj.	Ås	1,73	0,40	0,57	0,04	0,11	0,012	0,11
Mineralgj.	Hobøl	1,58	0,42	0,50	0,05	0,12	0,004	0,11

Analysene av mikronæringsstoffer i byggkorn viste normale verdier for jern, kobber og sink (Tabell 4.2.4). Det var forskjell mellom Åsfeltet og Hobølfeltet for konsentrasjonene av mangan og bor i kornet. Mangankonsentrasjonene var lave for alle ledd, men likevel ikke så lave at det indikerte mangel. Det var imidlertid ingen sikre utslag av behandlingene på konsentrasjonene av mikronæringsstoffer i kornet.

Tabell 4.2.4. Mikronæringsstoffer i byggkorn

		mg/kg TS						
Ledd	**Felt**	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Zn**	**Mo**	**B**	**Al**
VEAS	Ås	60,3	8,9	19,3	35,2	<1	1,2	22,2
VEAS	Hobøl	61,2	6,0	15,4	31,2	<1	1,0	13,8*
FREVAR	Ås	41,9	8,1	20,4	35,8	<1	1,2	11,9
FREVAR	Hobøl	45,6*	6,5	14,5*	36,4	<1	<0,8	10,7*
TAU	Ås	51,7	10,7	18,8	37,5	<1	1,3	16,6
TAU	Hobøl	84,0	8,1	17,0	33,3	<1	<0,8	28,9*
Husdyrgj.	Ås	42,8	7,6	16,8	31,4	<1	1,1	10,9
Husdyrgj.	Hobøl	58,9	6,4	13,7	31,4	<1	<0,8	17,1
Mineralgj.	Ås	50,7	7,2	18,3	31,9	<1	1,0	15,7
Mineralgj.	Hobøl	45,7	6,6	16,9	37,0	<1	0,9	12,6*

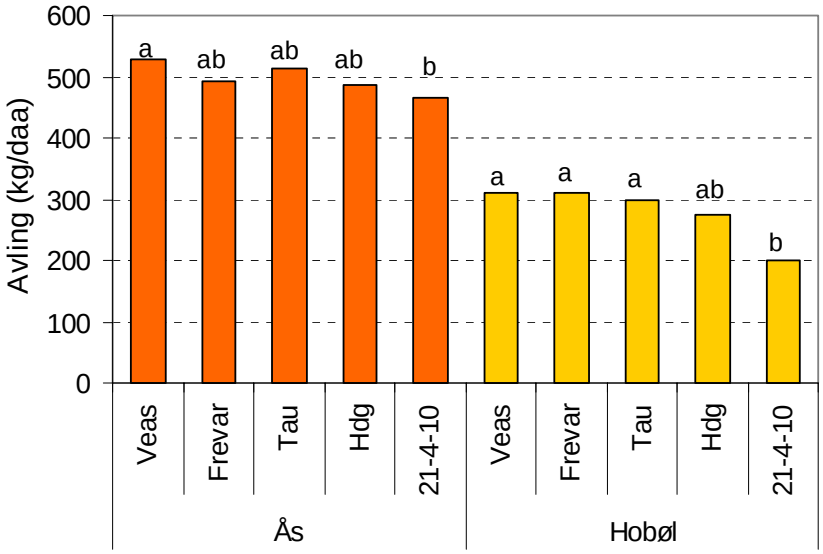
*Gjennomsnitt av to prøver i stedet for tre

4.2.2 Avling

Effekt på avlingsnivå av ulike typer slam er ikke blant de faktorene som det er hovedfokus på i denne undersøkelsen. Det ble supplert med mineralgjødsel i mengder som skulle sikre en tilstrekkelig næringsforsyning. Næringsforsyning er imidlertid bare en av faktorene som styrer avling. Faktorer som jordstruktur er også viktig for avlingsnivået, slik at det er interessant å se på avlingsnivået selv om det i forsøksoppsettet er lagt opp til at det skal være tilstrekkelig næringsforsyning.

Avlingsnivået var betydelig høyere på feltet i Ås enn i Hobøl. Middelavling for de ulike leddene varierte fra 467 til 530 kg bygg/daa i Ås, mens i Hobøl varierte middelavlingene fra 200 til 310 kg bygg/daa (Fig. 4.2.1). 1000-kornvekt var også lav for kornet fra Hobølfeltet. Middelverdi her var 27,9 g, mens middelverdien for kornet fra Ås var 35,3 g. De ulike avlingsnivåene kan til dels forklares med ulikt nivå av tilgjengelig nitrogen, selv om det i utgangspunktet ble gjødslet slik at nitrogentilgangen skulle være tilstrekkelig. Nitrogentilgangen i Hobøl ble noe usikker på grunn av den utilsiktede overgjødslingen av arealet en måned før etablering av feltet. En del av dette nitrogenet kan ha gått tapt ved utvasking, slik at nitrogentilgangen ble for lav når det ble valgt å ikke tilføre mineralgjødsel ved anlegg av feltet. Ved befaring 15. juni ble det observert lysere grønnfarge på plantene i Hobøl enn i Ås, og nitrogenanalysene av blad og kornprøver viser et lavere nitrogeninnhold i prøvene fra Hobøl enn i prøvene fra Ås (Tabell 4.2.1 og 4.2.2). Nitrogenkonsentrasjonen i planteprøvene fra Hobøl var

imidlertid ikke så lav at det indikerte mangel. Forskjellen i avlingsnivå skyldes sannsynligvis også dårligere fysiske vekstforhold i Hobøl enn i Ås. Jorda i Ås har høyere innhold av organisk materiale, og de fysiske jordundersøkelsene viste betydelig mer bioporer og en mer gunstig aggregatstørrelsesfordeling i Ås enn i Hobøl.



Figur 4.2.1. Middelavling for hver av behandlingene i Ås og Hobøl. Kolonner innen hvert av feltene med forskjellig bokstav er signifikant forskjellig fra hverandre.

Figur 4.2.2. Forsøksfeltene 1. august 2007, Hobøl til venstre og Ås til høyre. Foto T.E. Sveistrup

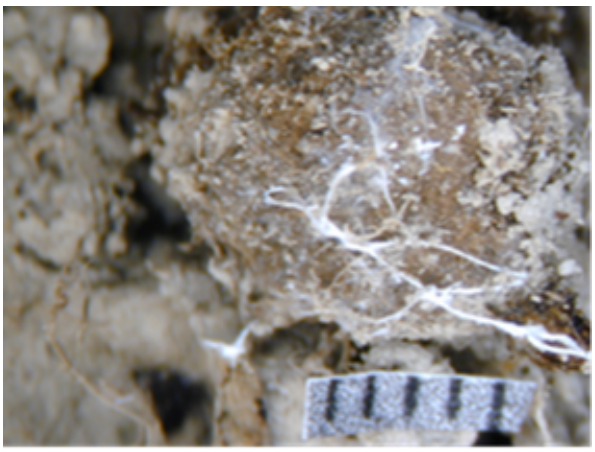
På begge feltene ga kontrolleddet med kun mineralgjødsel lavest middelavling (Fig. 4.2.1). På feltet i Ås var avlingen på leddet med mineralgjødsel signifikant lavere enn avlingen på VEAS leddet. I Hobøl var avlingen på leddet med mineralgjødsel signifikant lavere enn avlingen på alle slamleddene. Det var også en tendens til at husdyrgjødsel ga noe lavere avling enn avløpsslam. Denne forskjellen var imidlertid ikke signifikant. Estimering av nitrogenbidraget fra organiske gjødselslag er usikker. Det er derfor også usikkert om de observerte avlingseffektene skyldes bedre tilgang på nitrogen i leddene som

fikk slam, eller om det skyldes bedring av de fysiske jordforholdene. Vekstsesongen 2007 var preget av svært mye nedbør på Østlandet. Det kan derfor tenkes at organiske gjødselslag som gir fra seg nitrogen litt etter litt har bidratt til bedre nitrogenforsyning enn mineralgjødsel hvor alt nitrogenet er tilgjengelig fra gjødslingstidspunktet.

4.3 Effekter på jord

Mye av slammet var blitt blandet med mineraljorda ved at det var "spist" av meitemark og i stor grad gjenfunnet som deler av meitemarkekskrementer (Fig 4.3.1). Noen slamrester ble imidlertid gjenfunnet etter første vekstsesong i de øvre cm av jordlaget på de fleste forsøksrutene på begge feltene både i feltstudiene og i biokularstudiene. Slamrestene var til dels dekket med sopphyfer (Fig. 4.3.2). Dette viser at slammet bare ble delvis omsatt og "integrert" i jorda i løpet av den første vekstsesongen. Fosforrike slamrester i det øvre jordlaget etter vekstsesongen kan gi økt risiko for fosfortap ved avrenningsepisoder i løpet av påfølgende høst/vinterperiode. Rester av husdyrgjødsel ble gjenfunnet bare på ei av rutene.

Figur 4.3.1. Jord fra forsøksfeltet på Ås med meitemark og meitemarkekskrementer fra forsøksledd tilført slam fra FREVAR. Foto T.E. Sveistrup.



Figur 4.3.2. Slamrest av TAU slam bevokst med sopphyfer. Foto T.E. Sveistrup.

4.3.1 Jordkjemiske parametere

Jordas fosforinnhold har stor betydning for risikoen for å tape fosfor til vassdrag enten det er knyttet til eroderte partikler eller tapes som løst fosfor. Det totale fosforinnholdet i jorda før gjødsling var i middel 1197 mg P/kg jord begge steder. Dette tilsvarer ca 120 kg P i de øvre 10 cm. Ved slamtilførslene ble det tilført 13,6 til 29,6 kg P/daa avhengig av slamtype (Tabell 4.3.1). Dette betyr at tilførsel av slam innebærer en betydelig økning av jordas fosforkonsentrasjon, spesielt der dette blir innarbeidet grunt i jorda, slik det var tilfelle ved disse feltforsøkene.

Tabell 4.3.1. Beregnet tilførsel av total P og AL-løselig P per daa med tre ulike slamtyper og husdyrgjødsel. P-AL/Tot. P angir tilgjengeligheten av tilført fosfor.

Parameter		VEAS	FREVAR	TAU	Husdyrgjødsel
Tilførsel Tot.P	kg P/daa	29,6	26,6	13,6	2,9
Tilførsel P-AL	kg P/daa	5,2	0,8	1,6	2,1
P-AL/Tot.P	%	18	3	12	71

VEAS slammet var den slamtypen som hadde best tilgjengelighet av fosforet. (Tabell 4.3.1). Sammenlignet med husdyrgjødsel hadde imidlertid fosforet lav tilgjengelighet i alle slamtypene. Fellingskjemikalier som inneholder jern eller aluminium binder fosforet sterkt, slik at det blir lite plantetilgjengelig. Slammet fra VEAS og TAU er kalkbehandlet etter fellingsprosessen. Dette har antagelig bidratt til at en del av fosforet blir bundet til kalsium i stedet for jern, og dermed blitt lettere løselig ved ekstraksjon med AL løsning. Den store forskjellen mellom TAU og VEAS slammet i tilgjengelighet av fosforet tyder imidlertid på at det også er andre forhold som bidrar til å øke fosfortilgjengeligheten i slammet. God tilgjengelighet av fosforet i slammet er viktig i et ressursperspektiv. Andre faktorer som påvirker tilgjengeligheten vil derfor bli forsøkt avklart i videre studier.

Ved start av forsøkene var middel P-AL i jorda på Ås 8,6 mg P/100g, mens i Hobøl var middel P-AL 10,2. I gjødslingsplanlegging klassifiseres P-AL tallene i følgende klasser:

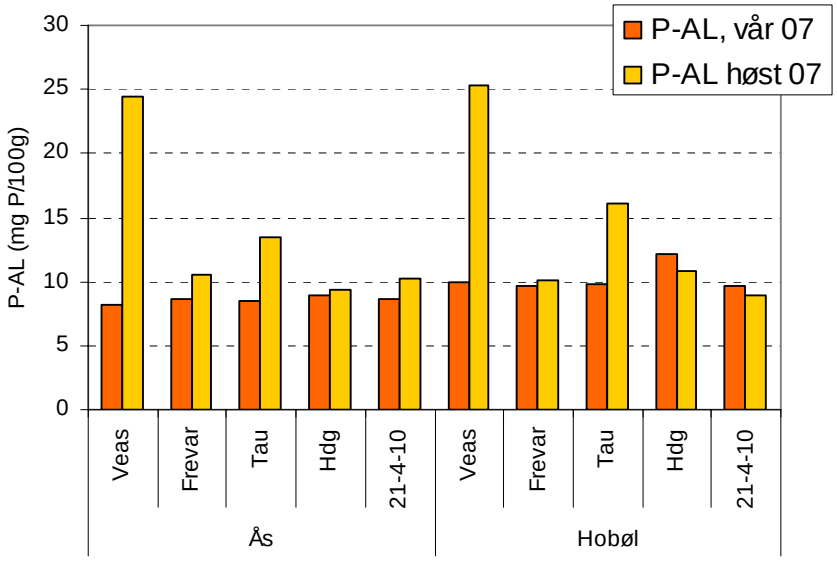
Lavt: P-AL 0-2

Middels: P-AL 3-6

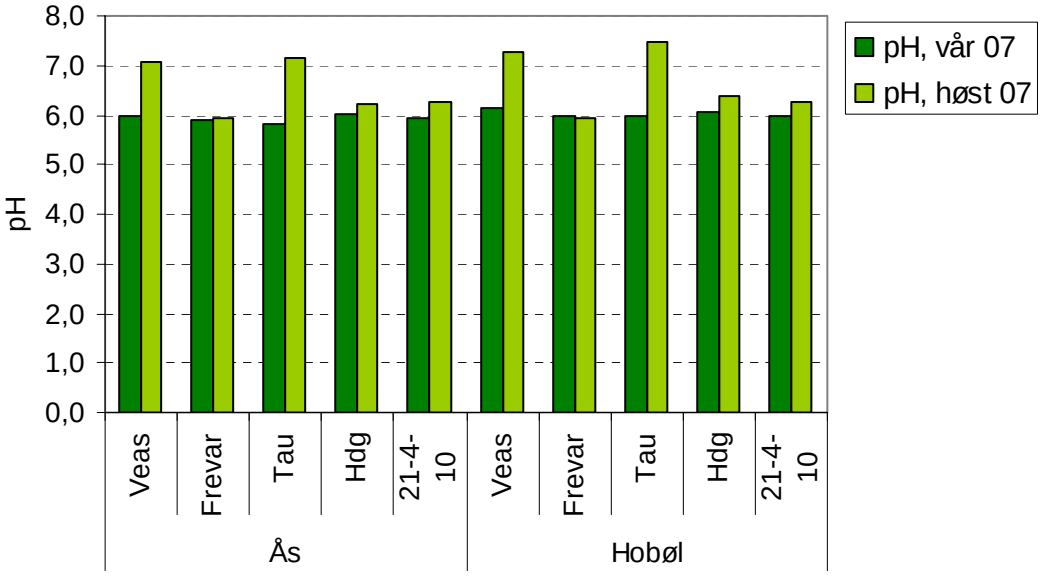
Høyt: P-AL 7-15

Meget høyt: >15

VEAS slammet ga en svært stor økning i jordas innhold av lett tilgjengelig P (P-AL) på begge lokalitetene (Fig. 4.3.3). I Ås økte P-AL i middel med 16 P-AL enheter, mens det i Hobøl økte med 15 P-AL enheter og ga meget høyt P-AL nivå i jorda. P-AL 5-7 er tilstrekkelig for å sikre optimale avlinger av korn og gras, og dette regnes som et optimalt nivå for å sikre både gode avlinger og minst mulig miljøbelastning. En P-AL enhet tilsvarer ca 1 kg P/daa i de øvre 10 cm i mineraljord. Til sammenligning tar en kornavling på 500 kg korn/daa ut ca 1,7 kg fosfor. TAU slammet ga også en betydelig økning i jordas P-AL konsentrasjon. Her økte P-AL i middel med 5 P-AL enheter i Ås og 6 P-AL enheter i Hobøl. P-AL økningen i jorda var større enn den beregnede tilførselen av AL løselig fosfor med VEAS og TAU slammet (Tabell 4.3.1). Det ser derfor ut til at slammet har bidratt til å øke AL løseligheten av jordas fosforinnhold. Årsaken til dette er sannsynligvis at disse slamtypene ga en pH økning i jorda som har påvirket løseligheten av fosforet i jorda. For ruter som mottok VEAS og TAU slam økte pH slik at middel pH var over 7 høsten etter slamtilførselen (Fig. 4.3.4). FREVAR slammet, husdyrgjødsel og mineralgjødsel ga kun små endringer i P-AL. De observerte forskjellene i middeltall er så små at de kan skyldes tilfeldigheter.



Figur 4.3.3. Endring i jordas P-AL nivå fra vår 2007 (før gjødsling) til høst 2007 (etter høsting) for de ulike behandlingene. Gjennomsnitt av 3 gjentak.



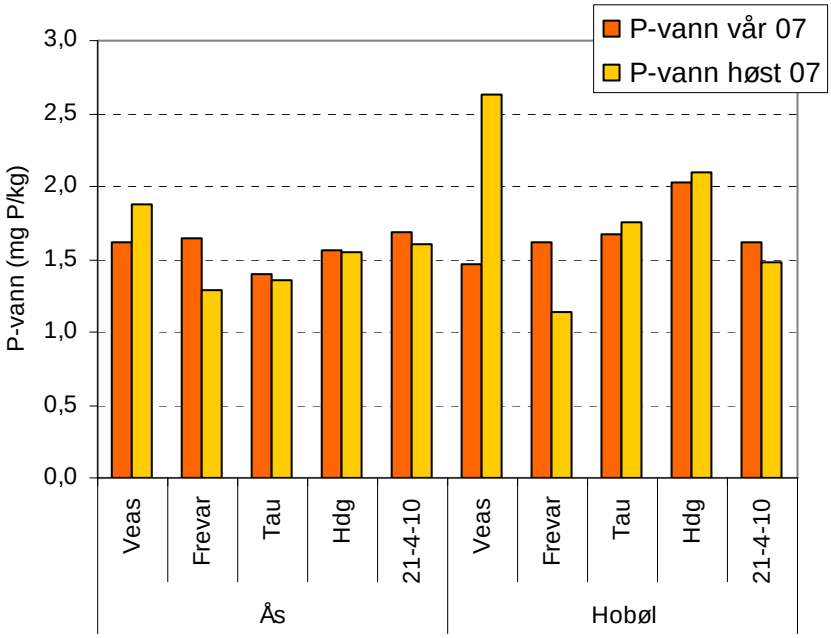
Figur 4.3.4. Endring i jordas pH nivå fra vår 2007 (før gjødsling) til høst 2007 (etter høsting) for de ulike behandlingene. Gjennomsnitt av 3 gjentak.

Slammets virkning på P-AL tallet vil innvirke på behov for gjødsling med mineralsk fosfor i årene etter slamspredning. Dersom gjødsling med mineralsk fosfor kan reduseres eller kuttes i årene etter en slamtilførsel vil slammet bidra til redusert forbruk av en ikke-fornybar ressurs. Dersom man ikke kan redusere tilførsel av mineralsk fosfor de kommende årene, går slammets fosfor inn i en stadig økende fosforreserve i jorden og har liten ressursmessig verdi i dagens jordbrukssystemer. I gjødslingshåndbok for landbruket (2008) anbefales for korn og gras en linear prosentvis reduksjon av fosforgjødsling ved P-AL tall over 7 og opp til P-AL 14, hvor 100 % reduksjon av fosforgjødslingen anbefales. Tallene er ikke fullt ut sammenliknbare ettersom jorda i dette forsøket er tatt fra de øvre 10 cm, mens anbefalingene er gitt for jordprøver tatt i matjordlaget (0-20 cm). Likevel tyder resultatene på at gjødsling med

mineralsk fosfor bør reduseres både der det er brukt VEAS- og TAU slam. Resultater kommende år vil vise hvor lenge denne virkningen på plantetilgjengelig fosfor varer.

VEAS-slammet som ble brukt i dette forsøket hadde så stor effekt på plantetilgjengelig fosfor i jorda at man bør vurdere å tilføre dette slammet i mindre mengde. Det bør undersøkes hvordan en lavere dosering, eventuelt kombinert med hyppigere tilførsel, påvirker mulighetene for å redusere bruk av mineralsk fosfor og samtidig hvordan det påvirker risiko for tap av fosfor til vann.

Vannløselig fosfor ble påvirket av behandlingene i mye mindre grad enn P-AL. VEAS slammet ga en betydelig økning i vannløselig fosfor i Hobøl, mens effekten var mye mindre i Ås (Fig. 4.3.5). FREVAR slammet har gitt noe nedgang i vannløselig fosfor på begge lokaliteter, noe som antagelig skyldes overskudd av fellingskjemikalier som bidrar til å binde noe av jordas fosfor i tyngre tilgjengelige former. Jerninnholdet var da også betydelig høyere i FREVAR slammet enn i de to øvrige slamtypene (Tabell 4.1.1). VEAS slammet som ga en økning i jordas konsentrasjon av vannløselig fosfor hadde det laveste jerninnholdet av disse tre slamtypene. De andre behandlingene (TAU, husdyrgjødsel og mineralgjødsel) påvirket jordas innhold av vannløselig fosfor i svært liten grad. Analyse av bindingskapasitet for fosfor i jord før og etter tilførsel av VEAS- og FREVAR slam i laboratoriet viste at Ås-jorda bandt mer fosfor etter tilførsel av både VEAS- og FREVAR-slam. Bindingskapasiteten økte mer ved tilførsel av FREVAR-slam enn VEAS-slam (Bøen, 2008).



Figur 4.3.5. Endring i jordas innhold av vannløselig fosfor fra vår 2007 (før gjødsling) til høst 2007 (etter høsting) for de ulike behandlingene. Gjennomsnitt av 3 gjentak.

4.3.2 Jordstruktur

Jordstruktur er en sentral faktor fordi den påvirker mange viktige faktorer for plantevekst som rotutvikling og vann- og lufttilgang. Jordstrukturen påvirker også risikoen for erosjon. Jordstruktur kan karakteriseres både ved aggregatform, aggregatstørrelsesfordeling og aggregatstabilitet.

Aggregatform: Mest mulig grynstruktur i matjordlaget er ønskelig. En grynstruktur gir en god porestørrelsesfordeling som sikrer planten optimale forhold. En god grynstruktur er også tegn på høy biologisk aktivitet i jorda.

Aggregatsstørrelsesfordelingen: Denne parameteren sier noe om kvaliteten til et såbed. Mye findelt materiale eller mye grov klump er ikke gunstig. Mye finmateriale gir tilslemming av jorda ved nedbør, mens grov klump gir dårlig kontakt mellom jord og planter. De beste vilkår for plantevekst ved konvensjonell jordarbeiding (høstpløying før harving) er til stede når 50 % eller mer av jordaggregatene er i størrelsesorden 0,6 - 6 mm ved tidspunktet for såing. Ved redusert jordarbeiding vil det ofte bli en endring mot økt andel grovere aggregater (Børresen, 1990). I forbindelse med såing vil jordarbeidingen (med plog, slodd, harv og lignende) medføre bruddannelse og smuldring av jorda, noe som lager gunstige forhold for plantevekst (god luftutveksling og sikre god kontakt mellom korn og jord). Hvordan jorda smuldres avgjøres i stor grad av jordteksturen, innholdet av organisk materialet og vanninnholdet i jorda ved jordarbeidingstidspunktet.

Aggregatstabiliteten: Dette sier noe om aggregatenes evne til å motstå ytre påvirkning. Stabiliteten til jordaggregatene og porene mellom dem påvirker faktorer som vanntransport, luftutveksling og jordas evne til å holde på vann. God stabilitet er viktig for å minimere erosjonsrisikoen ved nedbørsepisoder. Aggregatstabiliteten avhenger av jordteksturen, samt de fysiske og kjemiske egenskapene til jorda. Aggregering og stabilisering av makroaggregater (> 1mm) skyldes i hovedsak jordas innhold av organisk materiale samt effekten av planterøtter, sopphyfer og jordorganismer. Kalk vil også påvirke stabiliteten av jordaggregatene.

Organisk materiale, kalk og jern påvirker jordstrukturen i gunstig retning. Alle disse faktorene varierte mellom de ulike behandlingene i feltforsøkene. Tabell 4.3.2 viser mengden organisk materiale som ble tilført med de ulike slamtypene og husdyrgjødsel. Tallene viser at mengden organisk materiale som ble tilført med husdyrgjødsel var betydelig lavere enn for de ulike slamtypene. Når det gjelder andre faktorer som forventes å påvirke jordstrukturen var kalsiumtilførselen størst med TAU-slammet, mens jerntilførselen var størst med FREVAR-slammet (Tabell 4.1.1).

Tabell 4.3.2. Tilført mengde organisk materiale med de ulike slamtypene og husdyrgjødsel. Beregnet ut i fra glødetapstallene i Tabell 4.1.1.

	VEAS	**FREVAR**	**TAU**	**Husdyrgjødsel**
Tilført org.m. (kg/daa)	748	878	680	397

4.3.2.1 Aggregatform

Feltstudiene viste klare strukturforskjeller mellom de to lokalitetene, men ingen klare forskjeller mellom behandlingene på noen av stedene. I Hobøl dominerte blokk og platestruktur i alle tre dybdene; 1, 5 og 15 cm. Antydning til grynstruktur var observerbar bare i tilknytning til soner med meitemarkaktivitet. På feltet i Ås dominerte grynstruktur over blokkstruktur i 1 cm dybde, og i 5 og 15 cm dybde dominerte blokkstrukturen over grynstrukturen. Det var på dette feltet en tendens til litt mindre grynstruktur på leddene med mineralgjødsel enn for de andre leddene.

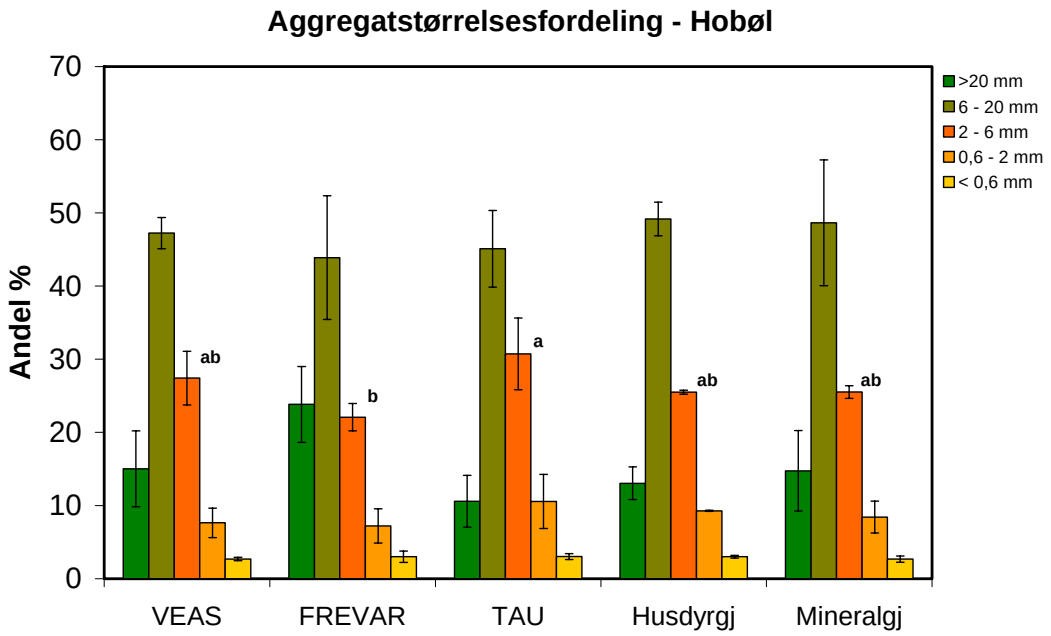
Grynstrukturen var nær knyttet til meitemarkaktiviteten. På leddet med mineralgjødsel på feltet i Hobøl var det mindre grynstruktur og mindre meitemarkekskrementer enn de andre leddene. Tilsvarende studier av jordprøvene fra Ås, viste ingen forskjeller mellom de ulike jordbehandlingene (Vedlegg 3).

4.3.2.2 Aggregatstørrelsesfordeling

Jordprøvene for bestemmelse av aggregatstørrelsesfordeling ble tatt ut i september 2007 etter høsting av kornet. Aggregatstørrelsesfordeling skal som nevnt si noe om kvaliteten til et såbed. Det forventes

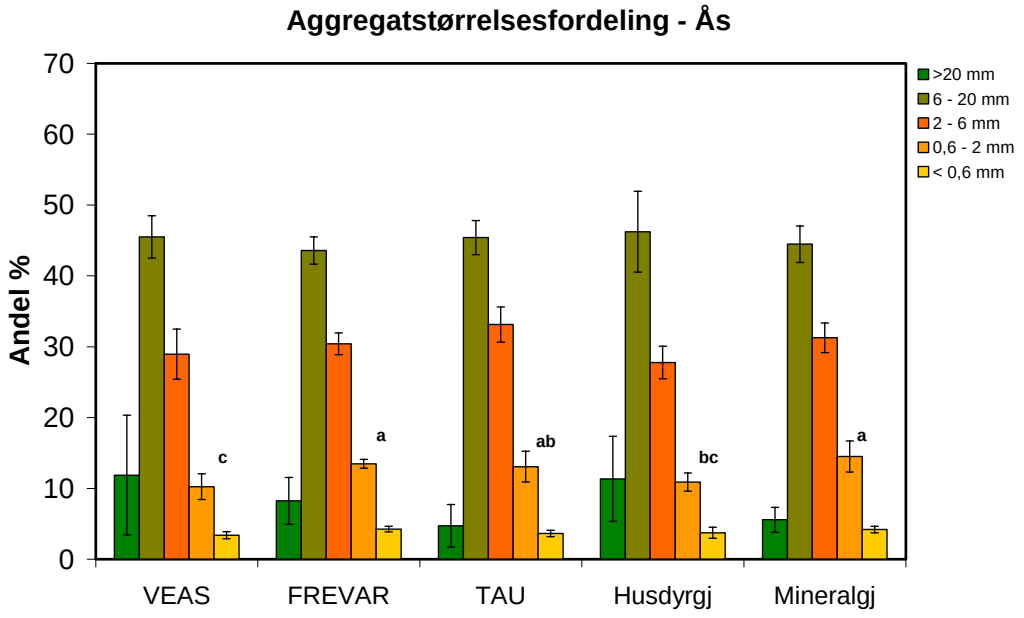
at aggregatstørrelsesfordelingen for jorda tatt ut i stubb ikke representerer fordelingen ved såing, men den kan likevel gi en pekepinn på om noen av behandlingene har påvirket jordstrukturen i gunstig retning.

Det var en signifikant forskjell mellom behandlingene for andelen i fraksjonen 2 – 6 mm i Hobøl (Fig. 4.3.6) og for andelen i fraksjonen 0,6 – 2 mm i Ås (Fig. 4.3.7).



Figur 4.3.6 Aggregatstørrelsesfordelingen i Hobøl for de ulike behandlingsleddene. Gjennomsnittsverdien av tre gjentak inkludert standardavviket (±SD) er vist. Kun kolonner med ulik bokstav er signifikant forskjellig fra hverandre.

I Hobøl hadde rutene som hadde fått tilført slam fra TAU i gjennomsnitt større andel aggregater i fraksjonen 2 – 6 mm enn rutene som hadde fått tilført slam fra FREVAR (som hadde større andel grove aggregater, Fig 4.3.6). I Ås hadde rutene med mineralgjødsel og slam fra FREVAR i gjennomsnitt størst andel i fraksjonen 0,6 – 2 mm, mens rutene med husdyrgjødsel og slam fra VEAS hadde minst andel i denne fraksjonen.



Figur 4.3.7. Aggregatstørrelsesfordelingen i Ås for de ulike behandlingsleddene. Gjennomsnittsverdien av tre gjentak inkludert standardavviket (±SD) er vist. Kun kolonner med ulik bokstav er signifikant forskjellig fra hverandre.

Gjennomsnittelig prosentandel av aggregater i fraksjonen 0,6 – 6 mm, som er den fraksjonen som er ønskelig i et såbed, er vist for de ulike behandlingene per forsøkssted i Tabell 4.3.3.

Tabell 4.3.3. Generell statistikk for aggregatfraksjonen 0,6 - 6 mm oppgitt i % for forsøksrutene med ulik behandling. SD – standard avvik og CV – variasjonskoeffisienten.

	Hobøl				Ås			
Ledd	**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**SD**	**CV**	**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**SD**	**CV**
VEAS	35	31 - 42	5,6	16	39	33 - 44	5,3	14
FREVAR	29	26 - 32	3,3	11	44	42 - 45	1,5	3
TAU	41	30 - 50	8,4	20	46	42 - 51	4,6	10
Husdyrgjødsel	35	35 - 39	0,3	1	39	37 - 40	1,1	3
Mineralgjødsel	34	32 - 37	3,0	9	46	43 - 51	4,2	9

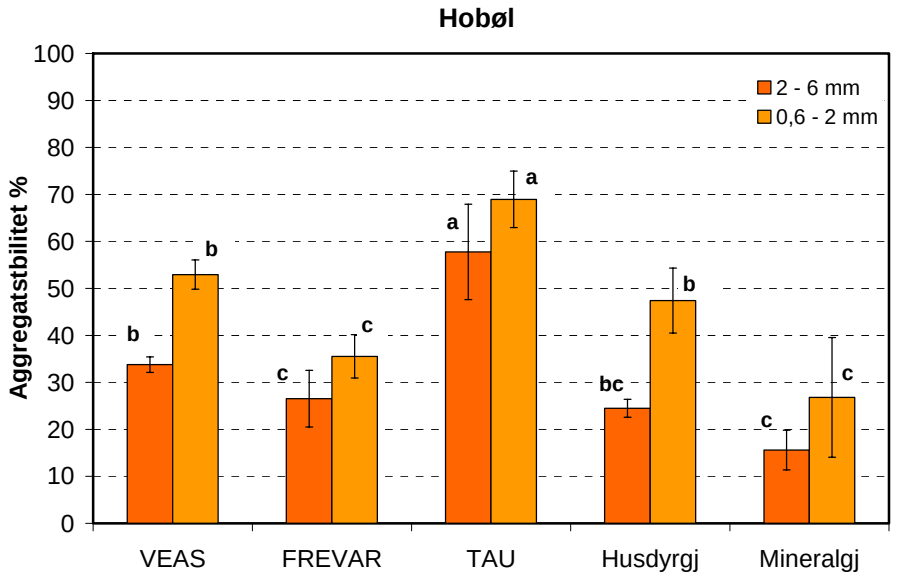
Andelen aggregater i størrelsesorden 0,6 – 6 mm var jevnt over litt høyere på rutene i Ås enn i Hobøl (Tabell 4.3.3). Gjennomsnittlig andel aggregater i denne fraksjonen varierte fra 39 til 46 % i Ås, mens i Hobøl varierte gjennomsnittlig andel fra 29 til 41 % mellom behandlingene. Den noe lavere andelen aggregater i fraksjonen 0,6 – 6 mm i Hobøl skyldes trolig det lavere innholdet av organisk materialet i denne jorda i forhold til jorda i Ås. En medvirkende faktor kan også være at jorda i Hobøl har hatt redusert jordarbeiding (kun harving) de senere år, noe som ofte fører til en økning i andelen grovere aggregater (> 6 mm), mens jorda på feltene i Ås har hatt tradisjonell høstpløying. Variasjonen i andel aggregater i fraksjonen 0,6 – 6 mm var størst mellom gjentaksruter med tilført avløpsslam (høyest CV). Dette kan skyldes at det var noe vanskeligere å spre avløpslammet jevnt utover enn det var å spre husdyrgjødsla jevnt. Ved ujevn spredning er det større sannsynlighet for variasjon mellom prøvetakingspunktene.

Ingen av forskjellene i gjennomsnittlig andel aggregater i fraksjonen 0,6 – 6 mm innen de to forsøksfeltene var statistisk signifikante. Gjennomsnittsverdiene viste imidlertid noen tendenser. På rutene i Hobøl ga avløpsslam fra TAU den høyeste andelen aggregater i fraksjonen 0,6 – 6 mm, mens tilførsel av avløpsslam fra FREVAR ga minst andel aggregater i denne fraksjonen (Tabell 4.3.3). Videre var det her omtrent ingen forskjell mellom ruter med tilført organisk materiale som VEAS slam eller som husdyrgjødsel sammenliknet med rutene som fikk bare mineralgjødsel. På rutene i Ås var det mindre forskjeller mellom behandlingene enn i Hobøl, og ingen klar positiv effekt av tilført organisk materiale ble målt for denne fraksjonen.

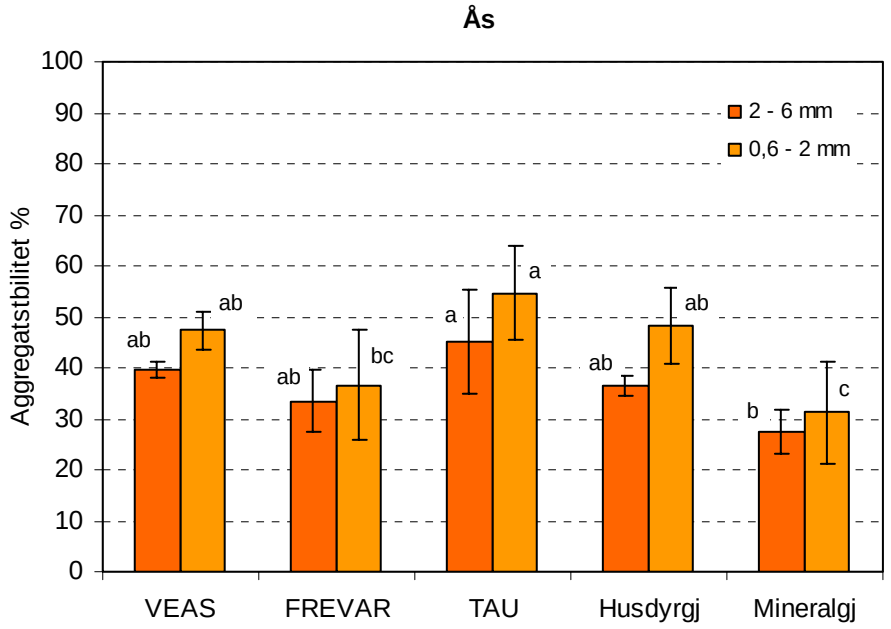
Generelt kan det sies at det var liten eller ingen effekt av ulik mengde tilført organisk materiale (FREVAR > VEAS > TAU > husdyrgjødsel) på andelen aggregater gunstig for plantevekst på noen av forsøksfeltene. Tar man også hensyn til enkeltfraksjoner, var det dog en tendens til at ruter med tilført slam fra TAU hadde en gunstigere aggregatstørrelsesfordeling for plantevekst enn de andre behandlingene, og effekten var størst på jorda i Hobøl. Jorda på feltet i Hobøl har et ganske lavt moldinnhold etter tidligere bakkeplanering. Det er forventet at tilførsel av organisk materiale på en slik jord påvirker jorda mer enn i en god kulturjord med et høyere moldinnhold. Årsaken til at avløpsslam fra TAU slo litt bedre ut var antakelig det høye kalsiuminnholdet i dette slammet (Tabell 4.1.1).

4.3.2.3 Aggregatstabilitet

Leddet med bare mineralgjødsel viser at i utgangspunktet hadde jorda i Hobøl lavere aggregatstabilitet og var dermed mer erosjonsutsatt enn jorda i Ås (Fig. 4.3.8 og Fig. 4.3.9). Dette var som forventet da jorda i Hobøl er planert og har i gjennomsnitt 1,3 % lavere innhold av organisk materiale sammenlignet med jorda i Ås. Stabiliteten til den minste aggregatfraksjonen (0,6 -2 mm) var høyere enn stabiliteten til den største aggregatfraksjonen (2 – 6 mm), spesielt for jorda i Hobøl (i gjennomsnitt 7 – 24 % høyere, mot 3 – 12 % høyere for jorda i Ås).



Figur 4.3.8. Målt aggregatstabilitet for de ulike behandlingsleddene i Hobøl. Gjennomsnittsverdien av tre gjentak er vist pluss/minus ett standardavvik (± SD). Gjennomsnittsverdier etterfulgt av ulike bokstaver er signifikant forskjellige.



Figur 4.3.9. Målt aggregatstabilitet for de ulike behandlingsleddene i Ås. Gjennomsnittsverdien av tre gjentak er vist pluss/minus ett standardavvik (± SD). Gjennomsnittsverdier etterfulgt av ulike bokstaver er signifikant forskjellige.

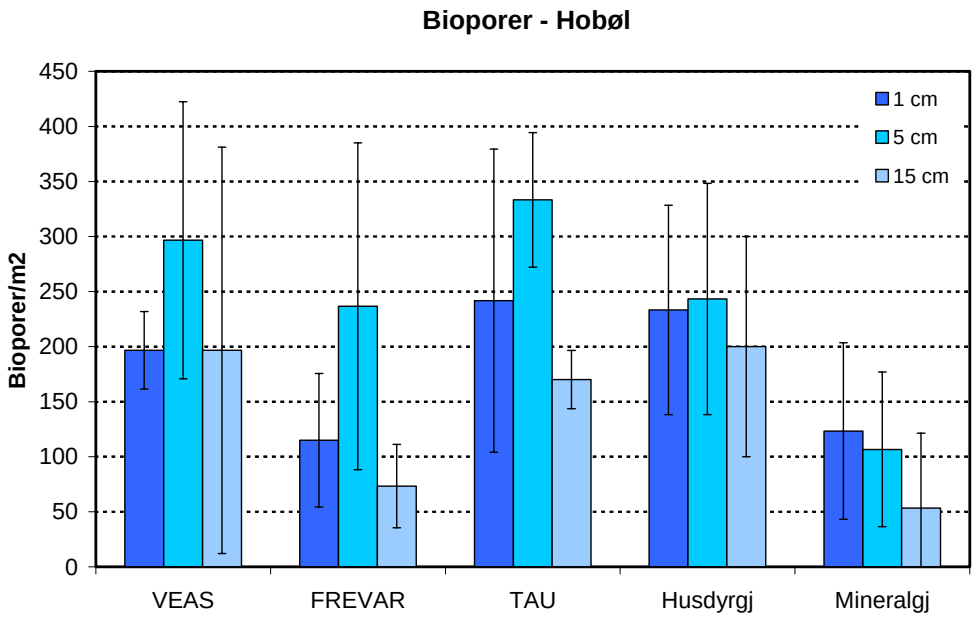
I Hobøl var det en tydelig positiv effekt på aggregatstabiliteten av tilført slam fra TAU og VEAS (begge kalkbehandlet) samt fra tilført husdyrgjødsel i forhold til leddet med bare mineralgjødsel. Aggregatstabiliteten økte i gjennomsnitt mest ved tilførsel av slam fra TAU (+ 42 – 43 %), og ga her en jord med høy aggregatstabilitet. Aggregatstabilitet > 50 % regnes som høy. Effekten av tilført slam fra VEAS samt husdyrgjødsel var på samme, men noe lavere nivå. Tilført slam fra FREVAR (ikke kalkbehandlet) ga her ingen positiv signifikant effekt på aggregatstabiliteten. Liten effekt på aggregatstabilitet av slammet som ikke er kalkbehandlet tyder på at det er kalkeffekten av TAU- og VEAS slammet som har gitt utslag på aggregatstabiliteten. Dette bekreftes av at TAU slammet som hadde den tydeligste effekten på aggregatstabilitet også hadde det høyeste kalsiuminnholdet (Tabell 4.1.1). Tilført organisk materialet med slammet ser ut til å ha hatt mindre betydning for aggregatstabiliteten. Husdyrgjødsel viste en tendens til bedre effekt på aggregatstabiliteten enn FREVAR slammet. Dette til tross for at mengden organisk materiale som ble tilført med husdyrgjødsel var under det halve av det som ble tilført med FREVAR slammet. Husdyrgjødsla har ikke gjennomgått en utråtningsprosess slik som FREVAR slammet. Husdyrgjødsla har derfor sannsynligvis en høyere konsentrasjon av lettomsettelig organisk materiale som vil påvirke mikrolivet i jorda og dermed utviklingen av stabile aggregater. Sammenligning av FREVAR leddet med husdyrgjødsel- og mineralgjødselleddet antyder også at slammets høye jerninnhold og innhold av polymerer ikke har bidratt positivt til utviklingen av stabile aggregater i nevneverdig grad.

Forskjellen i aggregatstabilitet var generelt mindre mellom de ulike behandlingene på rutene i Ås. Her var det kun slam fra TAU som ga en klar positiv effekt på aggregatstabiliteten for begge fraksjonene. For den minste fraksjonen (0,6 – 2 mm) var det også en positiv effekt av tilført slam fra VEAS samt fra husdyrgjødsel, i forhold til mineralgjødsel.

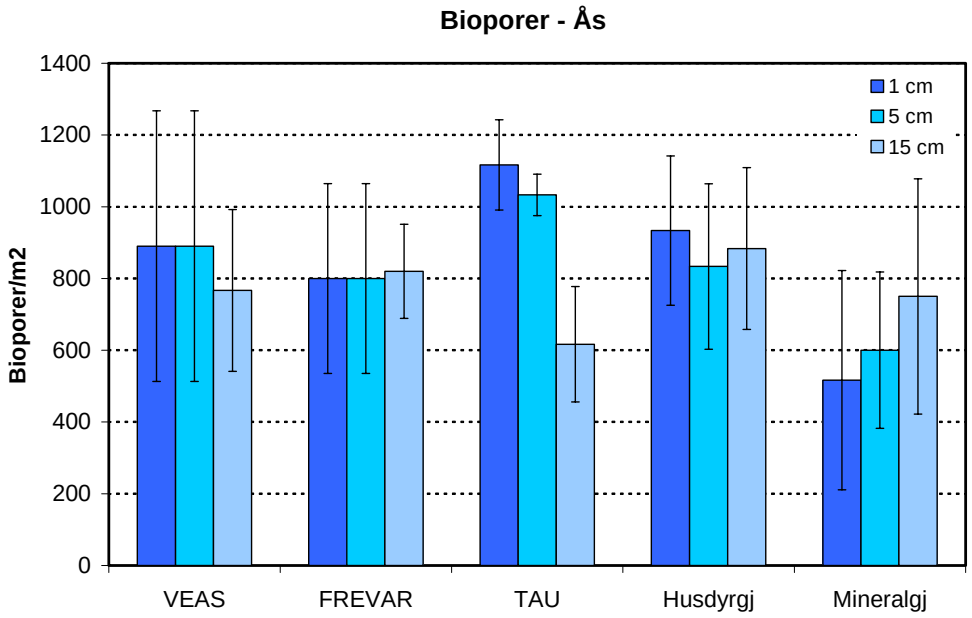
4.3.3 Effekt på meitemarkaktivitet og rotutvikling

Meitemarkaktiviteten, målt under feltstudiene som antall meitemarkganger (bioporer) per flateenhet, var størst på feltet på Ås med tre til fem ganger så mange bioporer per flateenhet sammenlignet med

Hobøl (Figur 4.3.10, 4.3.11 og vedlegg 3). På den bakkeplanerte jorda var det betydelig færre bioporer der det var gitt mineralgjødsel enn der det var gitt slam fra TAU og VEAS og husdyrgjødsel. Spesielt var forskjellen stor i 5 cm dybde. Variasjonen mellom gjentakene var imidlertid så stor at det ikke var noen statistisk sikre forskjeller. På feltet i Ås var forskjellene i antall bioporer betydelig mindre mellom de ulike ledd.

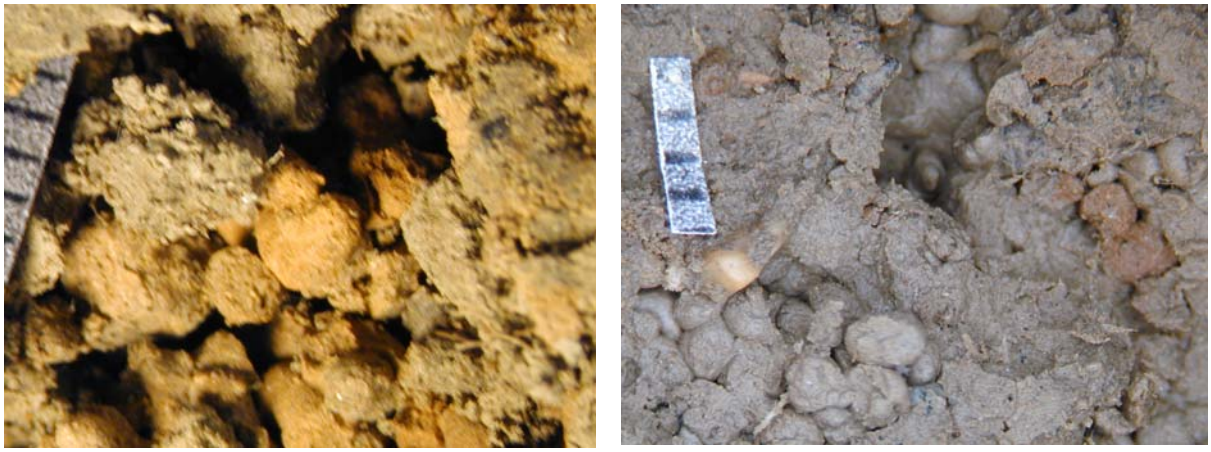


Figur 4.3.10. Antall bioporer, i hovedsak meitemarkganger, per m^2 på horisontalflater i 1, 5, og 15 cm dybde, Hobøl. Gjennomsnitt av 3 gjentak.

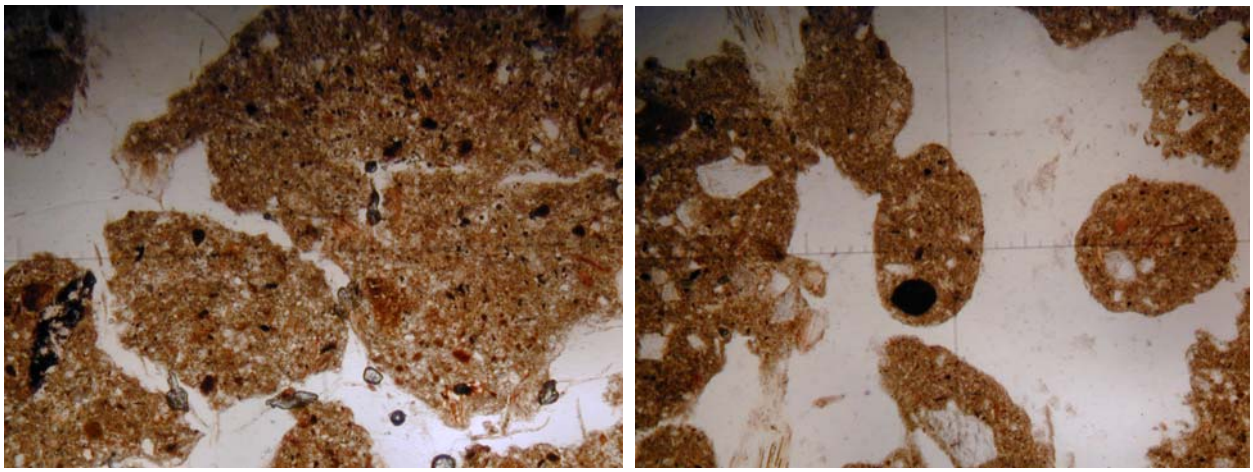


Figur 4.3.11. Antall bioporer, i hovedsak meitemarkganger, per m^2 på horisontalflater i 1, 5, og 15 cm dybde, Ås. Gjennomsnitt av 3 gjentak.

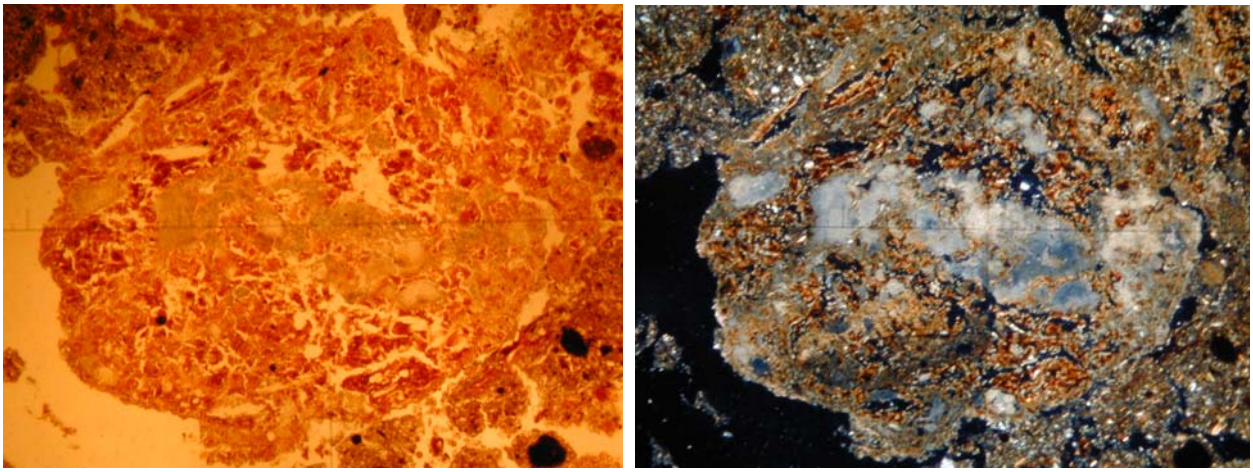
Studiene av de innhentede jordprøvene viste tydelige spor etter meitemarkaktivitet i form av ferske meitemarkekskrementer. Det var mer meitemarkekskrementer på feltet i Ås enn på feltet i Hobøl (vedlegg 3). På feltet i Hobøl var det mest meitemarkekskrementer på rutene som hadde fått slam og husdyrgjødsel, tydelig mer enn på leddet med mineralgjødsel. På feltet i Ås var det ingen forskjeller i mengde av meitemarkekskrementer for de forskjellige behandlingene. Meitemarken syntes å søke til områder med slam siden slammet som ble gjenfunnet nede i jorda i hovedsak forekom som meitemarkekskrementer, og dermed var spist av meitemark (Figur 4.3.12). Ekskrementene besto dels av rent slam og dels av jord blandet med slam. Mengden av grynstruktur samsvarte godt med mengde av meitemarkekskrementer på begge feltene. På Hobølfeltet var det mer grynstruktur på leddene med slam og husdyrgjødsel enn på mineralgjødselleddet mens det på Åsfeltet ikke var noen forskjeller mellom behandlingene (vedlegg 3).



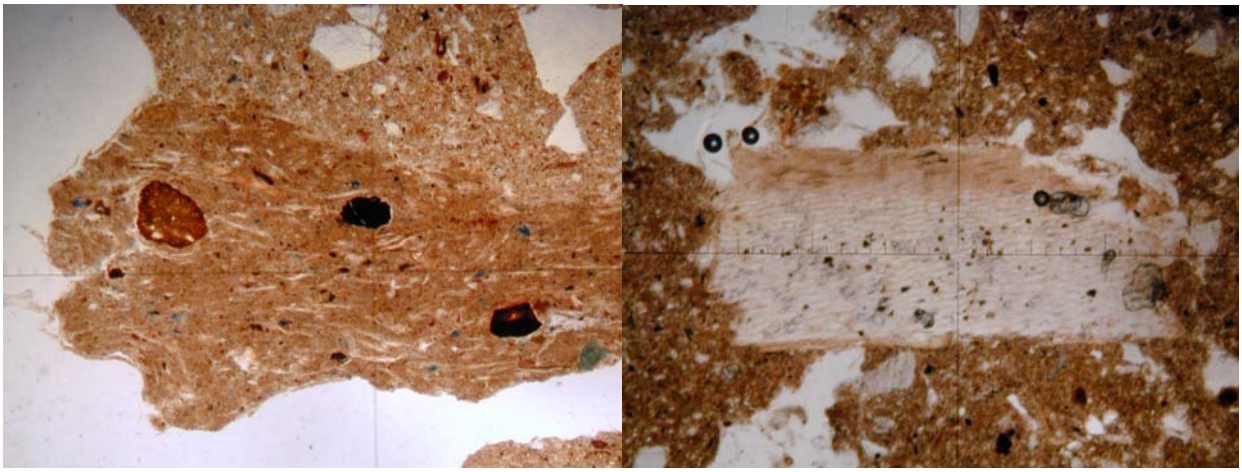
Figur 4.3.12. Meitemarkekskrementer med slam (brunfarget), og uten slam (jordfarge) fra ruter med tilført avløpsslam fra VEAS. Til venstre fra Hobøl og til høgre fra Ås. Avstand mellom hver strek er 1 mm.



Figur 4.3.13. Mikroskopbilder av jord med blokkstruktur fra Hobøl-feltet (til venstre) og grynstruktur fra Ås-feltet (til høgre). Begge prøvene fra ruter som er tilført mineralgjødsel. Billedstørrelse 3,3 x 2,5 mm.



Figur 4.3.14. Mikroskopbilde av samme TAU-slamrest, ca 2 mm i diameter, under planpolarisert lys (til venstre) og krysspolarisert lys (til høgre). Kalkrestene vises som grå partier på bildet til høgre.



Figur 3.3.15. Bilde til venstre: Mikroskopbilde av VEAS-slamrest, midt i bildet, sammenkittet med jord, øverst i bildet. Fra feltet på Ås.
Bilde til høgre: Planterest, ca 1 mm i diameter, sentralt i bildet. Fra husdyrgjødselleddet, Ås.

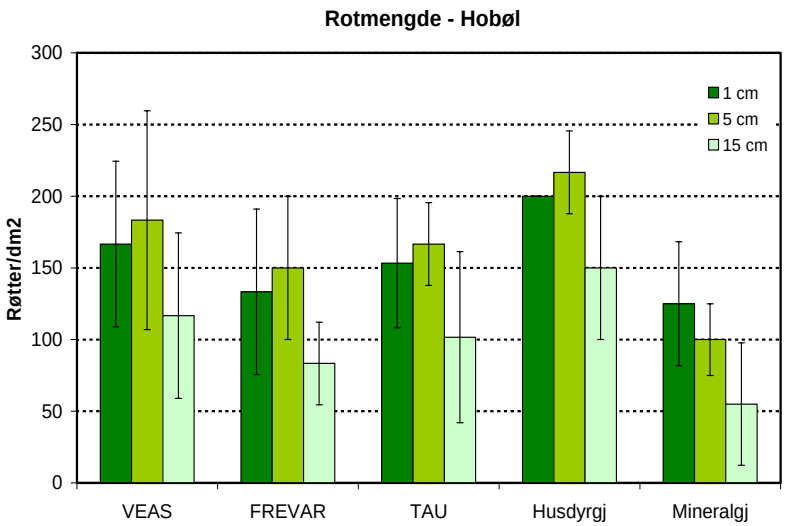
Mikroskopstudiene av tynnslip av jordprøvene bekrefter at det var bedre strukturutvikling på Ås-feltet med en større mengde av meitemarkekskrementer enn på Hobølfeltet (Figur 4.3.13). Det ble gjenfunnet slamrester på alle ruter som hadde blitt tilført slam på begge feltene. Mesteparten av dette ble gjenfunnet som meitemarkekskrementer. Det ble gjenfunnet mindre av FREVAR slam enn av de to andre slamtypene. Kalkinnholdet i TAU- og VEAS slammet syntes ikke å ha virket negativt på markens apetitt på slammet da det i prøvene fra disse rutene ble funnet markekskrementer med store kalkmengder. I Figur 4.3.14 vises mikroskopbilder av meitemarkekskrement bestående av slam fra TAU med betydelige mengder av kalk. Siden slammet i stor grad var fortært av meitemark i løpet av første vekstsesong, tyder det på at marken søker til slammet. Meitemarken bidrar til en finfordeling av slammet og til en blanding med mineraljorda. Finfordelingen av slammet kan være en av faktorene som gir økt strukturstabilitet på leddene som har fått tilført slam. Det ble også gjenfunnet rester av slam som ikke var fortært av meitemark, men som likevel var kittet sammen med mineraljordpartikler (Figur 4.3.15 til venstre). I jordprøvene fra forsøksleddene som var blitt tilført husdyrgjødsel ble det gjennfunnet planterester med tydelig cellestruktur som stammer fra plantenes overjordiske bestandeler (Figur 4.3.15 til høgre). Undersøkelsene av makroporer og uttak av prøver for studier av meitemarkekskrementer ble gjennomført i første halvdel av september, om lag fire måneder etter spredning av slammet. De fleste meitemarkartene er aktive når jordtemperaturen er mellom 0 og 20 ºC, mens *Aporrectodea sp.* er mest aktive vår og høst når jordtemperaturen er mellom 2 og 16 ºC

(Nordström 1975). Siden det ble funnet en del slamrester som jordorganismer ennå ikke hadde spist, er det sannsynlig at effektene av tilførsel av avløpsslam og husdyrgjødsel på jordstruktur og makroporer vil øke over tid inntil nærmest alt er blitt spist/omsatt.

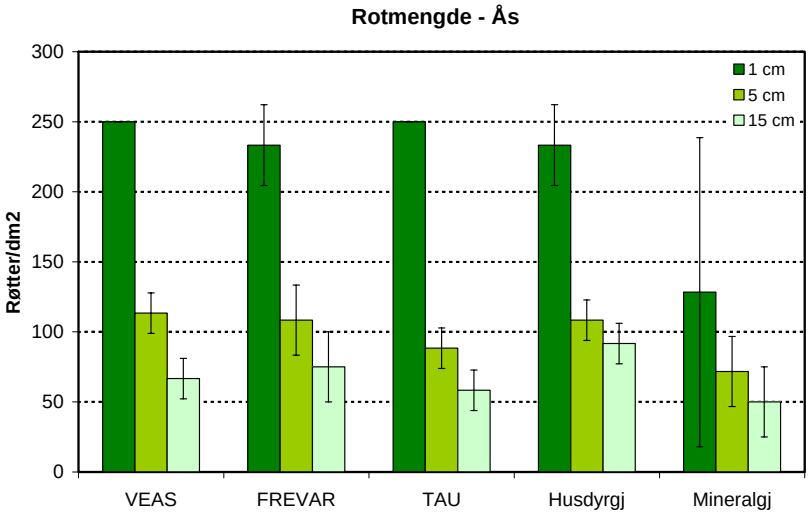
Siden det i meitemarkekskrementene fra rutene med kalkrikt slam ble gjenfunnet betydelige kalkmengder, må det forventes en kalkvirkning også ut over spredningsåret for disse slamtypene (Figur 4.3.14).

Rotutviklingen bedømt under feltstudiene var på feltet på Ås i større grad knyttet til det øverste jordlaget på 1 cm dybde enn på feltet i Hobøl hvor det var liten forskjell i rotmengde i 1 og 5 cm dybde (Fig. 4.3.16 og 4.3.17). På Ås-feltet var røttene i 5 cm dybde i større grad spredd i hele jordvolumet enn på Hobølfeltet hvor røttene i hovedsak var i sprekkesoner. I 15 cm dybde var det meste av røttene på Åsfeltet fordelt mellom sprekkesoner, meitemarkganger og i jordvolumet ellers, mens de for Hobølfeltet nesten utelukkende var i sprekkesonene. Biokularstudiene av røtter i de øverste 5 cm av jorda bekreftet funnene fra feltstudiene med røtter spredd i jordvolumet i jordprøvene fra Ås og i hovedsak mellom aggregatene i Hobølprøvene. Forskjellen i avlingsnivå på Ås- og Hobøl-feltet kan ha sammenheng med forskjeller i hvordan røttene utviklet seg på de to feltene.

I middel var det mer røtter der det ble tilført slam eller husdyrgjødsel sammenlignet med ruter som fikk kun mineralgjødsel, men forskjellen var ikke signifikant.



Figur 4.3.16. Antall røtter per dm^2 på horisontalflater i 1, 5, og 15 cm dybde. Gjennomsnitt av 3 gjentak.



Figur 4.3.17. Antall røtter per dm^2 på horisontalflater i 1, 5, og 15 cm dybde. Gjennomsnitt av 3 gjentak.

5. Konklusjoner

Sammenlignet med jord som fikk kun mineralgjødsel, ble aggregatstabiliteten signifikant bedre ved tilførsel av slam fra TAU og VEAS og husdyrgjødsel. Det var også en tendens til bedret aggregatstabilitet ved tilførsel av slam fra FREVAR, men den forskjellen var ikke signifikant. Det ser ut til at det er kalkeffekten av TAU- og VEAS slammet som hadde størst betydning for utslaget på aggregatstabiliteten. Tilført organisk materialet med slammet har imidlertid sannsynligvis bidratt til økt aggregatstabilitet på den bakkeplanerte jorda. Her var det betydelig mer meitemarkekskrementer og grynstruktur der det var tilført slam enn der det var tilført mineralgjødsel. Bedret aggregatstabilitet er viktig fordi det gir mindre erosjonsrisiko ved nedbørsepisoder. I middel ga tilførsel av organiske gjødselslag mer bioporer (hovedsakelig meitemarkganger), men variasjonen mellom gjentakene var imidlertid så stor at disse utslagene ikke var signifikante. Bioporer bedrer jordas dreneringsevne og minsker dermed risikoen for overflateavrenning og erosjon. Bioporer kan imidlertid øke transporten av fosforrike partikler til grøftene. Totaleffekten av bioporer med tanke på fosfortap er derfor usikker.

Det blir tilført store mengder fosfor med 2 tonn slamtørrstoff per daa. Tilgjengeligheten av dette fosforet varierte mellom de ulike slamtypene, men for alle slamtypene var tilgjengeligheten betydelig lavere enn for husdyrgjødsel. Det ser ut til at kalkbehandling av slammet bedrer tilgjengeligheten av fosforet. Det kalkbehandlete VEAS slammet ga en svært stor økning i jordas innhold av lett tilgjengelig P (P-AL) på begge lokalitetene, slik at jordas nivå av P-AL ble meget høyt. TAU slammet (kalkbehandlet) ga også en betydelig økning i jordas P-AL tall, men likevel en mye mindre økning enn VEAS slammet. De andre behandlingene ga kun små endringer i P-AL tallene. Vannløselig P ble påvirket av behandlingene i mye mindre grad enn P-AL. Bare VEAS slammet ga en betydelig økning i vannløselig P i Hobøl og en mindre økning i Ås. FREVAR slammet ga noe nedgang i vannløselig P på begge lokaliteter på grunn av et høyt jerninnhold. Til tross for relativt liten effekt på vannløselig P, kan en forvente en økt risiko for å tape fosfor ved tilførsel av maksimalt tillatt mengde slam, fordi størstedelen av fosfortapet fra jordbruksarealer er partikulært bundet fosfor. Jordas P-AL nivå har stor betydning for risikoen for å tape fosfor som er algetilgjengelig. Av miljømessige hensyn er det derfor ønskelig at P-AL tallene er så lave som mulig mot det nivå som er tilstrekkelig for å sikre optimale avlinger. Dette nivået ligger i området P-AL 5-7 for korn og engvekster. Bedret aggregatstabilitet etter tilførsel av slam kan imidlertid helt eller delvis oppveie den økte risikoen for fosfortap grunnet store fosfortilførsler, men det er usikkert om den observerte bedringen i aggregatstabilitet er stor nok til å oppveie den kraftige økningen av P-AL i jorda. Avrenningsstudier i felt eller laboratoriet er nødvendig for å avklare dette.

Med tanke på at fosfor er en begrenset ressurs, og at resirkulering av fosfor burde få sterkere fokus enn det har i dag, bør det fokuseres på at tilgjengeligheten av fosfor i slamproduktet skal være best mulig. Samtidig bør det vurderes å tilføre slam i mindre mengder per arealenhet enn det som nå er praksis for å få best mulig utnyttelse av fosforet i slammet som plantenæring og minst mulig risiko for at fosforet havner i vassdragene.

Slam hadde positiv effekt på avling. Dette kan delvis tilskrives en nedbørrik vekstsesong hvor mineralnitrogen sannsynligvis har vært utsatt for utvasking, slik at gjødselslag som gir fra seg nitrogen gradvis vil hevde seg positivt. Medvirkende årsak for de observerte avlingsutslagene kan være bedring av aggregatstabiliteten og en mulig bedre rotutvikling ved tilføring av organiske gjødselslag.

Analyser av blad- og kornprøver viste at det ikke var sikre mangler av verken mikro- eller makronæringsstoffer for noen av behandlingene. Bruk at kalkrike slamtyper forårsaket ikke mangler av mikronæringsstoffene sink og mangan, som lettere forekommer i jord med høy pH.

6. Referanser

Brady, N.C. & Weil, R.R. 1999. The nature and properties of soils, 12th edition. Prentice Hall, New Jersey. 881 s.

Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G. & Tursina, T. 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. Wolverhampton, Waine Research Publ. 152 s.

Bøen, A. (2008) Fosfor i avfallsbaserte produkter og jord tilført slam. Bioforsk-rapport (under utarbeiding)

Børresen, T. 1990 (red). Jordarbeiding – Kompendium for JK3. Landbruksbokhandelen, Ås – NLH, 191 s.

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.

FAO 1990. Guidelines for Soil Description, 3rd ed. (Revised). FAO Rome, s. 70.

Flanagan, D.C., Norton, L.D. & Shainberg, I. 1997. Effects of water chemistry and soil amendments on a silt loam soil. Part 2. Soil erosion. Transactions of the ASEA 40: 1555-1561.

Krogstad, T., Sogn, T., Sæbø A. & Asdal, Å. 2004. Resirkulering av fosfor i slam. Grønn kunnskap 8 (7), 41 s.

Lundekvam, H. 1997. Jordsmonnovervåking i Norge 1992 – 1996. Spesialgranskinger av erosjon, avrenning, P-tap og N-tap i rutefelt og småfelt ved Institutt for jord- og vannfag. Jordforsk rapport 6/97. 69 s.

Mattilsynet (2007) Mineralgjødselstatistikk 2005/2006. http://mattilsynet.no/planter/gjodsler/omsetningsstatistikker/statistikk__mineralgj_dsel_18420

Marti, M. 1984. Kontinuierlicher 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.

Murphy, C.P., 1986. Thin Section Preparation of Soils and Sediments. A.B. Academic Publishers, Berkhamsted, 149 s.

Njøs, A. 1967. Dry sieving. In: West-European methods for soil structure determination. de Boodt, M. (Ed.),. Ghent. p. V 34.

Njøs A. 1972. Jordstruktur i forbindelse med bakkeplanering. Aktuelt fra Landbruksdepartementets opplysningstjeneste (LOT) 2/1972: 93-97.

Njøs A. 1973. Kloakk- og septikslam på planert leirjord. Aktuelt fra LOT 2/1973: 161-164.

Njøs A. 1978. Behov for jordforbedring. Høgskoledagene ved Norges landbrukshøgskole, 24.-25. august 1978. Kloakkslam. Behandling og bruk: 82-89. Landbruksforlaget.

Njøs A. 1980. Bakkeplanering. Jordforbedring og jordarbeiding. Nydyrking og grunnforbedring. Aktuelt fra LOT 5/1980: 32-49

Njøs A. 1991. Soil Erosion – A Problem for Agriculture and Environment in Norway. ENVIRONMENTAL CHALLENGES IN AGRICULTURAL ENGENEERING. Seminar of the 1st, 2nd and 3rd Technical Section of CIGR.

Agric. Univ. Of Norway, July 1-4 1991. Eds. H. Lilleng and B. Rognerud. The Norwegian Commision of CIGR and the Agric. Univ. of Norway: 99-113.

Njøs, A. & P. Hove 1984a. Erosjonsundersøkelser – vannerosjon. Foreløpige resultater pr. januar 1984. Inst for jordkultur, NLH, Serie B 12/84.

Njøs, A. & P. Hove 1984b. Erosjonsundersøkelser – vannerosjon. Sluttrapport NLVF nr. 496.

Njøs, A. & P. Hove 1984c. Erosjonsundersøkelser på Østlandet i Norge. Jordbrukets förorening av vattenmiljön. Tjugonde Nordiska Symposiet om Vattenforskning Hägersten 1984-05-08—10. Nordforsk. Miljövårdsserien publikasjon 1984:2: 57-68.

Njøs, A. & P. Hove 1986. Erosjonsundersøkelser – vannerosjon I og II. Sluttrapport NLVF nr. 655.

Nordström, S.1975. Seasonal activity of lumbricids in southern Sweden.Oikos 26: 307-315.

Norton, D. & Dontsova, K. 1998. Use of soil amendments to prevent soil surface sealing and control erosion. Advances in GeoEcology 31: 581-587.

SSB (1999) Materialstrøm for fosfor i avløpsvannet.
http://www.ssb.no/emner/01/04/20/avltab/figur/f_msp_.gif

Stoops, G., 2003. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 184 pp.

Trout, T.J., Sojka, R.E., Lentz, R.D. 1995. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration. Transactions of the ASAE 38: 761-766.

Vigerust, E. 1996. Landskap i forandring. NLH. Kulturlandskap i leirjordsområder. Hovedrapport 55 s.

Wallace, A. & Wallace, G.A. 1986. Effects of very low rates of synthetic soil conditioners on soils. Soil Science 141: 324-327.

Aasen, I. 1997. Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrringar hos kulturplanter. Landbruksforlaget. 96 s.

7. Vedlegg

Oversikt over vedlegg

Nr	Emne
1	Aggregatstabilitet
2	Jordmorfologiske data
3	Grynstruktur og meitemarkekskrementer

Vedlegg 1 - Aggregatstabilitet

Tabell 1. Generell statistikk over målt aggregatstabilitet i toppjorda (0 – 20 cm) per fraksjon og behandlingsledd, Hobøl. SD – standardavvik og CV – variasjons koeffisient.

	Hobøl							
	0,6 – 2 mm				2 – 6 mm			
Ledd	Gj.sn.*	Min - Maks	SD	CV	Gj.sn.*	Min - Maks	SD	CV
VEAS	51[b]	48 - 58	3.1	6	34[b]	32 - 36	1.7	5
FREVAR	34[c]	29 - 39	4.6	14	27[c]	17 - 32	6.0	23
TAU	69[a]	62 - 76	6.0	9	58[a]	43 - 66	10.1	18
Husdyrgjødsel	48[b]	40 - 57	6.9	14	24[bc]	22 - 28	1.9	8
Mineralgjødsel	26[c]	12 - 39	12.7	48	16[c]	10 - 20	4.2	27

*Gjennomsnittsverdier etterfulgt av forskjellige bokstaver er signifikant forskjellig

Tabell 2. Generell statistikk over målt aggregatstabilitet i toppjorda (0-20 cm) per fraksjon og behandlingsledd, Ås. SD – standardavvik og CV – variasjons koeffisient.

	Ås							
	0,6 – 2 mm				2 – 6 mm			
Ledd	Gj.sn.*	Min - Maks	SD	CV	Gj.sn.*	Min - Maks	SD	CV
VEAS	47[ab]	41 - 52	3.6	8	40[ab]	39 - 41	1.4	4
FREVAR	37[bc]	19 - 48	10.6	29	33[ab]	24 - 45	8.7	26
TAU	55[a]	46 - 70	9.2	17	45[a]	39 - 53	4.8	11
Husdyrgjødsel	48[ab]	36 - 56	7.5	16	36[ab]	24 - 47	8.0	22
Mineralgjødsel	31[c]	21 - 48	10.0	32	28[b]	18 - 52	12.5	45

*Gjennomsnittsverdier etterfulgt av forskjellige bokstaver er signifikant forskjellige

Vedlegg 2 – Jordmorfologiske data

Bioporer per m²

	Hobøl				Låven, UMB			
				1 cm				
Ledd	**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**SD**	**CV**	**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**SD**	**CV**
1 - VEAS	197	160 - 230	35	18	890	470 – 1200	377	42
2 - FREVAR	115	50 - 125	61	53	800	500 – 1000	265	33
3 - TAU	242	150 - 400	138	57	1117	1000 – 1250	126	11
4 – Storfegjødsel	233	140 - 330	95	41	933	700 – 1100	208	22
5 - Mineralgjødsel	123	40 - 200	80	65	517	450 - 850	306	59
				5 cm				
1 - VEAS	297	180 - 430	126	42	890	470 – 1200	377	42
2 - FREVAR	237	110 – 400	148	63	800	500 – 1000	265	33
3 - TAU	333	280 – 400	61	18	1033	1000 – 1100	58	6
4 – Storfegjødsel	243	140 – 350	105	43	833	700 – 1100	231	28
5 - Mineralgjødsel	107	40 - 180	70	66	567	450 – 850	218	36
				15 cm				
1 - VEAS	197	40 – 150	184	94	767	550 – 1000	225	29
2 - FREVAR	73	30 – 100	38	52	820	700 – 960	131	16
3 - TAU	170	150 - 200	26	16	617	500 – 800	161	26
4 – Storfegjødsel	200	100 – 300	100	50	883	650 – 1100	225	26
5 - Mineralgjødsel	53	0 – 130	68	128	750	450 - 1100	328	44

Rotmengde per dm²

	Hobøl				Låven, UMB			
				1 cm				
Ledd	**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**SD**	**CV**	**Gj.sn.**	**Min - Maks**	**SD**	**CV**
1 - VEAS	167	100-200	58	35	250	250	0	0
2 - FREVAR	133	100-200	58	43	233	200-250	29	12
3 - TAU	153	110-200	45	29	250	250	0	0
4 – Storfegjødsel	200	200	0	0	233	200-250	29	12
5 - Mineralgjødsel	125	75-150	43	35	128	35-250	110	86
				5 cm				
1 - VEAS	183	100-250	76	42	113	90-150	32	28
2 - FREVAR	150	100-200	50	33	108	75-150	38	35
3 - TAU	167	150-200	29	17	88	75-100	13	14
4 – Storfegjødsel	217	200-250	29	13	108	75-150	38	35
5 - Mineralgjødsel	100	75-125	25	25	72	40-100	30	42
				15 cm				
1 - VEAS	117	50-150	58	49	67	50-75	14	22
2 - FREVAR	83	50-100	29	35	75	50-100	25	33
3 - TAU	102	35-150	60	59	58	50-75	14	25
4 – Storfegjødsel	150	100-200	50	33	92	75-100	14	16
5 - Mineralgjødsel	55	15-100	43	78	50	25-75	25	50

Vedlegg 3. Grynstruktur og meitemarkekskrementer.

Relativ andel av grynstruktur og meitemarkekskrementer bestemt i 0-3 cm dybde ved bruk av biokular (10x forstørrelse) på jordprøver fra alle ruter på forsøksfeltene i Hobøl og på Ås. Stjerner viser observasjon av grynstruktur/meitemarkekskrementer. Jo flere stjerner jo mer grynstruktur/meitemarkekskrementer ble observert. Gj = gjentak.

Behandling/sted	Grynstruktur			Meitemarkekskrementer		
Skaug, Hobøl	Gj1	Gj2	Gj3	Gj1	Gj2	Gj3
VEAS	**	*	***	**	*	***
FREVAR	***	***	**	***	***	**
TAU	**	**	***	**	**	***
Husdyrgjødsel	***	*	**	**	*	**
Mineralgjødsel	*	**	*	*	*	*
UMB, Ås						
VEAS	***	***	***	***	***	***
FREVAR	**	***	***	**	***	***
TAU	***	***	***	***	***	***
Husdyrgjødsel	***	***	**	***	***	***
Mineralgjødsel	***	***	**	***	***	***